

VPLIV LABORATORIJSKEGA STARANJA CESTOGRADBENIH BITUMNOV B 70/100 NA NJIHOVE LASTNOSTI

THE IMPACT OF LABORATORY AGING ON 70/100 BITUMEN PENETRATION GRADE PROPERTIES

mag. Mojca Ravnikar Turk, univ. dipl. inž. grad.

mojca.turk@zag.si

ZAG, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.

janko.logar@fgg.uni-lj.si

UL-FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Aleksander Ipavec, univ. dipl. inž. grad.

aleksander.ipavec@zag.si

dr. Marjan Tušar, univ. dipl. inž. kem.

marjan.tusar@zag.si

ZAG, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 622.337:625.7/.8

Povzetek | Asfaltne zmesi so največkrat uporabljeni materiali za zgornji ustroj voziščnih konstrukcij. Ker so izpostavljene prometnim in vremenskim obremenitvam, v laboratorijih za asfalte raziskujemo vpliv utrujanja in nizkih temperatur na razpoke v asfaltu. Odpornost asfalta proti tvorjenju razpok je odvisna predvsem od lastnosti bitumna in vrste asfaltne zmesi. Za ugotavljanja odpornosti asfalta proti utrujanju in nizkim temperaturam so na voljo standardizirane preiskave, ki dajejo ponovljive rezultate. Vendar pa lahko začnemo preiskave šele takrat, ko je asfaltna zmes že narejena. Postopek je krajši, če lahko lastnosti asfalta predvidimo že iz lastnosti vhodnih komponent. Zato je zaželeno, da pred proizvodnjo asfaltne zmesi poznamo karakteristike bitumna pri nizkih temperaturah in njegovo odpornost proti utrujanju. Ker je bitumen viskoelastičen organski material, se njegove karakteristike pri vgradnji in tudi pozneje spreminjajo, kar imenujemo staranje bitumna. Pri proizvodnji in vgradnji se zaradi visokih temperatur elastično obnašanje bitumna zmanjša, bitumen postane trši. Z leti uporabe bitumen zaradi UV-žarkov ter izhlapevanja in utrujanja še naprej otrdeva. Z dvema laboratorijskima postopkoma, ki simulirata vgradnjo (RTFOT) in uporabo (PAV), bitumen umetno lahko postaramo. V tem prispevku sta opisana oba postopka laboratorijskega staranja ter dve novejši preiskavi bitumnov, in sicer dinamični strižni reometer (DSR) in reometer z nosilcem, obremenjenim na upogib (BBR). Predstavljene so lastnosti šestih cestogradbenih bitumnov B 70/100 po laboratorijskem staranju.

Ključne besede: cestogradbeni bitumni, RTFOT, PAV, laboratorijsko staranje bitumnov, BBR, DSR

Summary | Asphalt mixtures are the most frequently used material for pavement structures. Due to traffic and climatic loads a lot of research is focused on the investigations of the impact of fatigue and low temperatures on the formation of cracks in asphalt. Resistance of asphalt to cracking depends mainly on the characteristics

of the bitumen used and the type of asphalt mix. For the determination of resistance to fatigue and resistance of asphalt to low temperatures, the standardized tests give reproducible results. However, we can begin investigations only when the asphalt mixture has already been made. Therefore, it is desirable that prior to the production of asphalt mixtures the characteristics of bitumen at high and low temperatures and its resistance to fatigue are determined. Bitumen is a visco-elastic organic material. Its characteristics change during installation due to the high production temperatures. The elastic behaviour of bitumen decreases and it becomes harder. During the service life, due to UV radiation, evaporation and fatigue, bitumen continues to harden. This behaviour is called aging of bitumen. Bitumens can be artificially aged with two laboratory procedures, one (RTFOT) simulating aging during production and installation, and the other (PAV) simulating hardening during the service life. The paper describes both laboratory aging processes as well as the two more recent bitumen tests, which are "Dynamic shear rheometer" (DSR) and "Bending beam rheometer" (BBR). Results of tests for six samples of 70/100 bitumen penetration grade after laboratory aging are presented in the paper.

Key words: paving grade bitumen, RTFOT, PAV, laboratory aging of bitumen, BBR, DSR

1 • UVOD

Karakteristike cestogradbenih bitumnov se spremenijo predvsem v času proizvodnje in vgradnje asfalta, ko je ta podvržen visokim temperaturam. V tem času je izhlapevanje lahkih komponent bitumna zaradi visokih temperatur veliko, prav tako je intenzivna oksidacija, saj bitumen obvi je vroč kameni agregat, kar povzroči, da je velika površina bitumna izpostavljena vročemu zraku. Karakteristike bitumna se spreminjajo tudi v celotnem času uporabe predvsem zaradi oksidacije in UV-sevanja ter zaradi temperaturnih sprememb in utrujanja pri prometnih obremenitvah.

Poškodbe asfalta nastajajo predvsem v času zelo visokih in zelo nizkih temperatur zraka oziroma posledično vozišča. Pri dolgotrajnih zelo visokih temperaturah zraka lahko nastajajo kolesnice, ko temperatura asfalta preseže temperaturo zmehčanja bitumna. Pri nizkih temperaturah (predvsem pod lediščem) pa

so bitumni bolj viskozni in nastajajo razpoke. Ker bitumni z leti postajajo vse bolj togi, se nevarnost nastanka razpok z leti povečuje, nevarnost nastanka kolesnic pa se z leti staranja bitumna zmanjšuje. Za ugotavljanje lastnosti bitumnov in asfalta se uvajajo tako imenovane na obnašanje vezane preiskave in karakteristike, ki bolje ponazarjajo obnašanje bitumnov pri realnih razmerah na cesti.

Odpornost asfalta proti razpokam je odvisna predvsem od karakteristik uporabljenega bitumna in vrste asfaltne zmesi. Za ugotavljanje odpornosti asfalta proti utrujanju se opravljajo različne standardizirane preiskave, vendar so nekatere zelo zamudne, rezultati pa niso vedno konsistentni. Za ugotavljanje odpornosti asfalta proti nizkim temperaturam se opravlja standardizirana preiskava, ki daje konsistentne rezultate. Možno je tudi laboratorijsko starati vzorce asfalta, vendar se tako

staranje v Sloveniji še ne uporablja. Ker lahko začnemo preiskave obnašanja asfalta šele, ko je asfaltna zmes že narejena, je zaželeno, da pred proizvodnjo asfaltne zmesi poznamo karakteristike bitumna tudi po staranju.

Odpornost neke vrste asfalta proti nastanku kolesnic, razpokam pri nizkih temperaturah in utrujanju je predvsem odvisna od vrste uporabljenega bitumna. Zato je mogoče sklepati na obnašanje asfalta, če poznamo karakteristike bitumna. Preiskave vzorcev asfalta so zamudne in drage, zato so se razvili postopki laboratorijskega staranja bitumnov in preiskave za ugotavljanje odpornosti bitumnov proti visokim temperaturam, utrujanju in nizkim temperaturam.

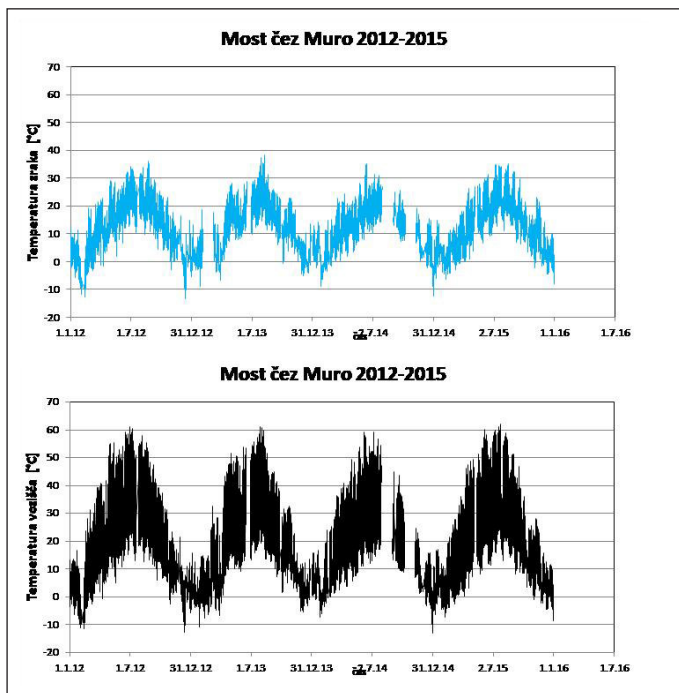
V nadaljevanju sta opisana postopka laboratorijskega staranja RTFOT in PAV ter novejši laboratorijski preiskavi, imenovani DSR in BBR. Predstavljene so lastnosti šestih cestogradbenih bitumnov B 70/100 po laboratorijskem staranju, s katerimi lahko ocenimo kakovost bitumnov pred začetkom proizvodnje asfalta.

2 • TEMPERATURNE OBREMITVE ASFALTOV

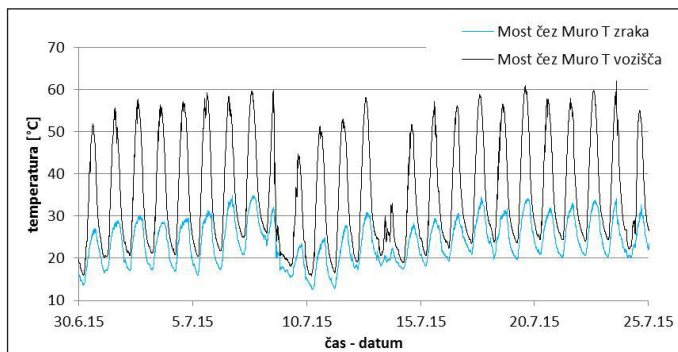
Po izdelavi v rafineriji se bitumni transportirajo do asfaltnih baz in se tam lahko hranijo več tednov v cisternah pri temperaturah od 90 °C do 130 °C. Bitumen se najbolj intenzivno stara zaradi segrevanja pri postopku mešanja z vročim agregatom na asfaltni bazi. Takrat je temperatura asfalta najvišja, zrna agregata pa so ovita z zelo tanko plastjo bitumna. V Sloveniji se večinoma uporablja proizvodnja z

vročim postopkom, pri katerem je temperatura mešanja za B 70/100 od 145 °C do 155 °C. Po vgradnji in zgoščanju je asfalt podvržen dnevnim temperaturnim ciklom ter dolgotrajnim visokim temperaturam v poletnem času in nizkim temperaturam v zimskem obdobju. Pridobili smo podatke o izmerjenih temperaturah vozišča na mostu čez Muro (Korošec, 2016). Na sliki 1 so prikazane izmerjene

temperature zraka in vozišča med letoma 2012 in 2015. S slike je razvidno, da so temperaturne spremembe vozišča večje, kot so temperaturne spremembe zraka. V zimskem obdobju je temperatura vozišča podobna temperaturi zraka, čez dan lahko tudi nekoliko višja. Predvsem v poletnem obdobju pa so temperature asfalta precej višje od temperature zraka. Na sliki 2 so prikazane izmerjene temperature zraka in vozišča na mostu čez Muro v časovnem obdobju petindvajset dni v poletnem času. Dnevna nihanja temperature v



Slika 1 • Sezonske temperaturne spremembe vozlišča na mostu čez Muro.



Slika 2 • Dnevne polepne temperaturne spremembe vozlišča na mostu čez Muro.

asfaltu so dosegla tudi do 40 °C. V obdobju 2012–2015 je bila najvišja izmerjena temperatura vozlišča +62,1 °C (v letu 2015), najnižja izmerjena pa –12,9 °C (v letu 2014).

3 • OSNOVNE KARAKTERISTIKE BITUMNOV B 70/100

Cestogradbeni bitumen je gradbeni proizvod, za katerega so specifikacije navedene v evropskem standardu. Sistem ocenjevanja in preverjanja nespremenljivosti lastnosti pove, kakšna je stopnja vključenosti neodvisne kontrole (priglašene organa). Za cestogradbene bitumne velja sistem 2+ oziroma certificiranje tovarniške kontrole proizvodnje, ki vključuje

izdajo certifikata o skladnosti tovarniške kontrole proizvodnje in stalni nadzor. Karakteristike, ki jih je treba preverjati oziroma navajati za proizvod bitumen B 70/100, so navedene v SIST EN 12591:2009. V tabelah 1A in 1B tega standarda so podane minimalne zahteve za cestogradbene bitumne. V Izjavi o lastnostih je treba navesti vsaj naslednje

karakteristike, ki morajo ustrezati zahtevam v standardu:

- za nestarane bitumne: penetracija, temperatura zmehčiča (T_{PK}), indeks penetracije, temperatura pretrgališča po Fraassu (T_{Fraass} , plamenišče, topnost, dinamična viskoznost pri 60 °C, kinematična viskoznost pri 135 °C);
- za kratkotrajno starane bitumne: penetracija, T_{PK} , sprememba mase;
- za dolgotrajno starane bitumne: zahtev ni.

4 • LABORATORIJSKO KRATKOTRAJNO STARANJE BITUMNA

Sodobna oprema omogoča laboratorijsko staranje bitumnov, s katerim simuliramo staranje pri proizvodnji in staranje vgrajenega bitumna v asfaltnih cestah. Postopek za kratkotrajno staranje RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) simulira spremembe bitumenskih veziv pri proizvodnji, transportu na gradbišče in vgradnji asfaltnih zmesi (slika 3). Izvaja se po standardizirani metodi (SIST EN 12607-1:2007). Majhne količine vzorca bitumna se vlijejo v steklene valjaste čaše, ki se vložijo v komoro. Laboratorijski postopek se opravlja pri povišani temperaturi z vrtenjem čaš, v katerih je tanka plast bitumna. Staranje oziroma otrdevanje bitumna poteka v komori pod vplivom toplote (temperatura v komori



Slika 3 • RTFOT-postopek kratkotrajnega staranja (laboratorij ZAG Ljubljana).

je 163 °C) in zraka, ki se vpihuje v čaše oziroma v komoro. Pretok vročega zraka je 240 l/h, postopek traja 75 minut. Bitumen, ki je bil laboratorijsko podvržen kratkotrajnemu staranju, se uporabi za nadaljnje preiskave in pospešeno staranje.

Bitumen, ki je po vročem postopku vgrajen v asfaltno plast, je že bil podvržen kratkotrajnemu staranju v fazi proizvodnje. Zaradi postopka priprave asfaltna zmesi bitumen otrdi, kar pomeni, da se zniža penetracija, poveča se temperatura zmečkaišča, poveča

se viskoznost, bitumen postane bolj krhek (poviša se temperatura pretrgališča po Fraas-su). Zato je občutljivost bitumna za staranje zelo pomembna pri obnašanju asfalta. Preiskave so pokazale, da niso vsi bitumni B 70/100 enako občutljivi za kratkotrajno staranje. Če uporabimo pri proizvodnji asfalta dodatke za znižanje temperature mešanja in vgrajevanja, je vpliv proizvodnje na karakteristike bitumna manjši.

V sklopu kontrole bitumnov je skladno s proizvodnimi standardi treba preveriti lastnosti

bitumna po kratkotrajnem staranju, in sicer vrednost penetracije, T_{PK} in spremembo mase. Izračuna se ohranjena vrednost penetracije za posamezni vzorec bitumna ob predpostavki, da je penetracija nestarane bitumna 100%. Izračuna se ohranjena vrednost zmečkaišča za posamezni vzorec bitumna. Standard (SIST EN 12591:2009) predvideva, da se po kratkotrajnem staranju preveri tudi sprememba mase bitumna, ki pa je lahko pozitivna ali negativna. Kontrole drugih karakteristik niti evropski niti slovenski standardi za zdaj ne predpisujejo.

5 • LABORATORIJSKO DOLGOTRAJNO STARANJE BITUMNA

Postopek pospešenega staranja PAV (Pressure Ageing Vessel) simulira spremembe bitumenskih veziv po daljšem času uporabe – večletno staranje zaradi oksidacije, UV-sevanje in kemikalije (slika 4). Postopek pospešenega staranja se opravlja v komori pri povišanem tlaku (2,1 MPa oz. 21 barov) in pri povišani temperaturi. Za naše podnebne razmere smo dolgotrajno staranje izvajali 20 ur pri temperaturi 100 °C. V komoro damo deset okroglih posodic, v katere vlijemo točno določeno količino bitumna (slika 4). Po končanem postopku se vzorčki prenesejo še v komoro za vakuumiranje, da se iz bitumna izločijo zračni mehurčki, nastali med staranjem v komori PAV. Ocenjeno je, da naj bi postopek dolgotrajnega staranja simuliral uporabnost

asfalta od 7 do 10 let. Časovna meja seveda ni jasno določena, saj je staranje odvisno tudi od lege asfalta (prisojna, osojna, predor), utrujanja, vrste asfalta, votlavosti ... Za pridobitev dolgotrajno staranih vzorcev bitumna moramo v postopku PAV uporabiti bitumne, ki smo jih najprej kratkotrajno (RTFOT) postarali, saj postopek PAV simulira samo počasno, postopno staranje bitumnov. Pospešeno staranje se izvaja po standardizirani metodi (SIST EN 14769, 2012). Na dolgotrajno staranem bitumnu opravimo preiskave, s katerimi ugotavljamo karakteristike, povezane z nastankom razpok zaradi utrujanja pri srednjih temperaturah zraka ter povezane z nastankom razpok pri nizkih temperaturah zraka.

V evropskih standardih kakor tudi v sloven-



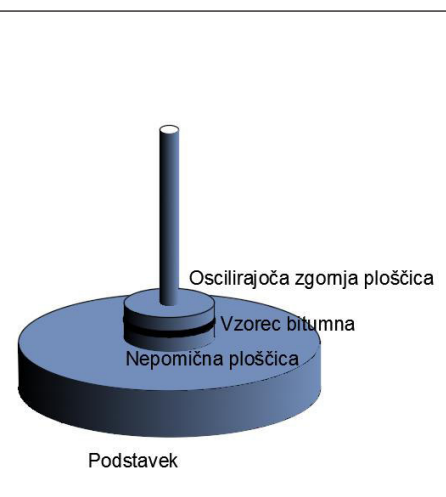
Slika 4 • PAV-postopek pospešenega staranja v komori (laboratorij ZAG Ljubljana).

skih standardih ali tehničnih specifikacijah še ni zahtev po karakteristikah bitumnov po dolgotrajnem staranju.

6 • REOLOŠKE ZNAČILNOSTI BITUMNOV

Novejša standardizirana preiskava (SIST EN 14770, 2012) za ugotavljanje reoloških značilnosti bitumnov oziroma viskoznega in elastičnega obnašanja je dinamični strižni reometer (DSR – Dynamic Shear Rheometer). Rezultat te preiskave sta kompleksni strižni modul, ki se označuje z G^* , in fazni kot oziroma fazni zamik, ki se označuje z δ . Glede na ugotovitve ameriških strokovnjakov parametra G^* in δ opredeljujeta dva pomembna dejavnika pri nastanku poškodb asfalta: tvorjenje kolesnic (pri višjih temperaturah oziroma elastičnem področju bitumna) in pa tvorjenje razpok zaradi utrujanja pri nižjih temperaturah oziroma viskoelastičnem območju.

Naprava, s katero smo opravljali preiskave, je prikazana na sliki 5. Vzorce bitumna oscilacijsko strižemo med dvema paralelnima



Slika 5 • Dinamični strižni reometer (laboratorij ZAG Ljubljana).

ploščama pri različnih temperaturah. Naprava ima podstavek in dve horizontalno postavljeni ploščici krožne oblike. Preiskava se opravlja na tankem vzorcu bitumna, ki ga namestimo na spodnjo ploščico, ki je nepomična. Zgornjo ploščico pritisnemo na vzorec bitumna. V času izvedbe preskusa spodnja ploščica miruje, zgornja pa oscilira s predpisano hitrostjo 10 rad/s (1,59 Hz), da se v vzorcu ustvari strižne sile. Taka hitrost striženja naj bi simulirala strižne obremenitve pri hitrosti vozil 97 km/h (Clyne, 2004).

Bitumen je naravni material, ki je viskoelastičen, obnašanje je odvisno od temperature. G^* izraža celotno odpornost vzorca proti deformacijam med ponavljajočim se striženjem. Fazni kot (δ) je zamik med največjo vsiljeno strižno napetostjo in največjo strižno deformacijo (slika 6). Pri preiskavi se izmeri časovni zamik v sekundah, ki se pretvori v fazni kot z upoštevanjem oscilacijske frekvence. Fazni kot lahko zavzame vrednosti od 90° do 0° . V primeru, da je material popolnoma elastičen, je fazni kot 0° , popolnoma viskozen material pa ima fazni kot 90° (slika 7).

$$\tau_{max} = \frac{2T}{\pi r^3} \quad (1)$$

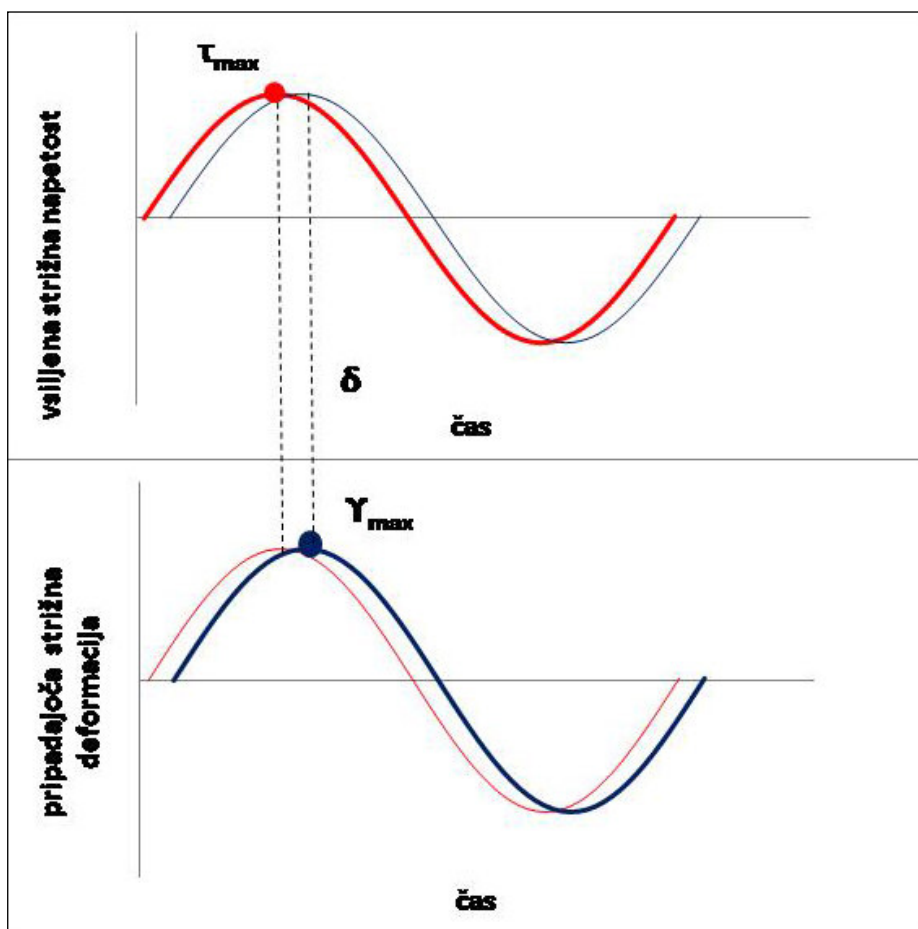
$$\gamma_{max} = \frac{\theta r}{h} \quad (2)$$

$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}} \quad (3)$$

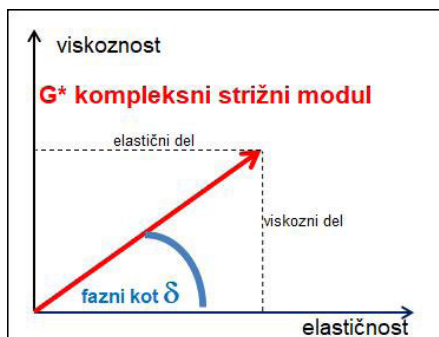
τ_{max} = maksimalna vnesena napetost (kPa)
 γ_{max} = maksimalna izmerjena deformacija (kPa)
 T = maksimalni vneseni navor (kNm)
 r = radij vzorca
 θ = krožni kot (v radianih)
 h = višina vzorca

Na sliki 8 je prikazano spreminjanje faznega kota in kompleksnega strižnega modula v odvisnosti od temperature preizkušanca pri preiskavi. Z višanjem temperature bitumna se strižni modul zmanjšuje, fazni kot pa se povečuje.

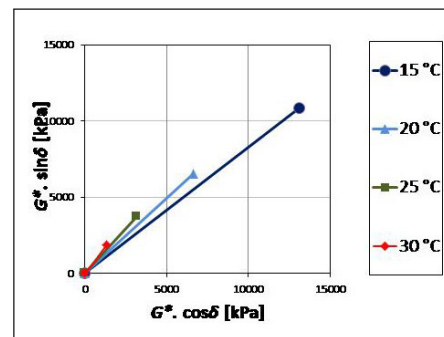
Iz meritev kompleksnega strižnega modula in faznega kota pri višjih temperaturah za nestarani in kratkotrajno starani bitumen lahko ocenimo potencial tvorjenja kolesnic. V literaturi (SHRP, 1994) in ameriškem standardu (AASHTO, 2016) postavljena mejna vrednost za kriterij plastičnih deformacij (oziroma visoke temperature uporabe) je $G^* / \sin \delta \geq 2,2$ kPa (za po RTFOT starani bitumen). V standardih postavljena mejna vrednost za kriterij odpornosti proti razpokam zaradi utrivanja za dolgotrajno starani bitumen je $G^* \cdot \sin \delta \leq 5.000$ kPa (za po RTFOT+PAV starani



Slika 6 • Definicija faznega zamika.



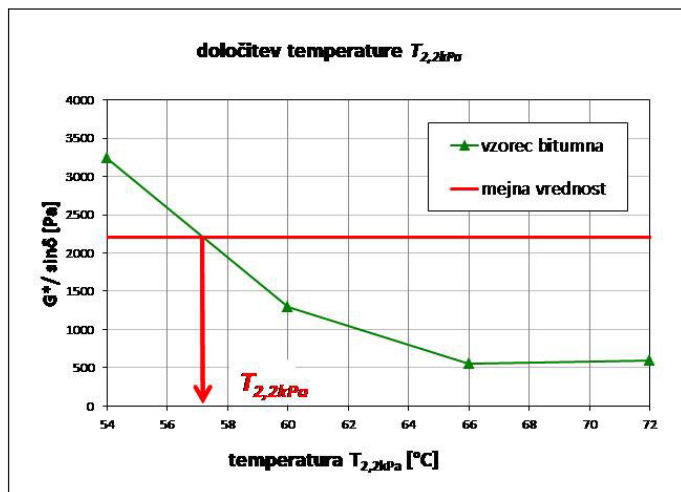
Slika 7 • Kompleksni strižni modul in fazni kot.



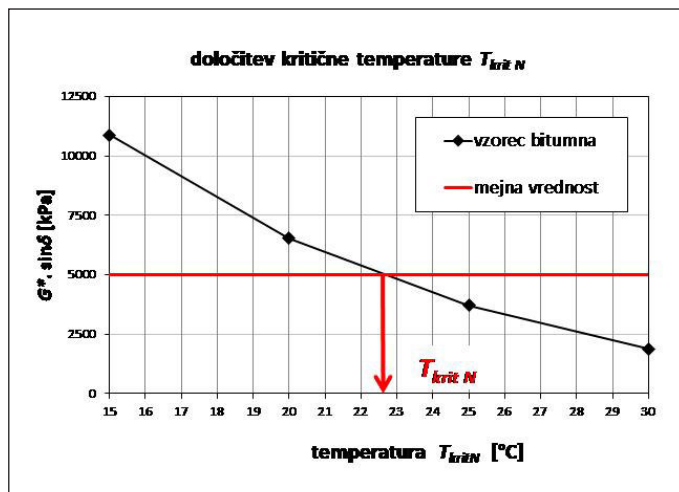
Slika 8 • Spreminjanje faznega kota in kompleksnega strižnega modula v odvisnosti od temperature preizkušanca.

bitumen). Da dobimo značilne temperature pri teh vrednostih, opravljamo preiskave v temperaturnem območju od $+50^\circ\text{C}$ do $+100^\circ\text{C}$ na nestaranem in kratkotrajno staranem bitumnu ter pri temperaturah od $+10^\circ\text{C}$ do $+30^\circ\text{C}$ na dolgotrajno staranem bitumnu. Temperature, pri katerih opravljamo preiskave, se nekoliko razlikujejo glede na vrsto bitumna, saj so mejne vrednosti za vse cestogradbene bitumne enake.

Na sliki 9 je prikazan primer določitve mejne visoke temperature vozišča za stanje takoj po vgradnji asfalta $T_{2,2\text{kPa}}$ (temperatura, kjer je $G^* / \sin \delta \geq 2,2$ kPa). Pozneje bitumen dodatno otrdi, zato je vedno manj občutljiv za nastajanje kolesnic pri visokih temperaturah zraka oziroma vozišča. Na sliki 10 je primer za dolgotrajno starani bitumen, kjer smo določili T_{krit-N} pri $G^* \cdot \sin \delta \leq 5.000$ kPa.



Slika 9 • Določitev T pri $G^* / \sin\delta = 2,2 \text{ kPa}$ $T_{2,2kPa}$



Slika 10 • Določitev T pri $G^* \cdot \sin\delta = 5.000 \text{ kPa}$ $T_{krit N}$

Natančnost te metode preskušanja še ni bila ugotovljena. Iz standarda (SIST EN 14770, 2012) lahko razberemo, da so bili opravljeni primerjalni preskusi s ploščicami premera 25

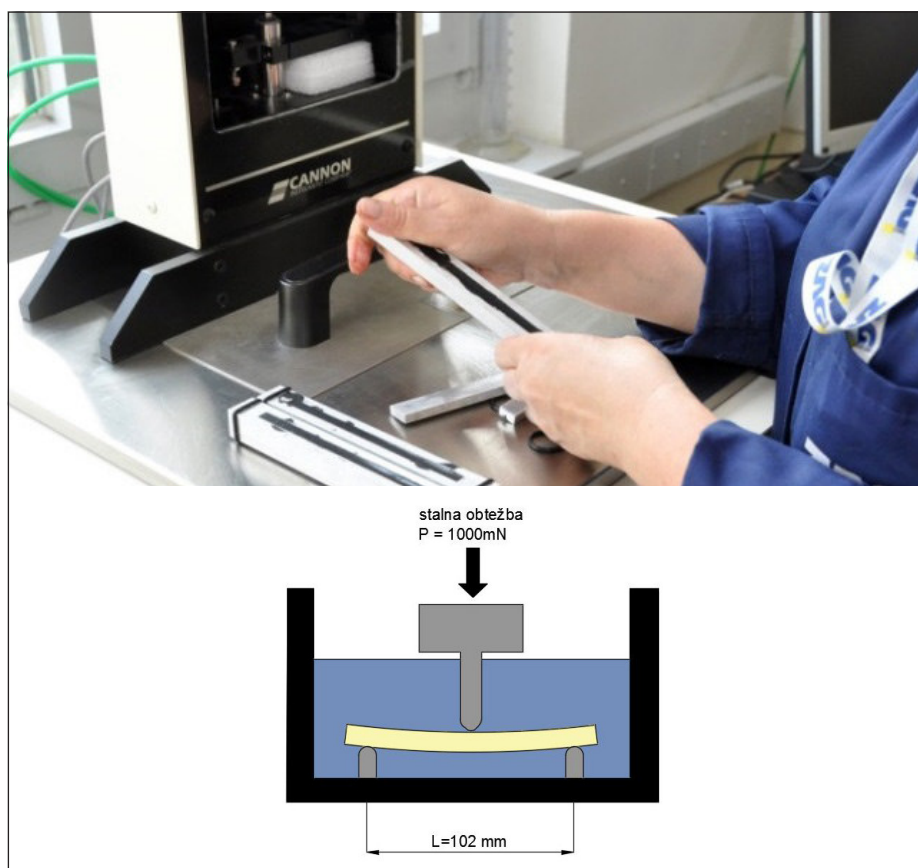
mm in 8 mm. Na osnovi teh preskusov je bilo zaključeno, da je mogoče dobiti ponovljivost za kompleksni strižni modul $/G^*$ v območju od 0 % do 10 % ne glede na vrsto bitumna in

stanje (nestarani, kratkotrajno ali dolgotrajno starani). Ponovljivost za fazni kot δ lahko dobimo v območju od 0 % do 5 % ne glede na vrsto in stanje bitumna.

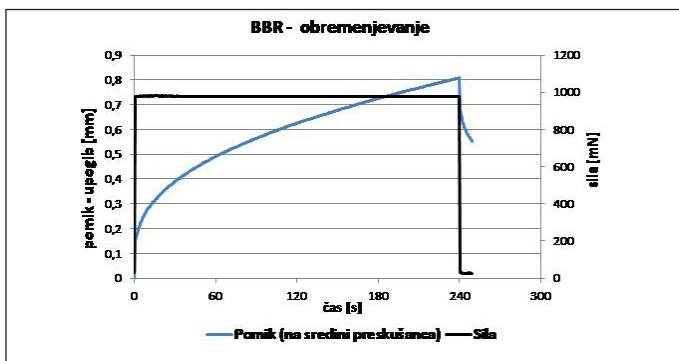
7 • PREISKAVA BBR

Za ugotavljanje karakteristik bitumna pri nizkih temperaturah se uporablja preiskava pretrgališča po Fraassu, ki pa ima določene pomanjkljivosti (npr. slaba ponovljivost rezultatov preiskave). Zato je bila razvita nova, natančnejša preiskava: Ugotavljanje upogibne togosti – Reometer z nosilcem, obremenjenim na upogib (BBR). Standardizirana preiskava BBR (SIST EN 14771, 2012) se v Sloveniji opravlja šele od leta 2014. V ameriških specifikacijah AASHTO M320 pa je preiskava BBR obvezna preiskava na laboratorijsko staranih bitumnih.

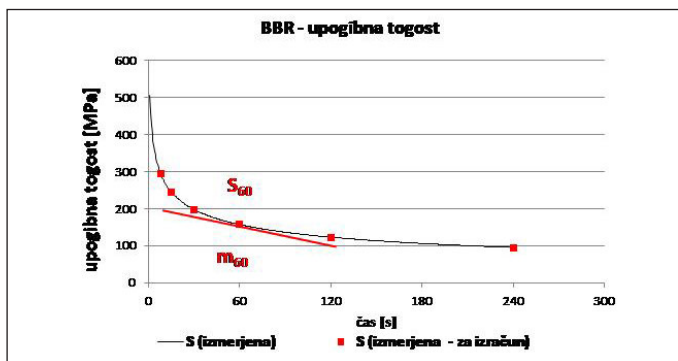
Vzorec bitumna se vlije v model v obliki prizme. Vsaka prizma se položi kot nosilec na dve podpori (slika 11) in se na sredini med podporama obremeni s konstantno navpično obtežbo. V napravi se preskuša po dve paralelki (dva enaka preizkušanca pri vsaki temperaturi, opravijo pa se preiskave pri različnih temperaturah, ki so vse pod lediščem). Običajno delamo preiskavo pri temperaturah od -4 °C do -34 °C s korakom po 6 °C . Če želimo preiskavo narediti pri šestih temperaturah, moramo dolgotrajno starati zadostno količino bitumna za pripravo najmanj dvanajstih preizkušancev. Pri vsaki temperaturi preskušanja se preizkušavec obremenjuje s silo 1000 mN najmanj 240 s. Shematski prikaz obremenjevanja je prikazan na sliki 12.



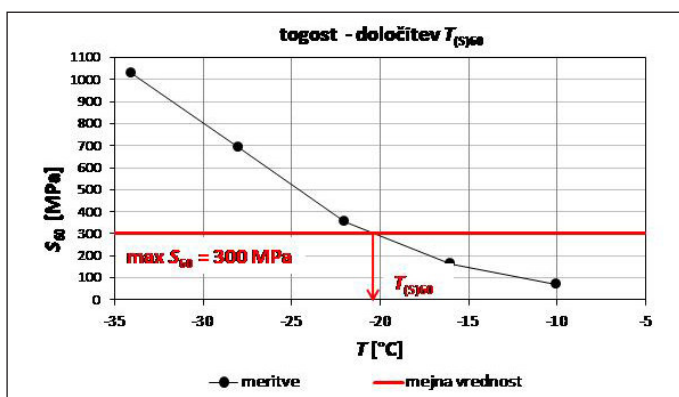
Slika 11 • Ugotavljanje upogibne togosti z BBR (laboratorij ZAG Ljubljana).



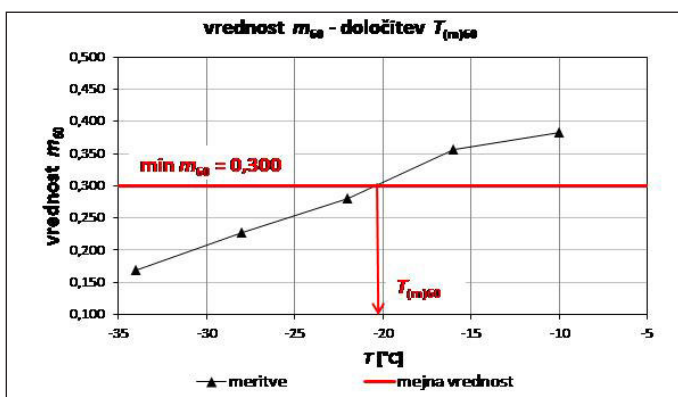
Slika 12 • Shematski prikaz obremenjevanja med preiskavo BBR.



Slika 13 • Pomen S_{60} in m_{60} pri preiskavi BBR.



Slika 14 • Določevanje $T_{(S)60}$ pri preiskavi BBR.



Slika 15 • Določevanje $T_{(m)60}$ pri preiskavi BBR.

Prikaz izmerjenih rezultatov preiskave – togost v odvisnosti od časa – je prikazan na sliki 13. Upogibna togost se pri konstantni sili s časom zmanjšuje, saj se upogib nosilca veča. Po dogovoru je karakteristična vrednost v 60. sekundi obremenjevanja. Za bitumen B 70/100 smo preiskavo opravili pri temperaturah $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri vsaki temperaturi preskušanja smo za rezultat dobili:

- S_{60} togost v 60. sekundi obremenjevanja in
 - m_{60} vrednost, ki izraža hitrost spremembe togosti med obremenjevanjem.
- Po preiskavi smo izrisali grafe temperatura/to-

gost ter temperatura/m-vrednost po 60 sekundah obremenjevanja skladno z ameriški specifikacijami za cestogradbeni bitumen AASHTO M 320. Primera spremembe upogibne togosti S_{60} in vrednosti m_{60} glede na temperaturo sta prikazana na sliki 14 in 15. Dogovorjeni mejni vrednosti sta skladno s specifikacijami $T_{(S)60}$ pri $S_{max} = 300\text{ MPa}$ in $T_{(m)60}$ pri vrednosti $m = 0,300$. Pri mejnih vrednostih 300 MPa za togost in 0,300 za m smo odčitali temperaturi $T_{(S)60}$ in $T_{(m)60}$. Temperatura pri mejni togosti ($T_{(S)60}$) je definirana kot temperatura, pri kateri je togost S_{60} še manjša od 300 MPa. Prevelika togost pri

nizkih temperaturah pomeni, da so v bitumnu akumulirane prevelike termične napetosti. Predpostavljeno je, da je bitumen odporen proti nastanku razpok, če je njegova togost manjša ali enaka od 300 MPa. Temperatura pri mejni vrednosti m_{60} ($T_{(m)60}$), je definirana kot temperatura, pri kateri je vrednost m_{60} večja ali enaka 0,300. Višja vrednost m pomeni, da ima tak bitumen boljše sposobnost relaksacije nakopičenih termičnih napetosti. Na slikah 14 in 15 je prikazano določevanje $T_{(S)60}$ in $T_{(m)60}$ po zgoraj opisanih kriterijih. Končni rezultat preiskave je višja od obeh temperatur.

8 • KARAKTERISTIKE BITUMNOV B 70/100 PO LABORATORIJSKEM STARANJU

V letih 2015 in 2016 smo v laboratoriju za asfalte in bitumenske proizvode ZAG naredili obsežne preiskave šestih vzorcev bitumna B 70/100 različnih proizvajalcev ter jih laboratorijsko postarali in preiskave ponovili. Vsi preiskani bitumni so se uporabljali pri gradnji na slovenskih cestah.

Za ugotavljanje karakteristik nestarane bitumna se že dolgo časa uporabljajo tri

osnovne preiskave: penetracija, temperatura zmečičišča T_{PK} in preiskava pretrgališča po Fraassu oziroma temperatura pretrgališča T_{Fraass} . Zato smo na šestih vzorcih opravili te tri osnovne preiskave, katerih rezultati so podani v preglednici 1. Vseh šest vzorcev je v preiskanih karakteristikah ustrezalo zahtevam v standardu SIST EN 12591:2004.

Preglednica 1: Zahteve v SIST EN 12591:2009

in rezultati preiskav šestih vzorcev B 70/100. Ugotovimo lahko, da so zahteve v veljavnem standardu navedene le za zelo osnovne preiskave in da so zahteve zelo blage. Vsi preiskani bitumni so izpolnjevali te zahteve. Na podlagi karakteristik, ki jih je treba podati za bitumen, ne moremo oceniti, kakšno bo obnašanje tega bitumna po dolgotrajnem staranju. Zato smo te bitumne tudi dolgotrajno starali in izvedli preiskavi DSR in BBR, ki jih standard SIST EN 12591:2009 ne predvideva. Na slikah od 16 do 18 so rezultati preiskav.

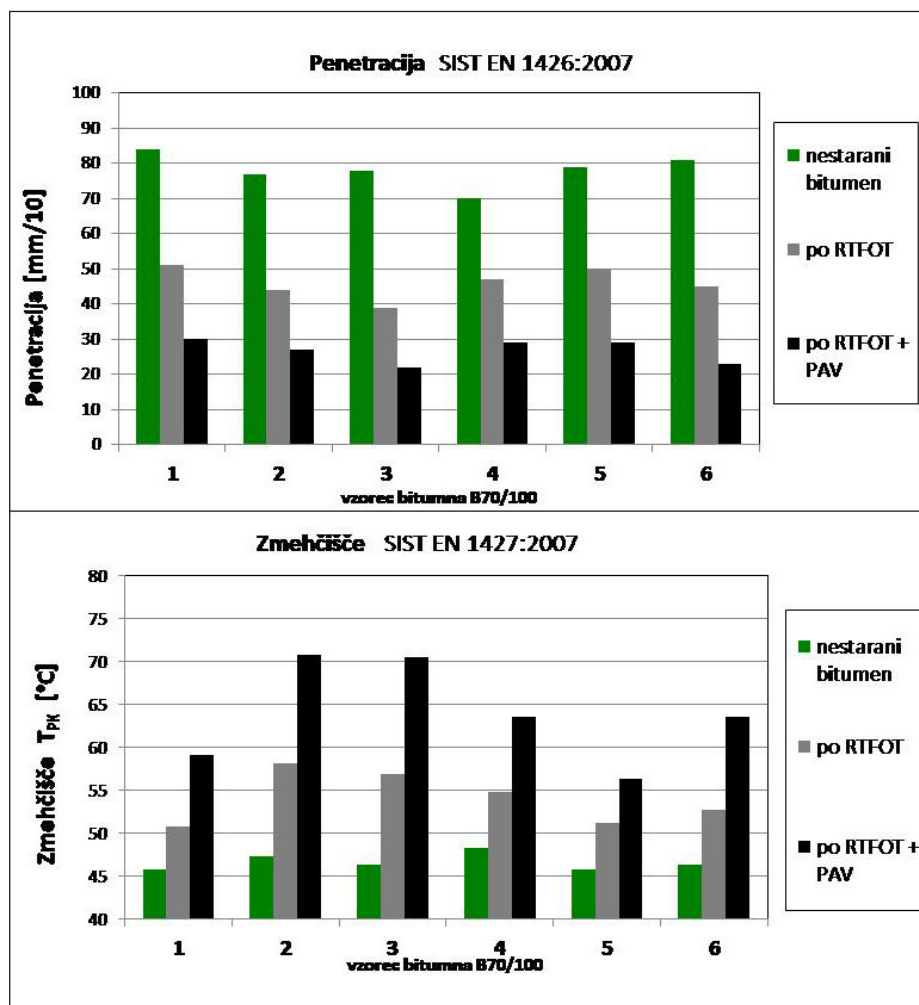
	Nestarani bitumen B 70/100				B 70/100 po kratkotrajnem staranju (RTFOT)			
	penetracija	T_{PK}	indeks penetracije	T_{Fraass}	penetracija	ohranjena penetracija	T_{PK}	sprememba T_{PK}
Standard	EN 1426	EN 1427	EN 12591	EN 12593	EN 1426		EN 1427	
vzorec	mm/10	°C	/	°C	mm/10	%	°C	°C
1	84	45,8	-1,1	-13	51	61%	50,8	5
2	77	47,4	-0,8	-14	44	57%	58,2	10,8
3	78	46,4	-1,1	-13	39	50%	56,9	10,5
4	70	48,3	-0,8	-16	47	67%	54,8	6,5
5	79	45,8	-1,2	-10	50	63%	51,3	5,5
6	81	46,4	-1,0	-10	45	56%	52,8	6,4
zahteva	70 do 100	43 do 51	-1,5 do +0,7	≤ -10	ni zahteve	≥ 50	ni zahteve	≤ 11

Preglednica 1 • Zahteve v SIST EN 12591:2009 in rezultati preiskav šestih vzorcev B 70/100

Vzorci so označeni z zaporednimi števkami od 1 do 6. Rezultati za nestarane bitumne so označeni v zeleni barvi, rezultati za kratkotrajno starane (po RTFOT) so v sivi barvi ter za dolgotrajno starane bitumne (po RTFOT+PAV) v črni barvi.

Otrdevanju oziroma staranju bitumnov pri proizvodnji asfalta se ne moremo izogniti. Zaželeno pa je, da bi vsi bitumni sicer nekoliko otrdeli med proizvodnjo asfalta, po vgradnji v cesto pa naj bi bilo otrdevanje čim manjše. S slike 16 lahko ugotovimo, da se je vsem bitumnom penetracija po kratkotrajnem staranju znižala, kar je pričakovano. V standardu absolutne zahteve za najnižjo dovoljeno penetracijo po kratkotrajnem staranju ni. Ugotovimo lahko tudi, da vsi bitumni po laboratorijskem dolgotrajnem staranju dodatno otrdijo, kar je tudi pričakovano. Glede na penetracijo sta najbolj otrdela vzorca s števkama 3 in 6, najmanj pa vzorca s števkama 1 in 4.

Zaželeno je, da je temperatura zmečkščja takoj po vgradnji relativno visoka. V standardu pa absolutne zahteve za temperaturo zmečkščja po kratkotrajnem staranju ni. Minimalna zahtevana T_{PK} je 43 °C za nestarani bitumen B 70/100. Ob predpostavki, da bitumen ne bi med proizvodnjo otrdel, velja $T_{PK} > 43$ °C tudi za bitumen po kratkotrajnem staranju. To je seveda prenizka temperatura za naše podnebne razmere, saj temperatura na asfaltni površini lahko doseže več kot 60 °C. Zaradi proizvodnje se mora bitumen toliko postarati, da je takoj po vgradnji dovolj trd,

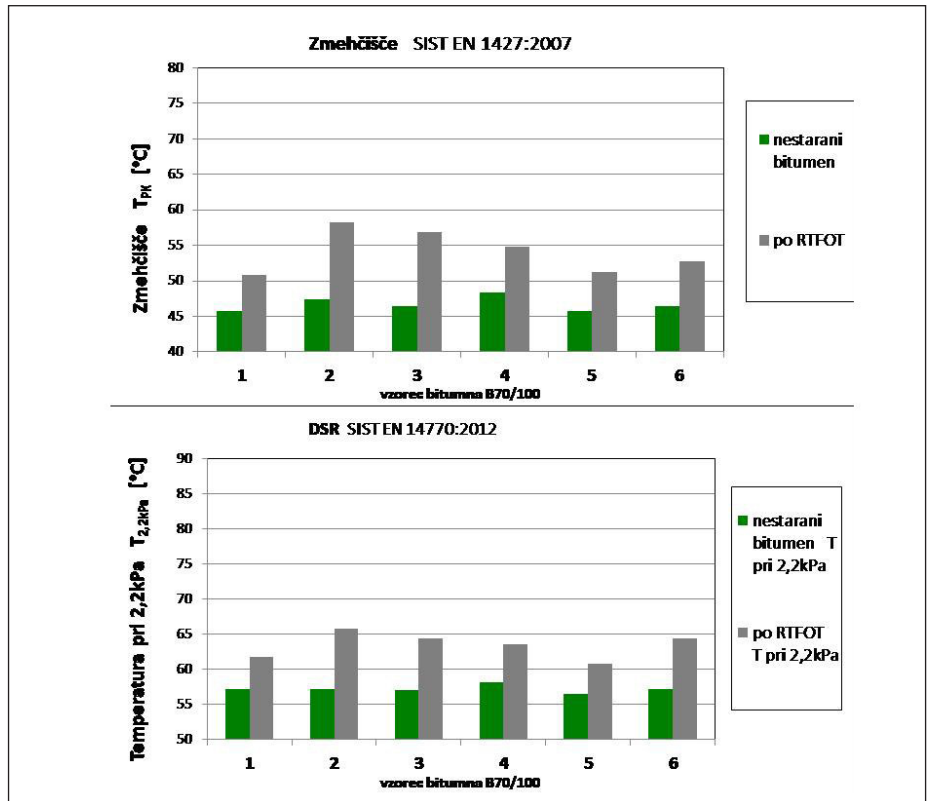


Slika 16 • Primerjava vrednosti penetracije in zmečkščja B 70/100 pred staranjem in po njem.

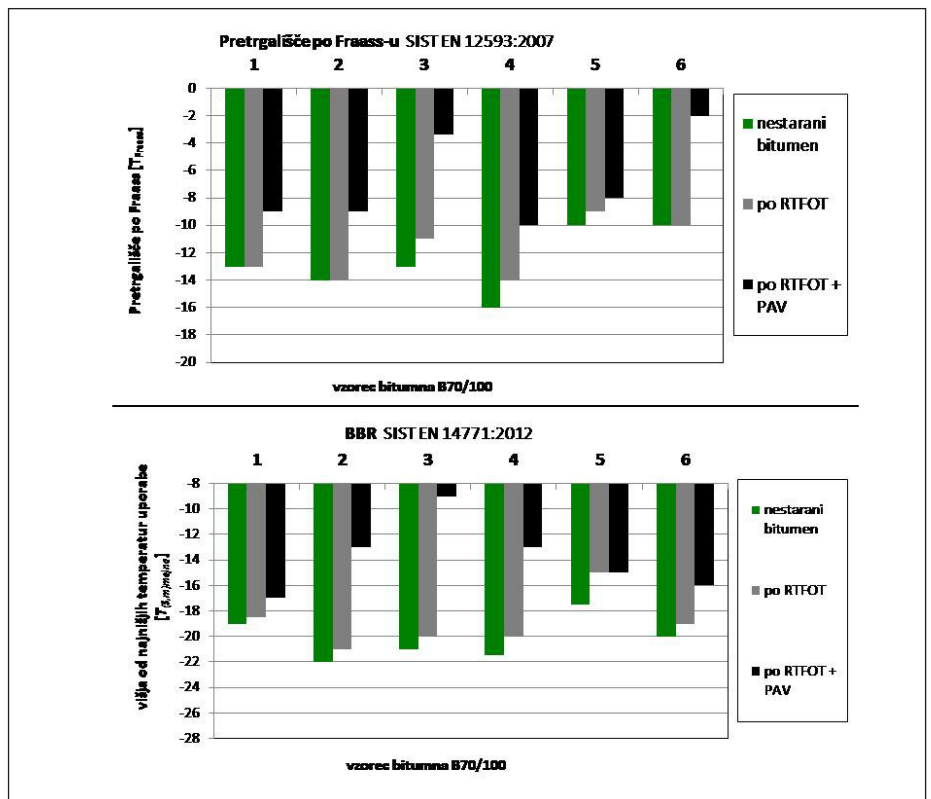
da ne nastanejo kolesnice. S slike 16 lahko ugotovimo, da vsi bitumni po kratkotrajnem in dolgotrajnem staranju otrdijo, saj se je zmečičišče zvišalo, kar je pričakovano. Po kratkotrajnem staranju (proizvodnji in vgradnji asfalta) imata najvišje zmečičišče vzorca 2 in 3, kar je zaželeno. Podoben rezultat pokaže preiskava DSR, rezultati so prikazani na sliki 17. Preiskavo smo izvedli pri več temperaturah in iz diagramov odčitali temperaturo, pri kateri je $G^* / \sin\delta$ (Pa) enako 2,2 kPa $T_{2,2kPa}$. Obe preiskavi kažeta, da sta po RTFOT najbolj otrdela vzorca 2 in 3, najmanj pa vzorca 1 in 5, nista pa temperaturi T_{PK} in $T_{2,2kPa}$ medsebojno absolutno primerljivi.

Zaželeno je, da se T_{PK} vgrajenega asfalta z leti čim manj povišuje oziroma da bitumen čim manj otrdeva. Po dolgotrajnem staranju (RTFOT+PAV) sta glede na temperaturo zmečičišča najbolj otrdela vzorca 2 in 3, kar ni zaželeno, najmanj pa vzorca 1 in 5 (slika 16).

Temperatura pretrgališča T_{Fraass} mora biti v celotni življenjski dobi čim nižja, da je asfalt bolj odporen proti nizkim temperaturam. Zahteve za najvišjo temperaturo T_{Fraass} po kratkotrajnem in dolgotrajnem staranju ni. S slike 18 lahko ugotovimo, da kratkotrajno staranje ni pomembno vplivalo na dvig temperature pretrgališča. Laboratorijsko dolgotrajno staranje pa je povzročilo dodaten dvig T_{Fraass} in posledično manjšo odpornost proti nizkim temperaturam. Dobre karakteristike glede na T_{Fraass} imajo vzorci 4, 1, 2 ter 5, slabše pa vzorca 3 in 6. Upoštevati je treba, da je ponovljivost rezultatov preiskave Fraass majhna in znaša le 2 °C. Na sliki 18 so tudi rezultati preiskave BBR, in sicer je prikazana višja vrednost izmed $T_{(m)60}$ oziroma $T_{(S)60}$. Glede na rezultate BBR imajo najboljše karakteristike vzorci 1, 6 in 5, najslabše pa vzorec številka 3. Rezultati obeh preiskav kažeta, da ima najslabše karakteristike vzorec 3, temperaturi T_{Fraass} ter $T_{(m)60}$ oziroma $T_{(S)60}$ med seboj nista absolutno primerljivi.



Slika 17 • Primerjava vrednosti T_{PK} in $T_{2,2kPa}$ za B 70/100 pred in po kratkotrajnem staranju.



Slika 18 • Primerjava T_{Fraass} in višja od $T_{(m)60}$ oziroma $T_{(S)60}$ bitumna B 70/100 pred staranjem in po njem.

9 • ZAKLJUČEK

Asfaltne zmesi so največkrat uporabljeni materiali za zgornji ustroj voziških konstrukcij in so neposredno izpostavljene prometnim in podnebnim obremenitvam. Glede na vpliv obremenitev na mehanskofizikalne lastnosti asfaltnih plasti predstavljajo bitumenska veziva bistveno komponento v sestavi asfaltnih zmesi. Karakteristike bitumna morajo omogočati, da projektirana asfaltna zmes podaja ustrezno odpornost tako proti plastičnim deformacijam pri visokih temperaturah kot odpornost proti razpokam pri nizkih temperaturah ter odpornost proti utrujanju pod vplivom

prometnih in podnebnih obremenitev. Zato so preiskave lastnosti laboratorijsko staranih bitumnov zelo pomembne za oceno obnašanja asfaltnih plasti v celotni predvideni življenjski dobi. Zaradi pomanjkljivih zahtev v standardih se običajno preverjajo samo osnovne lastnosti nestaranih in kratkotrajno staranih bitumnov, čeprav so spremembe lastnosti po dolgotrajnem staranju pomembne.

Z laboratorijskim staranjem in s sodobnimi preiskavami je mogoče predvideti lastnosti bitumna po več letih uporabe, še preden se ta bitumen uporabi pri proizvodnji asfaltne

zmesi, kar je pomemben podatek tako za proizvajalce asfaltnih zmesi kot za naročnike asfaltnih del.

Novejša preiskava BBR omogoča določevanje karakteristik bitumnov pri nizkih temperaturah z dobro ponovljivostjo rezultatov preiskav, česar pri preiskavi pretrgališča T_{Fraass} ki se običajno uporablja, ni mogoče doseči. Novejša preiskava DSR pa omogoča oceno odpornosti bitumnov glede na visoke temperature in oceno odpornosti proti utrujanju.

V nadaljnjem raziskovalnem delu bo treba postaviti kriterije tudi za karakteristike bitumna po dolgotrajnem staranju, saj teh zahtev niti v evropskih standardih (SIST EN) niti v izvirnih slovenskih standardih (SIST) za zdaj ni.

10 • LITERATURA

AASHTO M 320-16, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, 2016.

Clyne, T. R., Marasteanu, M. O., Inventory of properties of Minnesota certified asphalt binders, Final Report, University of Minnesota, Department of Civil Engineering, 2004.

Harrigan, E. T., Leahy, R. B., Youtcheff, J. S., SHRP-A-379 The SUPERPAVE mix design systems manual of specifications, test methods, and practices, 1994.

Korošec, M., Baza arhivskih podatkov DARS, d. d. – rezultati meritev zraka in temperature na Mostu čez Muro, Osebna komunikacija, 18. 4. 2016.

Ravnikar Turk, M., Vpliv laboratorijsko simuliranega staranja bitumnov na njihove lastnosti pri nizkih temperaturah, Magistrsko delo, UL FGG, 2016.

SIST EN 1426:2015, Bitumen in bitumenska veziva, Določanje penetracije z iglo, 2015.

SIST EN 1427:2015, Bitumen in bitumenska veziva, Določanje zmehčišča – Metoda prstana in kroglice, 2015.

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

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

SIST EN 12607-1:2007, Bitumen in bitumenska veziva, Določanje odpornosti proti utrjevanju pod vplivom toplote in zraka, 1. del: metoda RTFOT, 2007.

SIST EN 14769:2012, Bitumen in bitumenska veziva, Pospešeno staranje v tlačni posodi (PAV), 2012.

SIST EN 14770:2012, Bitumen in bitumenska veziva, Ugotavljanje kompleksnega strižnega modula in faznega kota (DSR), 2012.

SIST EN 14771:2012, Bitumen in bitumenska veziva, Ugotavljanje upogibne togosti – Reometer z nosilcem, obremenjenim na upogib (BBR), 2012.