

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, september 2017, letnik 66, str. 209-232

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukić
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Gorazd Humar**
mag. Mojca Ravnikar Turk
dr. Branko Zadnik
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FG: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

950 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojene 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledki med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **209**

dr. Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.
Jernej Maher, univ. dipl. inž. grad.

POSTOPNO NARIVANJE MOSTOV – ZNAČILNOSTI IN VPLIV VSILJENEGA DEFORMIRANJA

INCREMENTAL LAUNCHING METHOD –
CHARACTERISTICS AND INFLUENCE OF IMPOSED DEFORMATION

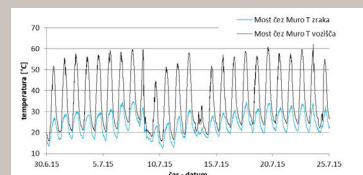


stran **220**

mag. Mojca Ravnikar Turk, univ. dipl. inž. grad.
izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.
Aleksander Ipavec, univ. dipl. inž. grad.
dr. Marjan Tušar, univ. dipl. inž. kem.

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

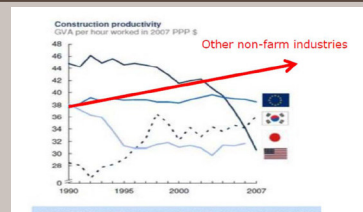
THE IMPACT OF LABORATORY AGING ON 70/100 BITUMEN PENETRATION
GRADE PROPERTIES



Novi priročnik

stran **230**

Ksenija Marc, univ. dipl. inž. grad.
UVAJANJE BIM V DRŽAVAH EU



Vabilo

stran **232**

Dan inženirjev 2017

Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Montaža opečnih sten sistema Masivna Pasivna, foto: Ivan Krstić

POSTOPNO NARIVANJE MOSTOV – ZNAČILNOSTI IN VPLIV VSILJENEGA DEFORMIRANJA

INCREMENTAL LAUNCHING METHOD – CHARACTERISTICS AND INFLUENCE OF IMPOSED DEFORMATION

dr. Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

viktor.markelj@ponting.si

Jernej Maher, univ. dipl. inž. grad.

jerne.j.maher@ponting.si

Ponting, d. o. o., in Univerza v Mariboru FGPA Maribor

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 624.012.46:624.074.1

Povzetek | Prispevek prikazuje raziskavo značilnih parametrov izvedenih cestnih mostov, grajenih s tehnologijo postopnega narivanja, ki so bili načrtovani v projektantskem biroju Ponting iz Maribora. Iz baze podatkov, ki obsega 27 cestnih objektov, zgrajenih v zadnjih 20 letih, je bila narejena statistična analiza značilnih parametrov in njihovih medsebojnih relacij. Poudarek je bil na značilnostih betonske prekladne konstrukcije, ki se nariva. Posebej so bile analizirane vitkosti konstrukcij, stopnja prednapetja, geometrijske karakteristike prečnega prereza prednapete betonske grede in količina vgrajenih kablov. V drugem delu prispevka je predstavljen vpliv deformiranja konstrukcije v vsiljeno geometrijo na napetostno stanje v konstrukciji ob upoštevanju osnovnih načel gradbene mehanike. Pri tem je upoštevana elastičnost betonske gredne konstrukcije, ki se lahko delno deformira iz oblike, v kateri je bila narejena. Opisana je možnost uporabe te metode v dejanski praksi gradnje mostov po tehnologiji postopnega narivanja.

Ključne besede: mostovi, tehnologija, postopno narivanje, prednapenjanje

Summary | The paper presents the research of characteristic parameters of road bridges built by incremental launching method, designed by the team of engineers from Ponting Maribor. From the database, which contains 27 road structures built in the past 20 years, statistical analysis of characteristic parameters and their mutual relations was performed. The focus of the analysis was on the characteristics of a launched concrete deck. Particularly the structural slenderness, the degree of prestressing, characteristics of the cross-section of prestressed concrete girder and the amount of installed cables were analysed. In the second part the paper presents the influence of deformed structure into the imposed geometry on the stress state of the structure, taking into account the basic principles of structural mechanics. This takes into account the elasticity of the concrete girder structure, which may be partially deformed from the form in which it was made. The possibility of using this method in the actual practice of building bridges by incremental launching method is also described.

Key words: bridges, construction method, incremental launching, prestressing

1 • UVOD

Tehnologija postopnega narivanja (TPN) je v zadnjem obdobju postala zelo priljubljen način gradnje betonskih mostov. Prednosti te tehnologije so neodvisnost od ovire,

hitrost, majhna tveganja pri gradnji, kvaliteta in robustnost konstrukcije ter ne nazadnje tudi ekonomičnost gradnje. Največja pomanjkljivost te tehnologije je njena odvisnost od ge-

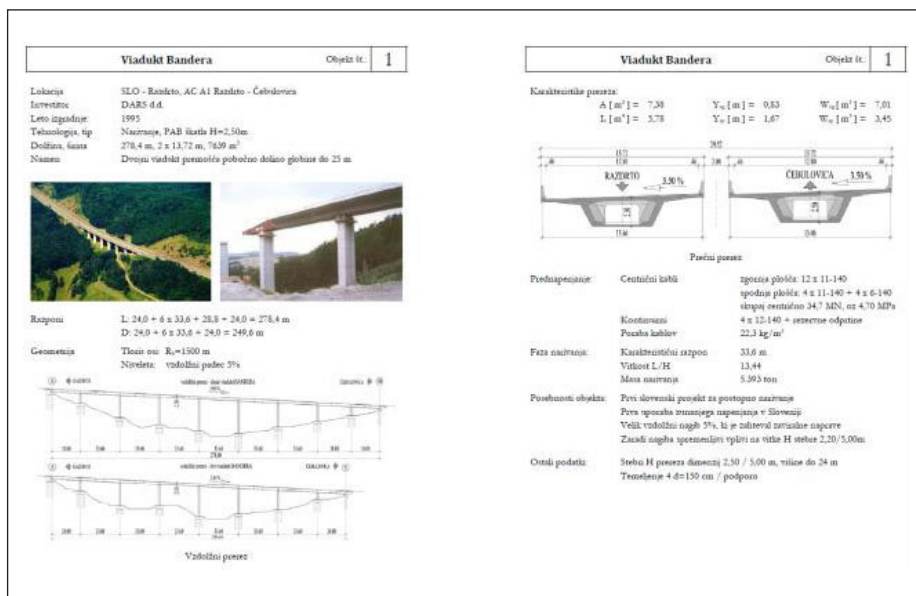
ometrijskih pogojev, saj je gradnja enostavno izvedljiva le v konstantnih parametrih zakrivljenosti.

V tem prispevku so prikazani rezultati analize cestnih mostov, zgrajenih s tehnologijo postopnega narivanja, ki so bili narejeni v projektantski skupini inženirskega biroja Ponting (preglednica 1).

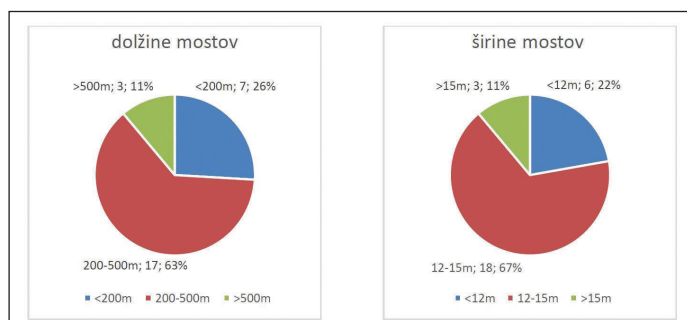
št.	objekt	končan leto	odg. projektant	L m	dolžina m	širina m	površina m ²	en/dva n	A skupni m ²
1	Viadukt BANDERA	1995	V. Markelj	33,6	278,4	13,72	3.820	2	7.639
2	Viadukt LEŠNICA Ormož	1998	V. Markelj	34	324	10,82	3.506	1	3.506
3	Viadukt RIBNIK	1999	M. Pipenbaher	37,5	358	10,11/10,71	3.727	2	7.668
4	Viadukt ZLOKARJE	2000	V. Markelj	45	207	12,93	2.677	2	5.353
5	Viadukt 6-2 GLINŠČICA	2000	M. Pipenbaher	38	236	13,99	3.302	2	6.603
6	Viadukt MLAKE	2001	M. Pipenbaher	33	316	13,89/14,69	4.525	2	9.050
7	Most čez MURO	2003	V. Markelj	40/80	833	13,91	11.587	2	23.174
8	Viadukt Tržiška Bistrica	2003	M. Pipenbaher	40	420	14,71/14,86	6.258	2	12.516
9	Viadukt BIVJE	2004	M. Pipenbaher	42/70	574	14,79/13,44	8.017	2	16.034
10	Most DOBRA	2003	V. Markelj, PZI	51	215	13,42	2.832	2	5.664
11	Viadukt STRAŽA	2007	M. Pipenbaher	34,5	228,5	12,60/14,25	2.846	2	5.691
12	Viadukt MIMARJE	2007	M. Pipenbaher	50	181,3	12,70/13,55	2.379	2	4.758
13	Viadukt KUPETINCI	2008	M. Štern	40	344	11,84	4.154	2	8.308
14	Viadukt 6-2 GRABE	2007	D. Rožič	35	254	11,87	3.015	2	6.106
15	Viadukt LEŠNICA sever	2007	V. Markelj	72,5	186,5	13,94	2.600	1	2.600
16	Viadukt BONIFIKA	2008	M. Pipenbaher	37,5	547,5	14,47	7.925	1	7.925
17	Viadukt LJUBNO sever	2007	V. Markelj	33	316	14,69	4.642	1	4.642
18	Viadukt DOBRUŠA	2008	M. Štern	58	324	14,80/14,95	4.820	2	9.639
19	Nadvoz 4-2 SLIVNICA	2008	D. Rožič, PGD	30	286	11,65	3.332	1	3.332
20	Viadukt 6-6 VODOLE V	2009	D. Rožič	33	302,5	15,31/13,96	4.631	2	6.999
21	Viadukt 6-1 PINCE	2008	M. Štern	40	180	13,34	2.401	2	4.893
22	Nadvoz LIPA ŠTORE	2008	V. Markelj	29,5	187,5	9,60	1.824	1	1.824
23	Viadukt HAJDINA	2009	M. Štern	32,4	278,7	14,10	3.930	2	7.860
24	Viadukt LEŠNICA jug	2011	V. Markelj	72,5	182,5	14,10	2.573	1	2.573
25	Viadukt LJUBNO jug	2011	T. Weingerl	45	115	15,05	1.731	1	1.731
26	Ada bridge - side spans	2012	V. Markelj, TEH	80/108	361	45,00	16.245	1	16.245
27	Nadvoz HAJDINA	2015	R. Mlakar	40	158	12,90	2.038	1	2.038
	POVPREČJE				303,5	14,6	4.494		7.268
	SKUPAJ				13.725				196.258

Preglednica 1 • Izvedeni mostovi po metodi TPN inženirskega biroja Ponting, d. o. o.

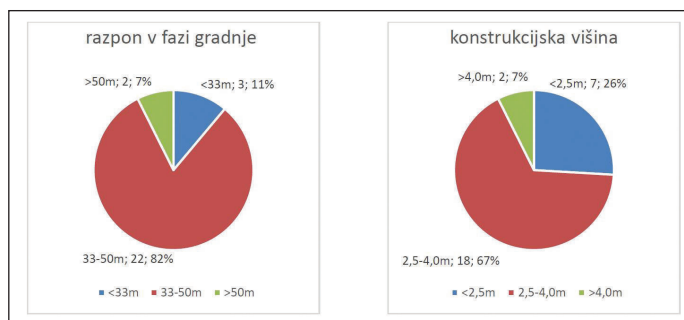
V bazi podatkov je bilo zajetih 27 cestnih mostov, zgrajenih s tehnologijo postopnega narivanja, od tega 17 dvojnih (62 %) in 10 enojnih objektov (38 %). Povprečna dolžina objektov znaša 303 m, povprečna širina pa 14,6 m. Skupna dolžina konstrukcij je 13.725 m, skupno pa imajo površino skoraj 200.000 m². Baza podatkov za posamezen objekt, poleg osnovnih podatkov o imenu, naročniku, lokaciji in letu izvedbe, zajema še podatke o statičnem sistemu, razponih, dolžini in širini objekta, osnovne podatke o geometriji ceste (podatki za os in niveleto), karakteristike prečnega prereza, podatke o kablji za prednapenjanje in posebnosti objekta. Podatkovni blok je dopolnjen s skico vzdolžnega in prečnega prereza ter fotografijo izvedenega objekta. Vsak od 27 objektov je opisan na dveh A4-straneh, kot je prikazano na sliki 1. Celotna baza podatkov je dodana kot priloga disertacije avtorja članka (Markelj, 2016).



Slika 1 • Posnetek lista iz baze podatkov za tipični most.



Slika 2 • Deleži mostov glede na dolžino in širino



Slika 3 • Deleži mostov glede na karakteristični razpon in konstrukcijsko višino.

Razporeditev po osnovnih karakteristikah je prikazana z diagrami na slikah 2 in 3. Značilne dolžine so med 200 in 500 m, največ mostov je širine med 12 in 15 m, značilno območje razponov v fazi narivanja znaša med 33 in 50 m, najbolj pogoste konstrukcijske višine so med 2,5 in 4,0 m. Podatki ustrezajo

značilnim vrednostim, ki jih za TPN navaja literatura ((Göhler, 2000), (Rosignoli, 2014)), torej lahko predpostavimo, da bodo tudi analize iz te baze karakteristične. Rezultati, dobljeni z analizo 27 cestnih mostov, so nam služili kot izhodišče za nadaljnje delo. Opravljena je bila analiza vpliva deformacij

na napetostno stanje v konstrukcijah zaradi narivanja v vsiljeno geometrijo ob upoštevanju osnovnih načel gradbene mehanike. Za študijo so uporabljene relacije, pridobljene iz statistične analize v prvem delu in obdelane za realne vrednosti niveletnih sprememb za cestne, avtocestne in železniške mostove.

se navajajo vitkosti med 12 in 15 (Rosignoli, 2014), torej:

$$12 \leq L/H \leq 15. \quad (1)$$

Na izbiro koncepta objekta in njegove konstrukcije ne vplivajo samo izbor tehnologije ali optimalni tehnološki parametri, ampak še več drugih robnih pogojev. Zaradi tega se dejanske vrednosti samo približujejo gospodarno optimalnim razmerjem ($H=L/14$), kar je dobro razvidno iz diagrama na sliki 4. Manjša odstopanja se regulirajo z ustrezno stopnjo prednapenjanja. Večja odstopanja od priporočenih vrednosti so sicer mogoča,

2 • REZULTATI ANALIZE ZNAČILNIH PARAMETROV IZVEDENIH OBJEKTOV

Obdelane značilne vrednosti pomembnejših parametrov in njihova medsebojna odvisnost lahko služijo za primerjalno analizo z drugimi izvedenimi mostovi kot pomoč pri zasnovi in študiju novih projektov pri cenovnih primerjavah, študiji izvedljivosti in podobno. Zaradi boljše primerljivosti in optimalnejšega določanja relacij med parametri je bil iz primerjalne analize takoj izločen objekt št. 25, Lešnica Jug, ker gre za sovprežno konstrukcijo in ne za PAB-konstrukcijo. V nekaterih prim-

erjavah pa smo iz analize izločili še objekt št. 24, Viadukt Hajdina, pri katerem gre za narivanje PAB-plošče prek začasnih pomožnih podpor.

2.1 »Vitkost« konstrukcije

Pri tehnologiji postopnega narivanja je najznačilnejši parameter razmerje med karakterističnim razponom L v fazi narivanja in konstrukcijsko višino prereza H, ki ga lahko imenujemo tudi vitkost prekladne konstrukcije L/H. Za gospodarno uporabo gradnje po TPN

vendar so zato potrebni dodatni ukrepi, kot sočasne podpore ali posebni tehnološki ukrepi (začasni pilon s prednapeto zatego, obojestransko narivanje v srednji večji razpon ipd.).

Velike vihkosti v fazi gradnje, predvsem na območju konzole, lahko povzročajo tudi velike tehnološko izvedbene težave, zaradi velikih deformacij (povesov in zasukov).

2.2 Centrična prednapetost

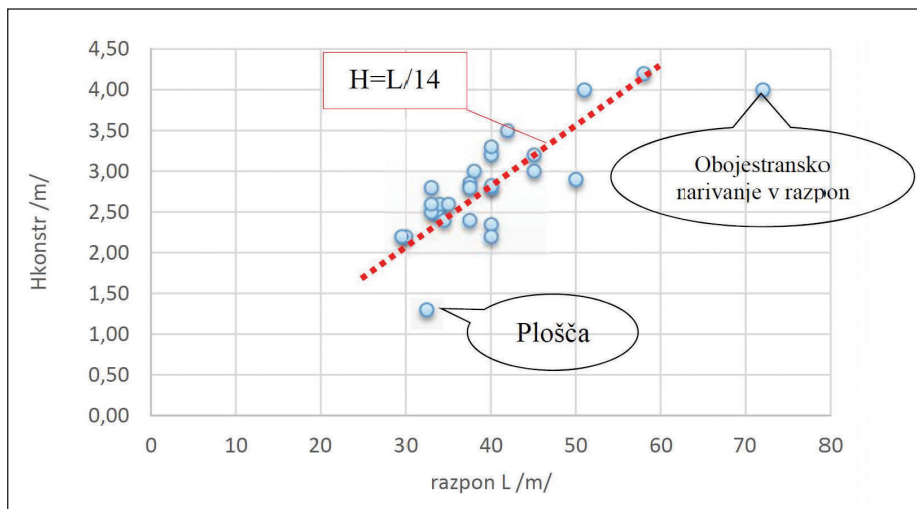
Napetosti v prerezu PAB-konstrukcije, ki se nariva, so odvisne od zasnove prednapenjanja. Večina raziskanih konstrukcij je imela dve skupini kablov za prednapenjanje. Prva skupina so ravni kabli, ki ustvarjajo približno centrično napetost v konstrukciji. Ti kabli so namenjeni fazi narivanja, ko prerezi konstrukcije prehajajo iz območja negativnih v območje pozitivnih momentov in nasprotno. Napetosti v prekladni konstrukciji zaradi lastne teže in drugih vplivov tvorijo ovojnico, ki jo pokrivamo s t. i. centričnimi kabli. Običajno s temi kabli zagotavljamo od 3,0 do 4,0 MPa centrične napetosti (slika 5).

Druga skupina kablov so ukrivljeni kabli, ki jih namestimo po končanem narivanju in jih navadno imenujemo kabli za fazo uporabe. V nekaj izvedenih primerih smo to skupino kablov opustili in povečali skupino ravnih kablov v spodnji plošči, ki na spodnjem robu povzročajo malce večje tlačne napetosti kot na zgornjem. Ta poseg je precej poenostavil in pospešil dokončanje objektov. V tem primeru bi ravni kabli morali vnašati večje centrične oz. malce ekscentrične tlačne napetosti v vrednosti od 5,0 do 7,0 MPa (slika 5).

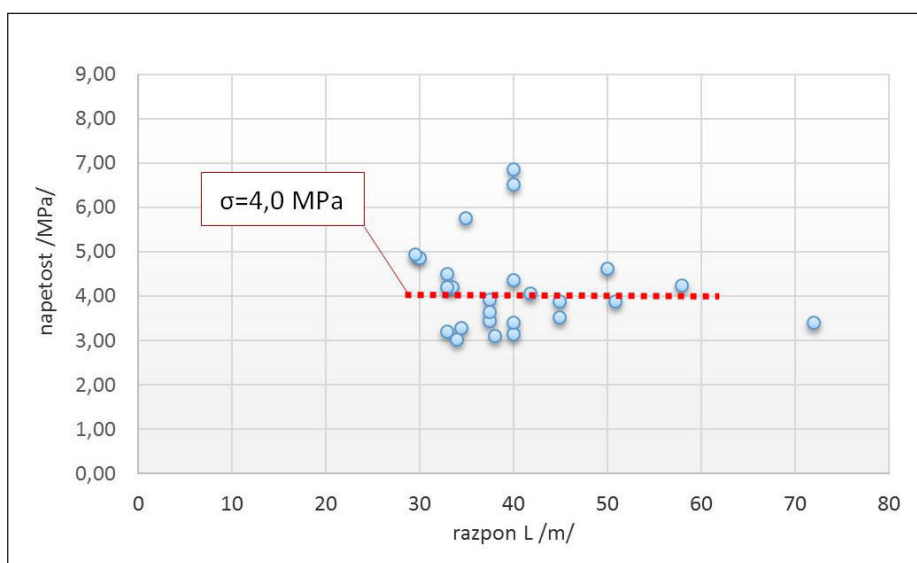
2.3 Karakteristike prerezov

Prečni prerez, ki se uporablja za konstrukcije pri TPN, je najpogosteje škatlaste oblike (slika 6). Drugi mostni prečni prerezi, kot je polna plošča ali rebra, niso primerni in se pri TPN uporabljajo zelo redko. V tej točki je prikazana analiza odvisnosti karakterističnih geometrijskih lastnosti škatlastega prečnega prereza od najbolj značilnega parametra, to je konstrukcijske višine H . Prikazane so odvisnosti za velikost prečnega prereza A_w , vztrajnostnega momenta I_z ter odpornostnih momentov za zgornji rob W_{zg} in spodnji rob W_{sp} .

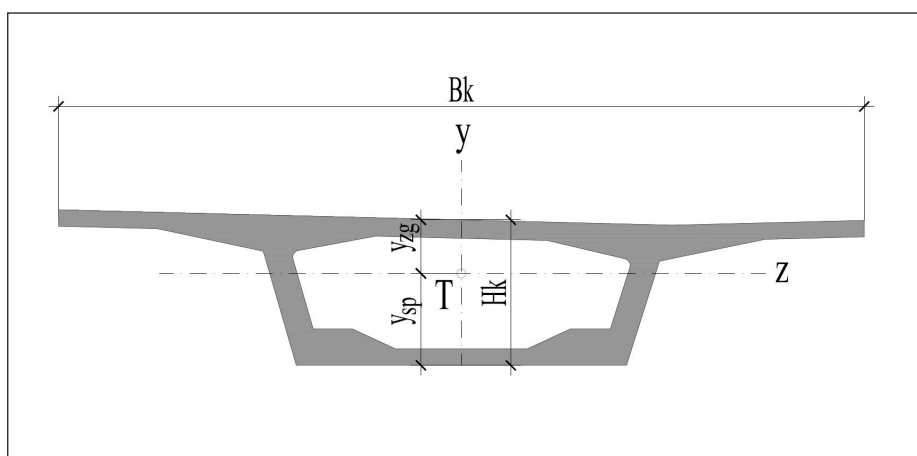
Analiza površine prečnih prerezov kaže precejšnjo razpršenost, saj prerez ni odvisen le od konstrukcijske višine, ki je povezana z razponom, ampak še bolj od širine vozišča. Baza objektov vsebuje objekte od širine 9,60 m do kar 45,00 m. Če izločimo ekstreme, dobimo množico petindvajsetih objektov s



Slika 4 • Porazdelitev objektov glede na razmerje med višino prereza in razponom.



Slika 5 • Centrična prednapetost v fazi narivanja v odvisnosti od razpona.



Slika 6 • Tipična oblika škatlastega prečnega prereza PAB za mostne konstrukcije.

širino med 10,11 m in 15,31 m ter povprečno širino 14,30 m.

Odvisnost površine prečnega prereza A_x od konstrukcijske višine H je prikazana na diagramu (slika 7), trend odvisnosti pa lahko podamo z izrazom:

$$A_x = 1,6 \cdot H + 3,6 \quad (2),$$

pri čemer sta

H – konstrukcijska višina škatlastega prereza (m) in

A_x – površina prečnega prereza (m^2).

Vztrajnostni moment v odvisnosti od H narašča potenčno med drugo in tretjo stopnjo (slika 8), in sicer:

$$I_z = 0,55 \cdot H^{2,67} \quad (3),$$

pri čemer sta

H – konstrukcijska višina škatlastega prereza (m) in

I_z – vztrajnostni moment prečnega prereza (m^4).

Odpornostni moment W za zgornji in spodnji rob konstrukcije je sicer definiran z razmerjem I_z in odklikom robov od težišča, torej z y_{zg} in y_{sp} , tukaj pa je prikazan kot funkcija konstrukcijske višine H mostne zgornje konstrukcije škatlaste oblike (slika 9 in slika 10).

$$W_{zg} = 1,50 \cdot H^{1,67} \quad (4),$$

$$W_{sp} = 0,88 \cdot H^{1,67} \quad (5),$$

pri čemer sta

H – konstrukcijska višina škatlastega prereza (m) in

W – odpornostni moment prečnega prereza (m^3).

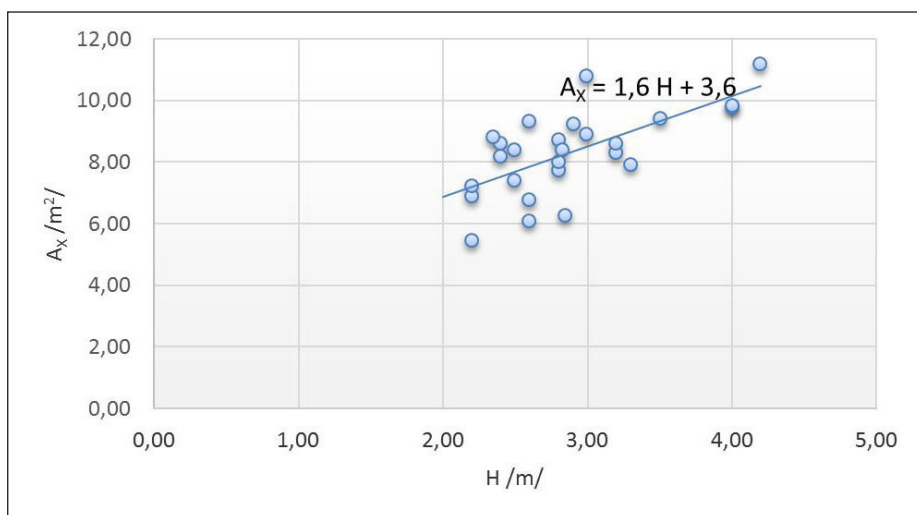
Zelo pomembna geometrijska značilnost vsakega prečnega prereza je lega težišča. Značilni betonski škatlasti prerezi izkazujejo podobno lego težišča (slika 11) kar se da zelo koristno uporabiti za hitre analize, na primer izračun robnih napetosti. Odvisnost je naslednja:

$$y_{zg} = 0,365 \cdot H \quad (6),$$

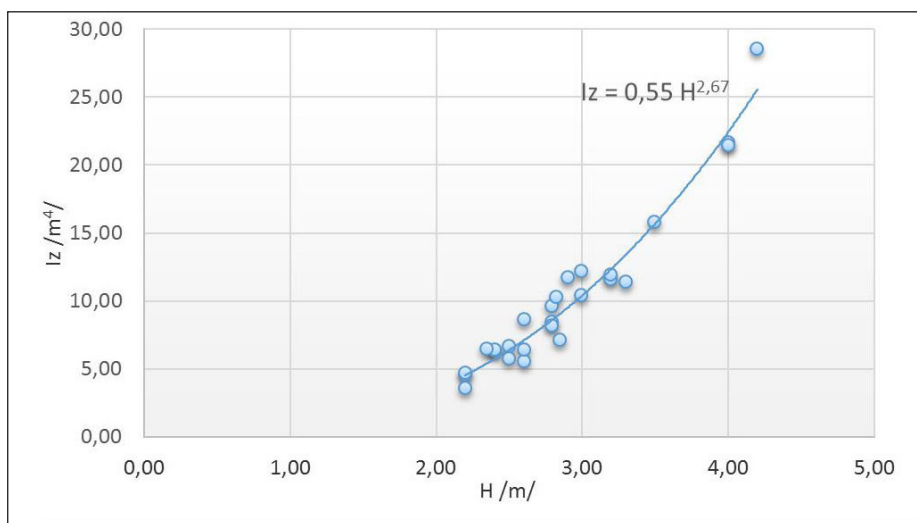
pri čemer sta

H – konstrukcijska višina škatlastega prereza (m) in

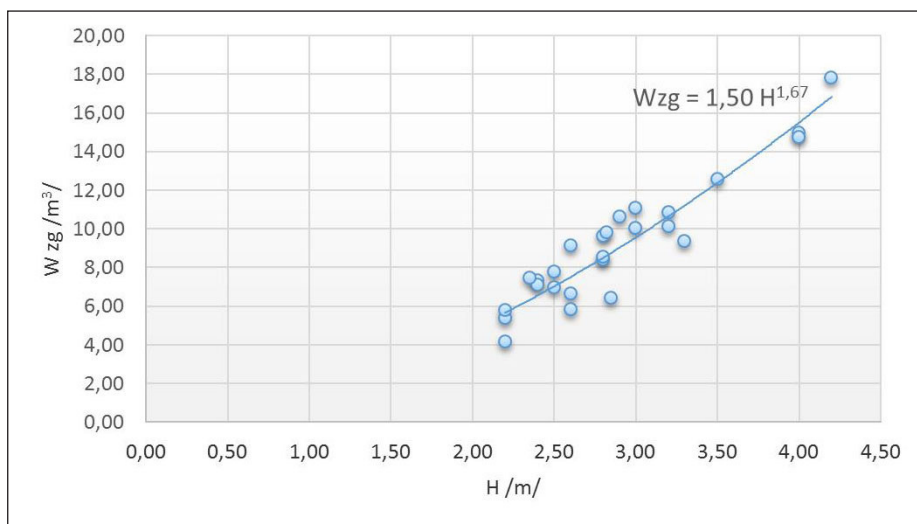
y_{zg} – oddaljenost težišča prečnega prereza od zgornjega roba (m).



Slika 7 • Površina prečnega prereza A_x v odvisnosti od konstrukcijske višine H .



Slika 8 • Vztrajnostni moment prečnega prereza I_z v odvisnosti od konstrukcijske višine H .



Slika 9 • Odpornostni moment prečnega prereza W_{zg} v odvisnosti od H .

2.4 Količina vgrajenih kablov

Količina vgrajenih kablov za prednapenjanje je eden izmed glavnih parametrov, ki vplivajo na gospodarnost gradnje. Običajno je definirana kot masa kablov na površino mostu, torej v enoti kg/m². Na diagramu je prikazana poraba kablov v odvisnosti od razpona L (slika 12). Trendna linija ustreza poenostavljeni enačbi:

$$K = 0,5 * L + 5 \quad (7),$$

pri čemer sta

L – karakteristični razpon (m) in

K – poraba vgrajenih kablov za prednapenjanje (kg/m²).

Še bolj značilna kot razpetina sama je vitkost konstrukcije L/H. Kako vitkost povečuje porabo kablov za prednapenjanje, izkazuje razmerje na diagramu (slika 13). Če izločimo nekarakteristični objekt (ploščati objekt, št. 23), dobimo zelo zanimivo razmerje med porabo kablov in vitkostjo:

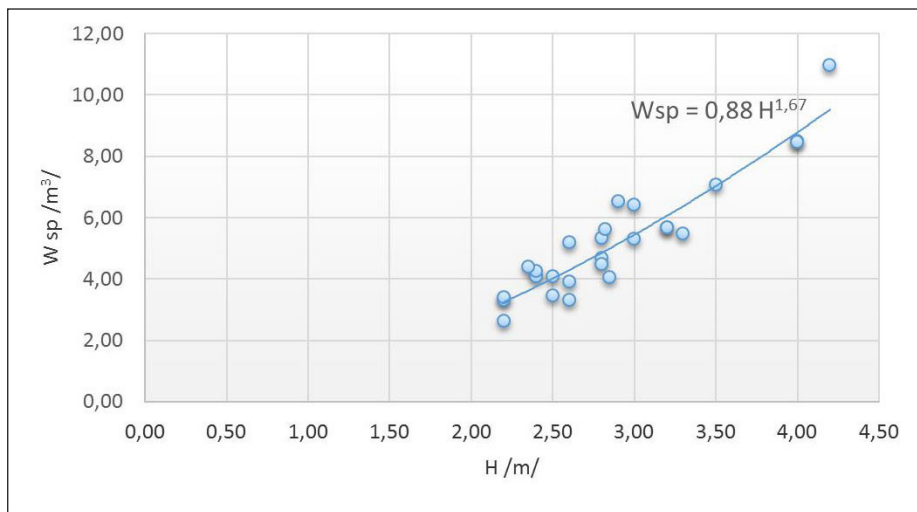
$$K = 2 * \frac{L}{H} - 5 \quad (8),$$

pri čemer so:

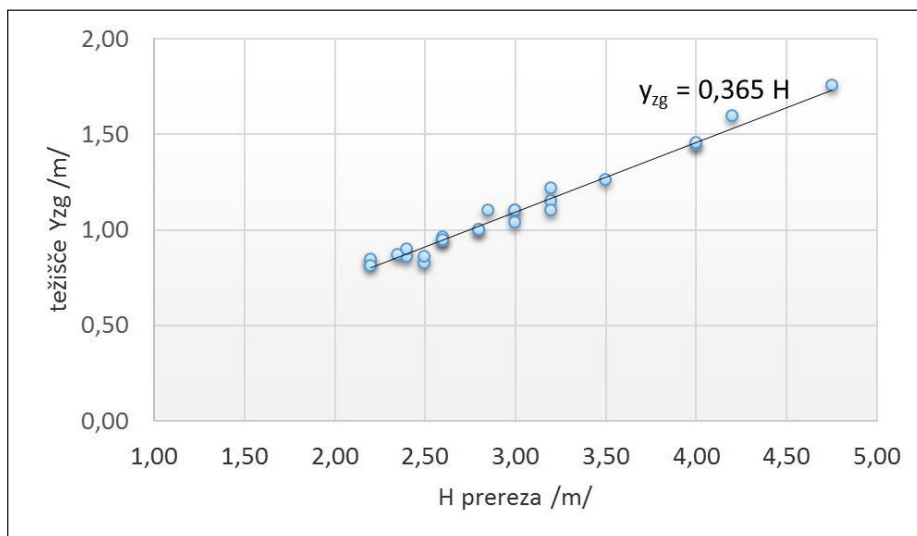
L – karakteristični razpon (m),

H – konstrukcijska višina (m) in

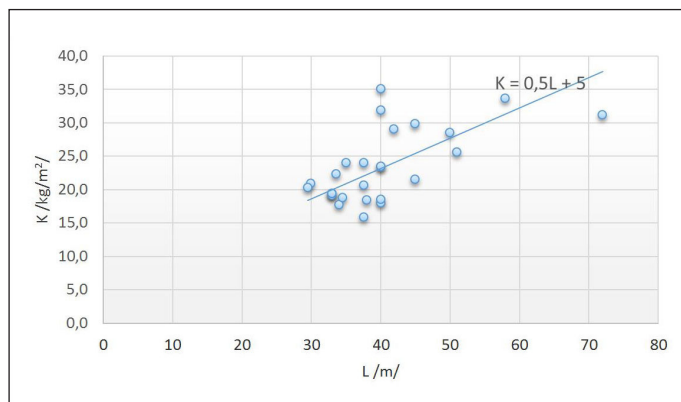
K – poraba prednapetih kablov (kg/m²).



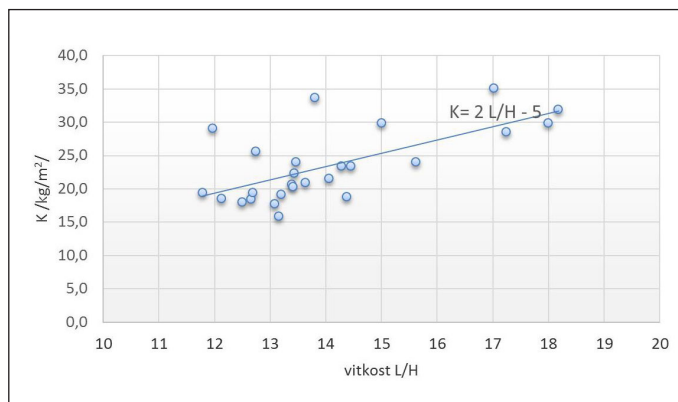
Slika 10 • Odpornostni moment prečnega prereza W_{sp} v odvisnosti od H.



Slika 11 • Lega težišča škatlastih prerezov PAB-konstrukcij v odvisnosti od konstrukcijske višine H.



Slika 12 • Poraba kablov K v odvisnosti od razpona L.



Slika 13 • Diagram porabe kablov K v odvisnosti od vitkosti L/H.

3 • VPLIV PRISILNEGA DEFORMIRANJA NA NAPETOSTNO STANJE

3.1 Geometrijske omejitve TPN

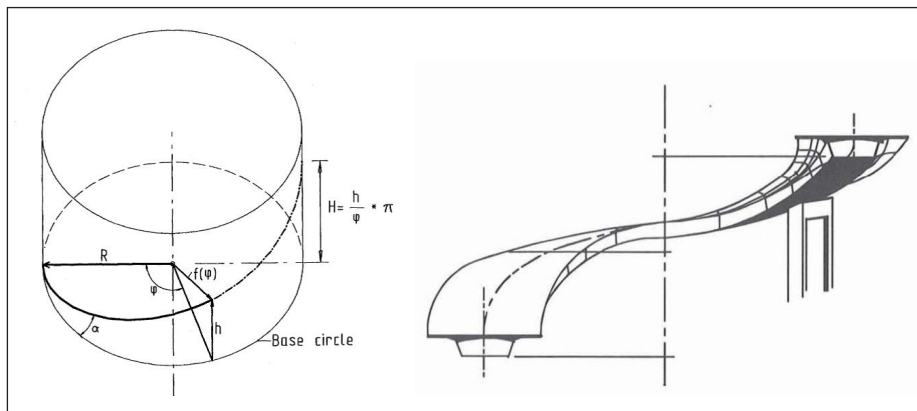
Da se segmenti lahko izvajajo v delavnici na istem mestu in nato s predhodno izdelanimi segmenti prek stebrov potujejo naprej na svoje končno mesto, mora geometrija osi mostu izpolnjevati določene kriterije. Geometrijske možnosti, ki omogočajo narivanje, so povzete po literaturi (AFGC, 1999), ki navaja naslednje možnosti:

1. florisno ravna os s konstantnim vzdolžnim naklonom,
2. florisno ravna os in niveleta v zaokrožitvi ($RV = \text{konst.}$),
3. florisno krožnica ($RH = \text{konst.}$) in ničelni naklon,
4. florisno krožnica ($RH = \text{konst.}$) in konstantni naklon (vijačnica),
5. krožnica v katerikoli nagnjeni ravnini.

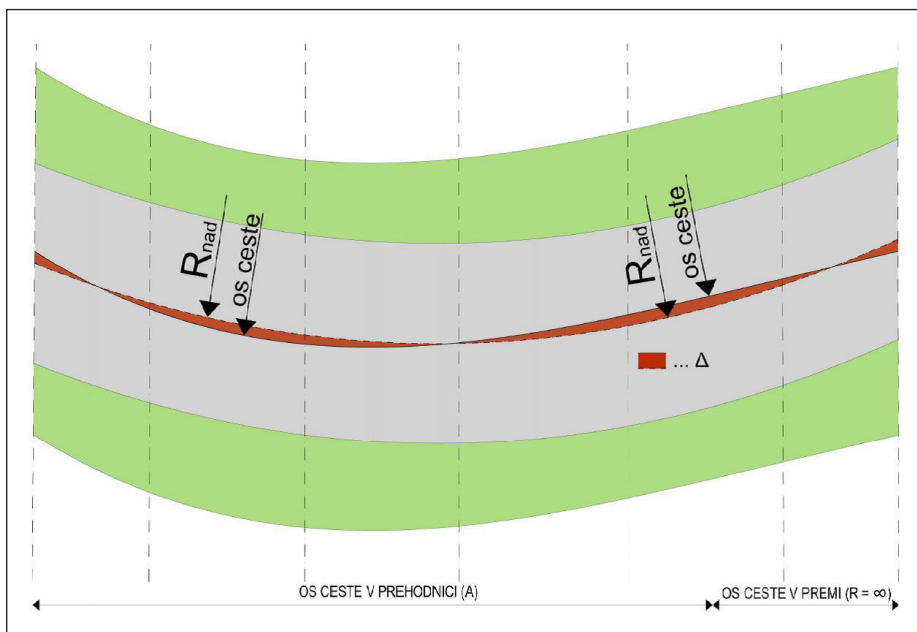
Primer 1 pri narivanju zahteva translatorsko vzdolžno premikanje nosilca. Primera 2 in 3 zahtevata krožno gibanje, le da je v primeru 2 os vrtenja horizontalna, v primeru 3 pa vertikalna. Če imamo ob florisnem radiju še konstanten vertikalni nagib, linija preide v obliko vijačnice, kar predstavlja primer 4 (slika 14). V primeru istočasnega horizontalnega in vertikalnega radija moramo narivati po poševni ravnini z nagnjeno normalo vrtenja (primer 5). V tem primeru zaznamo odstopanje od florisnega radija, ki ga uporabljajo pri načrtovanju cest, kar je treba upoštevati z ustreznim zamikom stebrov ali vsaj ležišč. Floris nagnjene krožnice ima namreč obliko elipse. Prav tako nastanejo odstopanja v prečnem nagibu prereza oz. prečnem nagibu ležišč v fazi narivanja. Pri zelo velikih radijih so ta odstopanja majhna in zanemarljiva, pri majhnih radijih ali velikih dolžinah objektov pa lahko postanejo odstopanja neobvladljiva.

Odstopanje v florisu praviloma rešujemo s spreminjajočo se dolžino konzol, saj je dovolj, da je v konstantni ukrivljenosti ($R = \text{konst.}$ ali $R = \infty$) samo spodnji del škatle, ki potuje po drsnih ležiščih. Splošno cestno os, ki je lahko sestavljena iz kombinacij preme, prehodnic in radijev, nadomestimo s konstantnim nadomestnim radijem po celotni dolžini narivanja (slika 15).

Višinski položaj prometnice v odvisnosti od vzdolžne lege imenujemo niveleta ali pa kar vzdolžni profil prometnice. Vodenje nivelete ceste ali železnice se v splošnem izvaja z zaporedjem različnih nagibov, vzponov (+) ali padcev (-), z vmesno vertikalno zaokrožitvijo.



Slika 14 • Geometrija vijačnice in videz konstrukcije, levo iz (Göhler, 2000), desno iz (AFGC, 1999).



Slika 15 • Nadomestni radij omogoča izvedbo ceste z manjšim odstopanjem realne osi.

Velikost te zaokrožitve je odvisna od največje projektne hitrosti za obravnavano prometnico, pri cestah pa še od tipa zaokrožitve, torej ali je zaokrožitev konkavne ali konveksne oblike. Pravila za vodenje cest so zajeta v Pravilniku o projektiranju cest (UL RS 91, 2005), medtem ko so za železnice pravila za niveleta osi tirov zapisana v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog (UL RS 92, 2010).

Lego zgornjega roba konstrukcije torej določa niveleta, medtem ko geometrijo spodnjega roba konstrukcije, po katerem konstrukcijo premikamo, določajo pogoji, ki omogočajo narivanje. To pomeni, da mora biti višinska

lega spodnjega roba v konstantnem nagibu ali v konstantni zakrivljenosti.

Problem različne geometrije spodnjega in zgornjega roba konstrukcije je mogoče obravnavati na več načinov, kar je prikazano na sliki 16. Najprej s spremenljivo višino konstrukcije, kot je prikazano na sliki 16a in v literaturi (Göhler, 2000). Manjša odstopanja nam dopuščata način z elastičnim deformiranjem konstrukcije, ki je prikazan na sliki 16b in je analiziran v nadaljevanju članka. Na sliki 16c pa je prikazana nova metoda gradnje, ki omogoča narivanje konstrukcije v poljubni geometriji nivelete s pomočjo začasne pod-

konstrukcije v obliki AB-podstavka, kar je predstavljeno v disertaciji avtorja članka (Markelj, 2016).

V nadaljevanju prispevka je narejena analiza dopustnega prisilnega deformiranja od zabe-tonirane linije objekta. Iz te začetne oblike, ki še nima obremenitev od vsiljenih deformacij, smo elastično konstrukcijo prisilno deformirali v konkavni ali konveksni radij ter poizkušali ugotoviti sprejemljive vrednosti ukrivljenosti pri uporabi te metode.

Vsiljeno deformiranje je lahko tudi nenamerno, in sicer kot posledica napak pri načrtovanju geometrije ali napak pri izvedbi objekta in delavnice segmentov. Tudi v tem primeru si lahko za oceno velikosti vsiljenih napetosti pomagamo z diagrami, ki so prikazani v naslednjih poglavjih.

3.2 Vplivi prisilnega deformiranja od začetne oblike

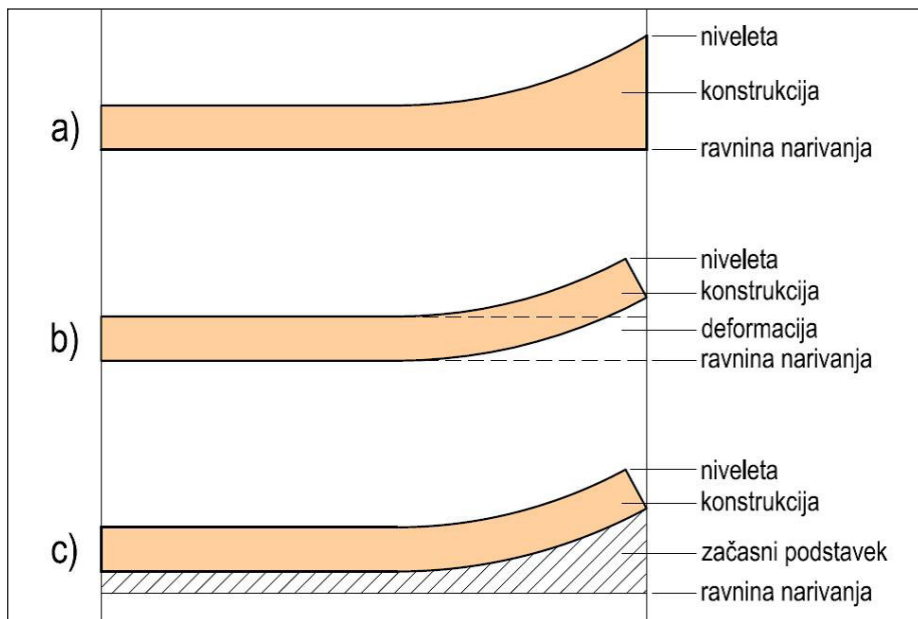
Da lahko most izdelamo po tehnologiji postopnega narivanja, mora biti njegova os v vzdolžnem prerezu (niveleta) v celotnem delu v konstantnem nagibu (vzponu ali padcu) ali pa v celotnem delu v konstantnem radiju (konveksnem ali konkavnem). Kombinacija preme in radija ali kombinacija različnih radijev teoretično ni mogoča. Če pa se zavedamo, da so gradbene konstrukcije do neke mere podajne, lahko to njihovo lastnost izkoristimo in v kontroliranem obsegu odstopamo od tega pravila, kar pa v konstrukcije prinaša določene vplive.

Izhodiščna (začetna) oblika je lahko ravna ($R = \infty$) ali pa zakrivljena v radiju R_w , zato ni posebej obravnavan primer, ko iz radija preidemo v premo, saj je primer ekvivalenten. Če linijski nosilec s togostjo EI_z z upogibno dvojico M ukrivimo (tako imenovani čisti upogib – slika 17a), dobimo znano relacijo iz mehanike konstrukcij (Bedenik, 2012):

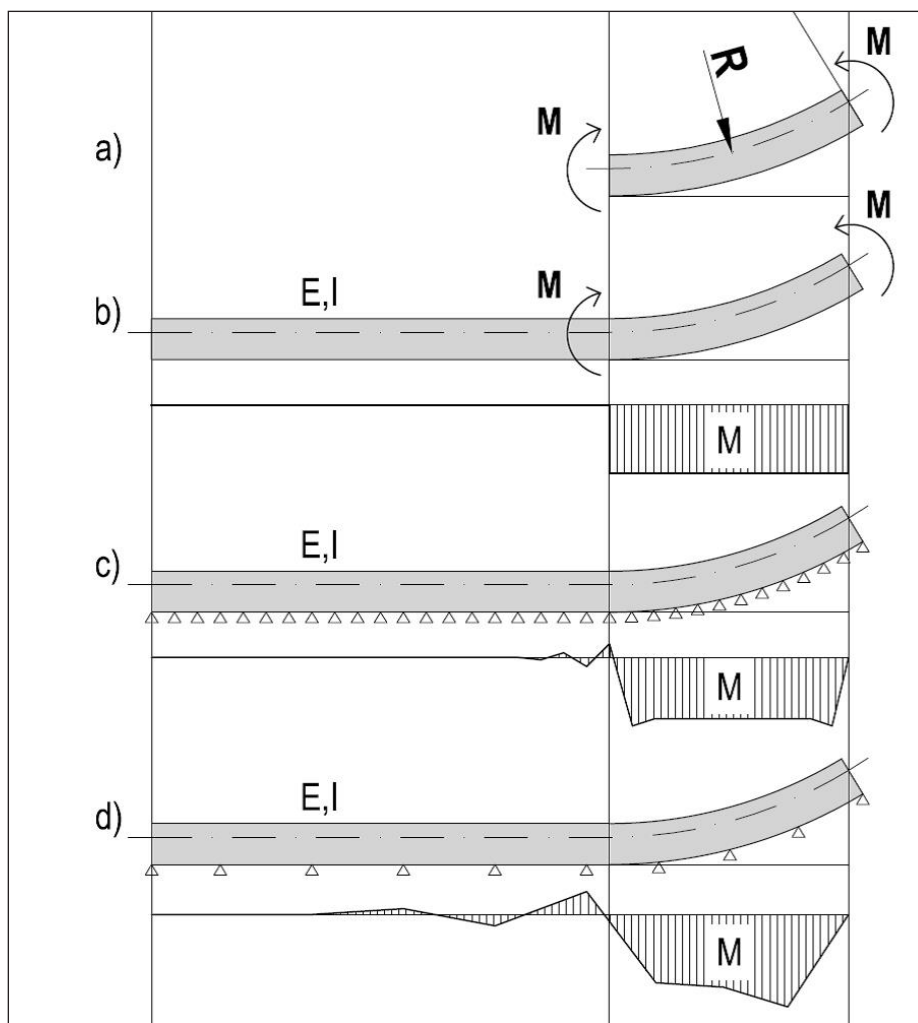
$$\frac{1}{R} = \frac{M}{E \cdot I_z} \quad (9)$$

V našem primeru se ukrivljenost povzroči z dviganjem ali spuščanjem konstrukcije na ležiščih, torej s spremembo reakcij, ne pa z dvojico sil na koncih. Diagram upogibnih momentov je podoben konstantnemu poteku samo v primeru zelo dolgih konstrukcij (slika 17b).

Realni robni pogoji potek diagrama spremenijo. Na skici (slika 17c) je prikazan potek upogibnih momentov v primeru relativno gosto razporejenih podpor (ali zelo dolgega nosilca), na skici (slika 17d) pa za primer vsiljene deformacije prek samo nekaj podpor.



Slika 16 • Odstopanje med teoretično linijo narivanja in dejansko niveleta.



Slika 17 • Različni vplivi deformacije nosilca

Vendar v vseh primerih velikostni red vplivov ostaja enak, tako da lahko za oceno vrednosti vplivov upoštevamo enačbo (9) oziroma njeno izpeljanko:

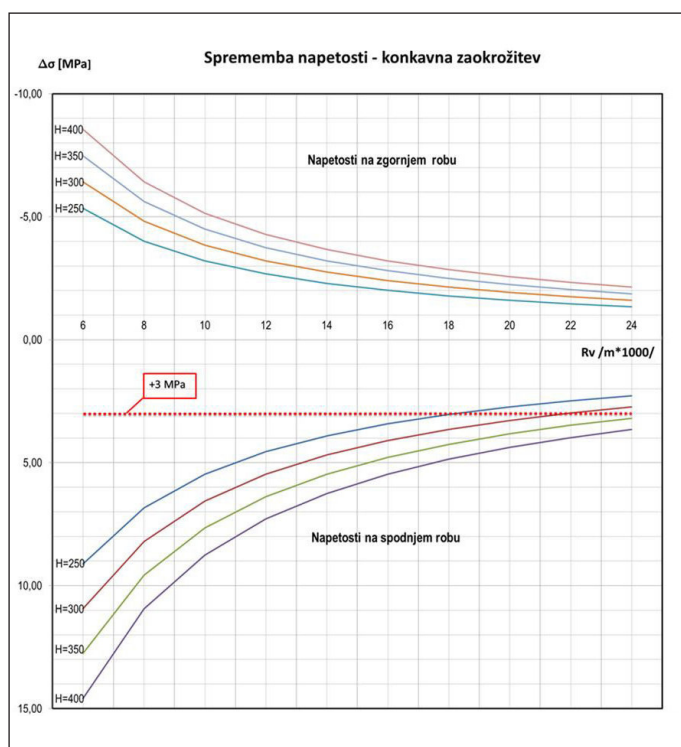
$$M = \frac{E \cdot I_z}{R} \quad (10)$$

$$\Delta\sigma_{zg} = \frac{M}{W_{zg}} \quad (11)$$

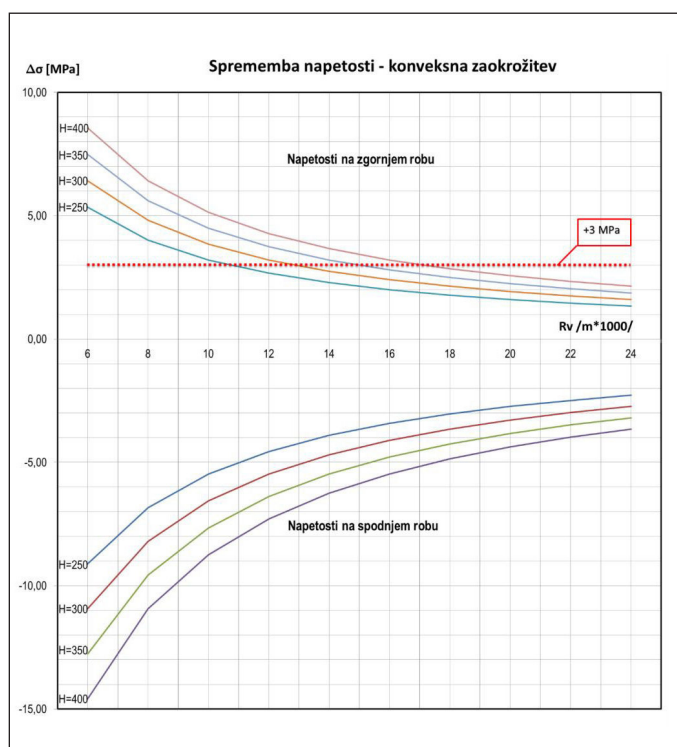
$$\Delta\sigma_{sp} = \frac{M}{W_{sp}} \quad (12)$$

H (m)	A (m ²)	I _z (m ⁴)	W _{sp} (m ³)	W _{zg} (m ³)
2,50	7,60	6,35	4,06	6,93
3,00	8,40	10,33	5,51	9,39
3,50	9,20	15,60	7,13	12,15
4,00	10,00	22,28	8,91	15,19

Preglednica 2 • Karakteristike prerezov, izračunane po izrazih, dobljenih s statistično analizo izvedenih objektov.



Slika 18 • Sprememba napetosti pri prisilnem deformiranju za konkavne zaokrožitve.



Slika 19 • Sprememba napetosti pri prisilnem deformiranju za konveksne zaokrožitve.

Oziroma skupne napetosti v konstrukciji v fazi postopnega narivanja:

$$\sigma_{zg} = -\frac{N_k}{A_x} - \frac{\sum M_i}{W_{zg}} \quad (13)$$

$$\sigma_{sp} = -\frac{N_k}{A_x} + \frac{\sum M_i}{W_{sp}} \quad (14)$$

Pri čemer sta

N_k – sila celotnega centričnega napenjanja in $\sum M_i$ – vsota vseh upogibnih vplivov med narivanjem (lastna teža, uporabna obtežba, dT, toleranca izvedbe in vsiljene deformacije). Iz analize izvedenih objektov je bilo ugotovljeno, da znašajo običajne vrednosti napetosti zaradi centričnega napetja v fazi postopnega

narivanja od 4 MPa do 6 MPa. Praksa je pokazala, da je mogoče z dodatnimi kablji nadoknaditi ali začasno dopustiti dodatne natezne napetosti v vrednosti vsaj 3 MPa, v posebnih primerih pa tudi več. Dodatne tlačne napetosti na nasprotnem robu navadno niso problematične. Vsiljene napetosti se sčasoma zaradi reoloških pojavov zmanjšajo na skoraj polovico začetnih vsiljenih napetosti.

V diagramih na slikah 18 in 19 so podani rezultati spremembe napetosti $\Delta\sigma$ za naslednje vrednosti parametrov:

konstrukcijske višine škatle $H = 2,5$ m, $H = 3,0$ m, $H = 3,5$ m in $H = 4,0$ m; konveksne ali konkavne zaokrožitve v razponu polmerov od 6000 m do 24000 m;

konstantni elastični modul betona $E_c = 35.000$ MPa.

Razpon konstrukcijskih višin je bil izbran v območju običajne uporabe TPN, to so škatlaste konstrukcije višine od 2,5 m do 4,0 m. Območje velikosti radijev pa glede na s pravilniki predpisane minimalne radije zaokrožitve za ceste (GC, HC in AC) in železnice.

Če določimo statistične vrednosti geometrijskih karakteristik prerezov A_x , I_z , W_{zg} in W_{sp} z enačbami iz prejšnjega poglavja (2), (3), (4) in (5), dobimo vrednosti v preglednici 2.

Za različne višine tipičnega škatlastega prereza in prisilno deformiranje v različno velike vertikalne zaokrožitve R_v (konkavne ali kon-

veksne oblike) dobimo na robovih konstrukcije spremembo vzdolžne napetosti, kot sledi iz diagramov (sliki 18 in 19).

Za dobljene rezultate smo naredili kontrolno primerjavo med fiktivnimi enako širokimi škatlami različnih višin (od 2,5 m do 4,0 m) še z računalniškim programom za analizo konstrukcij (Sofistik). Dobili smo identične diagrame, čeprav so se karakteristike prereza

(A_x , I_z , W_{zg} in W_{sp}) razlikovale od statistično obdelanih. Razlog je v tem, da pri izrednotenju enostavnih enačb do konca ostanejo samo še geometrijska razmerja, ki določajo specifične deformacije po obeh robovih konstrukcije (lega težišča) in modul elastičnosti.

Če vpeljemo še približno relacijo za lego težišča, ki velja za običajne škatlaste mostne prereze ($y_{zg} \approx H/3$) in smo jo navedli v

prejšnjem poglavju, dobimo praktično poenostavitev za hitro analizo dodatnih napetosti v konstrukciji zaradi vsiljenih deformacij.

$$\Delta\sigma_{zg} = \frac{M}{W_{zg}} = \frac{E \cdot I_z}{R \cdot W_{zg}} = \frac{E \cdot y_{zg}}{R} \approx \frac{1}{3} E \frac{H}{R} \quad (15)$$

$$\Delta\sigma_{sp} = \frac{M}{W_{sp}} = \frac{E \cdot I_z}{R \cdot W_{sp}} = \frac{E \cdot y_{sp}}{R} \approx \frac{2}{3} E \frac{H}{R} \quad (16)$$

(15) in (16), je za spremembo napetosti pri prisilnem vodenju osi konstrukcije odločilno razmerje med težiščno razdaljo robov (y_{zg} in y_{sp}) in radijem prisilnega krivljenja oziroma med višino prereza H in radijem R . Večji obseg uporabe vsiljenega deformiranja za mostne škatlaste konstrukcije je možen, ko prisilno vodenje povzroča natege na zgornjem robu (konveksne zaokrožitve), kjer so napetosti približno dvakrat manjše kot na spodnjem robu.

Za vertikalne zaokrožitve z velikimi radiji na avtocestah in hitrih cestah (AC in HC) so vsiljene geometrije možne in izvedljive, prav tako pri novozgrajenih železniških mostovih. Za vertikalne zaokrožitve z manjšim radijem (GC in LC) uporaba ni primerna. Metoda vsiljene deformacije prav tako ni uporabna pri manjših lokalnih spremembah nivelete, kot so na primer nadvišanja geometrije v posamičnih večjih razponih.

4 • SKLEP

Vzpostavljena je bila baza podatkov za 27 izvedenih cestnih mostov, zgrajenih s TPN, za katere je bila projektna dokumentacija izdelana v Inženirskem biroju Ponting, d. o. o., iz Maribora. Iz primerjalne analize pomembnejših karakterističnih parametrov objektov so bili statistično narejeni uporabni zaključki za teorijo in prakso gradnje mostov. Geometrijske karakteristike prečnih prerezov različnih objektov imajo nekatere podobnosti, ki jih lahko strnemo na skupni imenovalac konstrukcijske višine prereza H z enačbami od (2) do (6). Betonski škatlasti prečni prerezi cestnih objektov imajo podobno lego težišča, nekje pri $H/3$ ($y_{zg} = 0,365 H$) od zgornjega roba (6). Vgrajeno količino kablov za prednapenjanje lahko ocenjujemo glede na

tipičen razpon z izrazom (7) ali pa glede na vitkost prekladne konstrukcije L/H z izrazom (8).

Vsako odstopanje od priporočenih vitkosti v fazi gradnje ima za posledico izjemno povečano porabo kablov za prednapenjanje, hkrati pa lahko vodi do povečanih pomikov in zasukov, ki lahko povzročajo velike težave med gradnjo. Z analizo geometrije osi (florisne karakteristike in niveleta) izvedenih objektov je dokazano tudi, da je s TPN mogoče uspešno izvesti tudi objekte, ki nimajo zahtevanih osnovnih geometrijskih značilnosti za to tehnologijo.

V drugem delu prispevka je bila analizirana možnost prisilnega deformiranja konstrukcije od začetne oblike. Kot je razvidno iz enačb

5 • LITERATURA

- AFGC, Association Francaise de Genie Civil, Guide des ponts pousses, Presses de l'école national des Ponts et chaussées, Paris, 1999.
- Bedenik, B., Statika konstrukcij, Maribor, Fakulteta za gradbeništvo, 2012.
- Göhler, B., Pearson, B., Incrementally launched Bridges Design and Construction, Berlin, Ernst&Sohn, 2000.
- Markelj, V., Inovativne metode pri gradnji mostov po tehnologiji postopnega narivanja, Disertacija, Univerza v Mariboru, FGPA, Maribor, 2016.
- Rosignoli, M., Bridge Launching, London, Thomas Telford, 2014.
- UL RS 91, Pravilnik o projektiranju cest, Ljubljana, Uradni list, 2005.
- UL RS 92, Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, Ljubljana, Uradni list RS, 2010.

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.

Gljučne 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 obviije 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 zmehčišča 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.

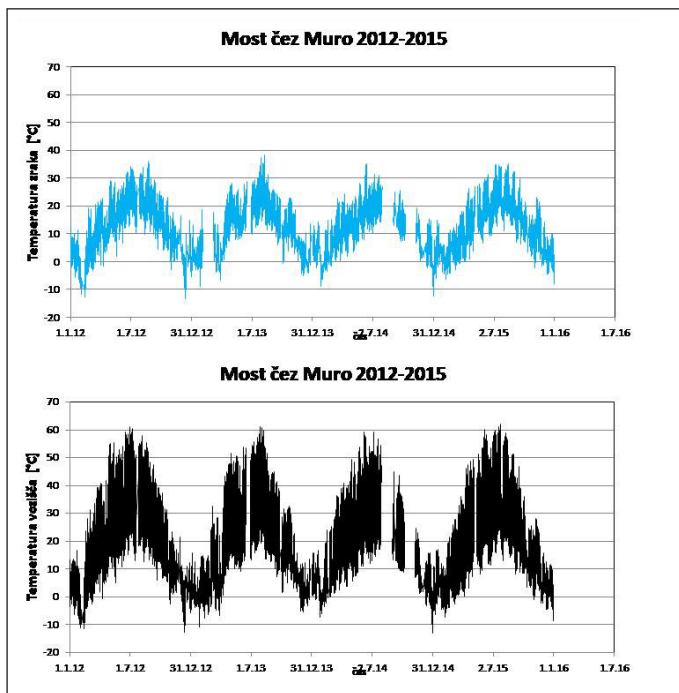
V nadaljevanju sta opisana postopka laboratorijskega staranja RTFOT in PAV ter novejši laboratorijski preiskavi, imenovani DSR in BBR. Predstavljene so lastnosti šestih cestogradbenih bitumnov B 70/100 po laboratorijskem staranju, s katerimi lahko ocenimo kakovost bitumnov pred začetkom proizvodnje asfalta.

2 • TEMPERATURNE OBREMITVE ASFALTOV

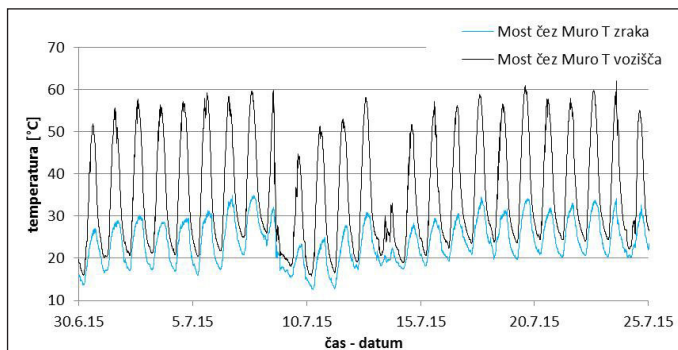
Po izdelavi v rafineriji se bitumni transportirajo do asfaltnih baz in se tam lahko hranijo več tednov v cisternah pri temperaturah od 90 °C do 130 °C. Bitumen se najbolj intenzivno stara zaradi segrevanja pri postopku mešanja z vročim agregatom na asfaltni bazi. Takrat je temperatura asfalta najvišja, 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 zmečkščiča, poveča

se viskoznost, bitumen postane bolj krhek (poviša se temperatura pretrgaljšča 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 zmečkščiča 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 ugotovljamo 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-



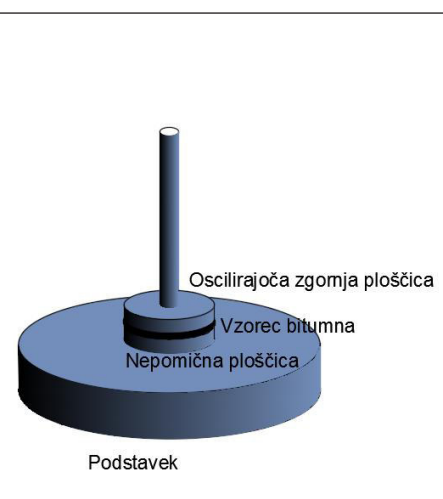
Slika 4 • PAV-postopek pospešenega staranja v komori (laboratorij ZAG Ljubljana).

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).

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

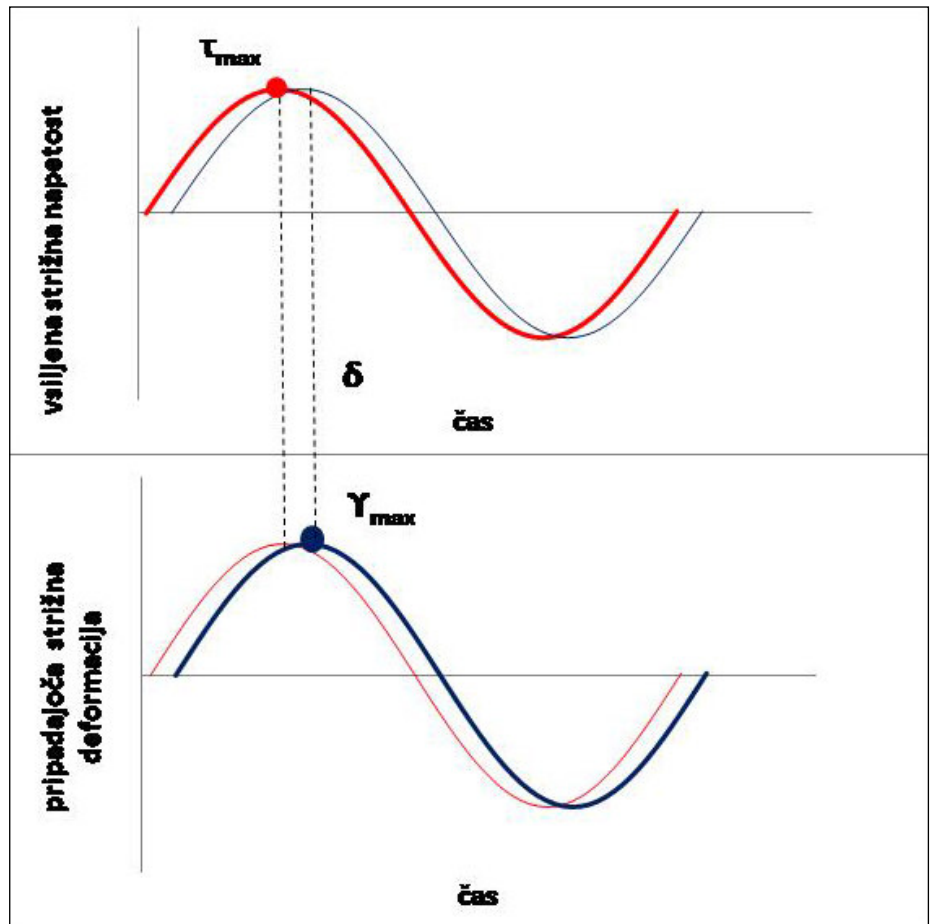
$$\gamma_{max} = \frac{\theta r}{h} \quad (2)$$

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

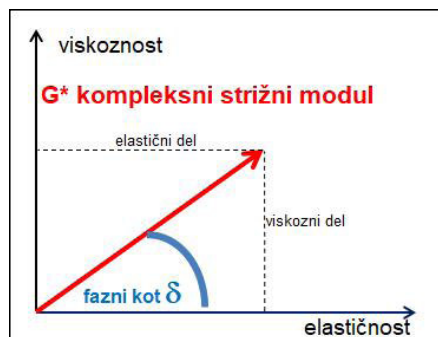
τ_{max} = maksimalna vnesena napetost (kPa)
 γ_{max} = maksimalna izmerjena deformacija (kPa)
 T = maksimalni vneseni navor (kNm)
 r = radij vzorca
 θ = krožni kot (v radianih)
 h = višina vzorca

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.

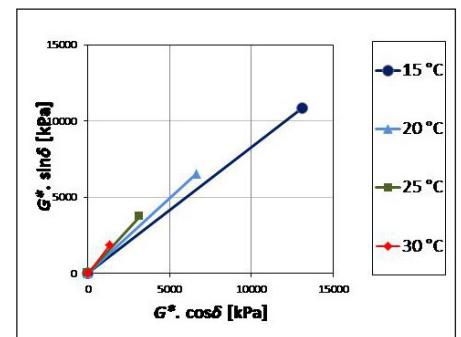
Iz meritev kompleksnega strižnega modula in faznega kota pri višjih temperaturah za nestarani in kratkotrajno starani bitumen lahko ocenimo potencial tvorjenja kolesnic. V literaturi (SHRP, 1994) in ameriškem standardu (AASHTO, 2016) postavljena mejna vrednost za kriterij plastičnih deformacij (oziroma 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.



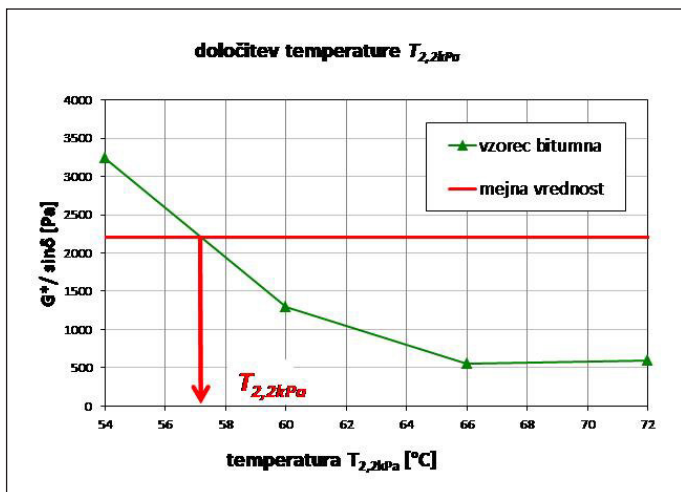
Slika 7 • Kompleksni strižni modul in fazni kot.



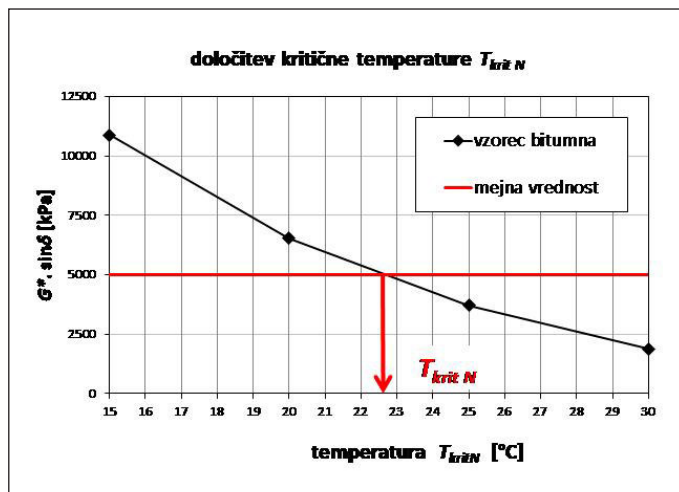
Slika 8 • Spreminjanje faznega kota in kompleksnega strižnega modula v odvisnosti od temperature preizkušanca.

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

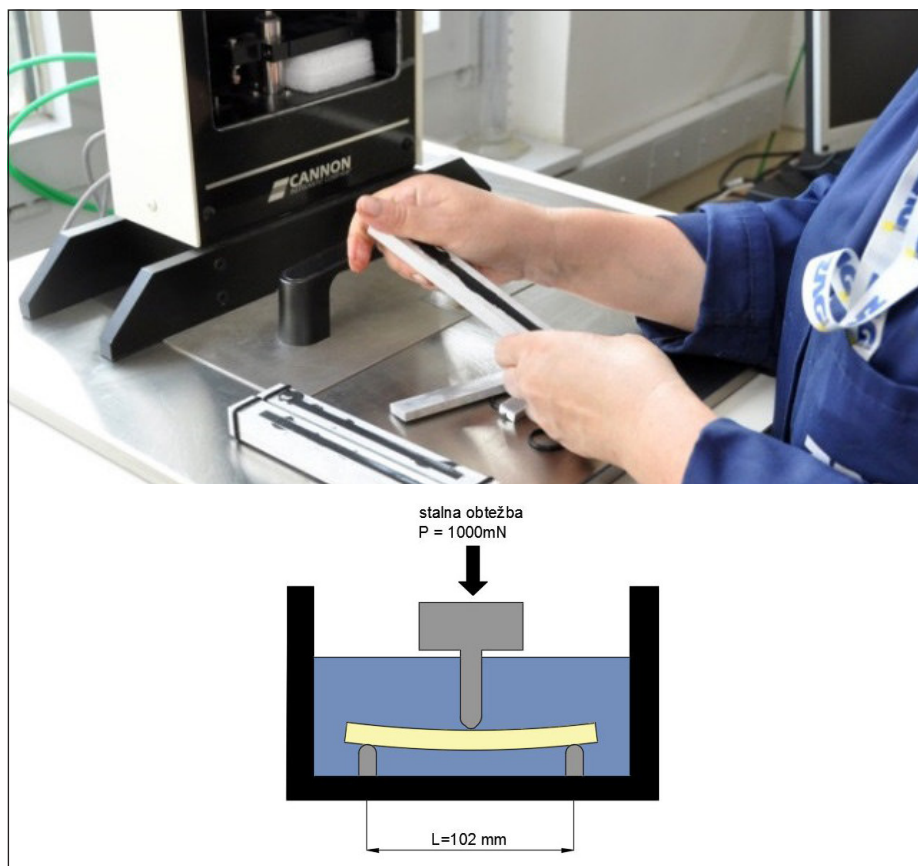
mm in 8 mm. Na osnovi teh preskusov je bilo zaključeno, da je mogoče dobiti ponovljivost za kompleksni strižni modul $/G^*$ v območju od 0 % do 10 % ne glede na vrsto bitumna in

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.

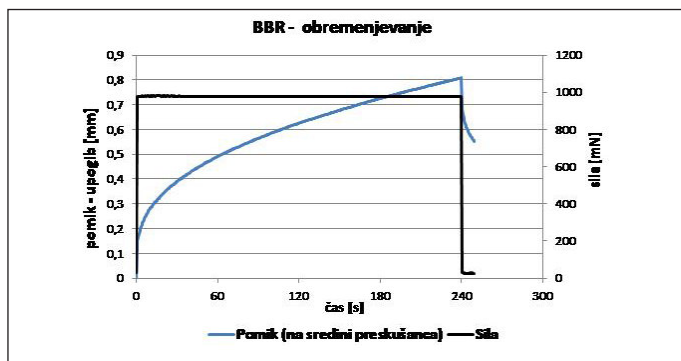
7 • PREISKAVA BBR

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.

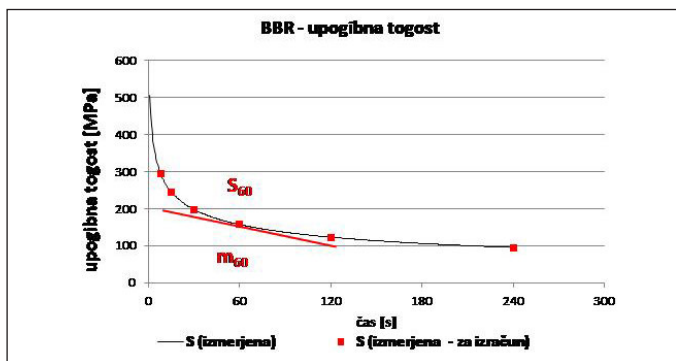
Vzorec bitumna se vlije v model v obliki prizme. Vsaka prizma se položi kot nosilec na dve podpori (slika 11) in se na sredini med podporama obremeni s konstantno navpično obtežbo. V napravi se preskuša po dve paralelki (dva enaka preizkušanca pri vsaki temperaturi, opravijo pa se preiskave pri različnih 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 obremeni s silo 1000 mN najmanj 240 s. Shematski prikaz obremenjevanja je prikazan na sliki 12.



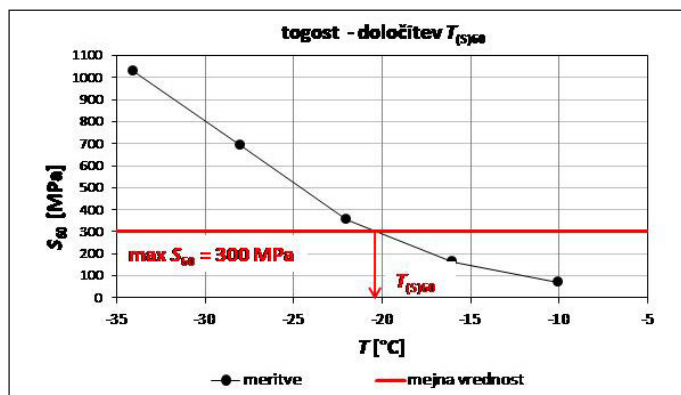
Slika 11 • Ugotavljanje upogibne togosti z BBR (laboratorij ZAG Ljubljana).



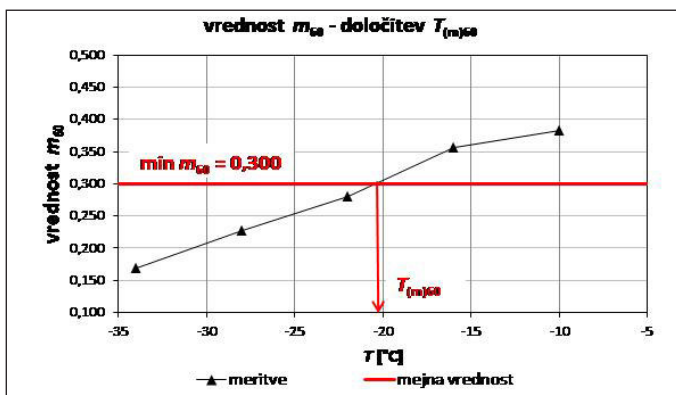
Slika 12 • Shematski prikaz obremenjevanja med preiskavo BBR.



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.

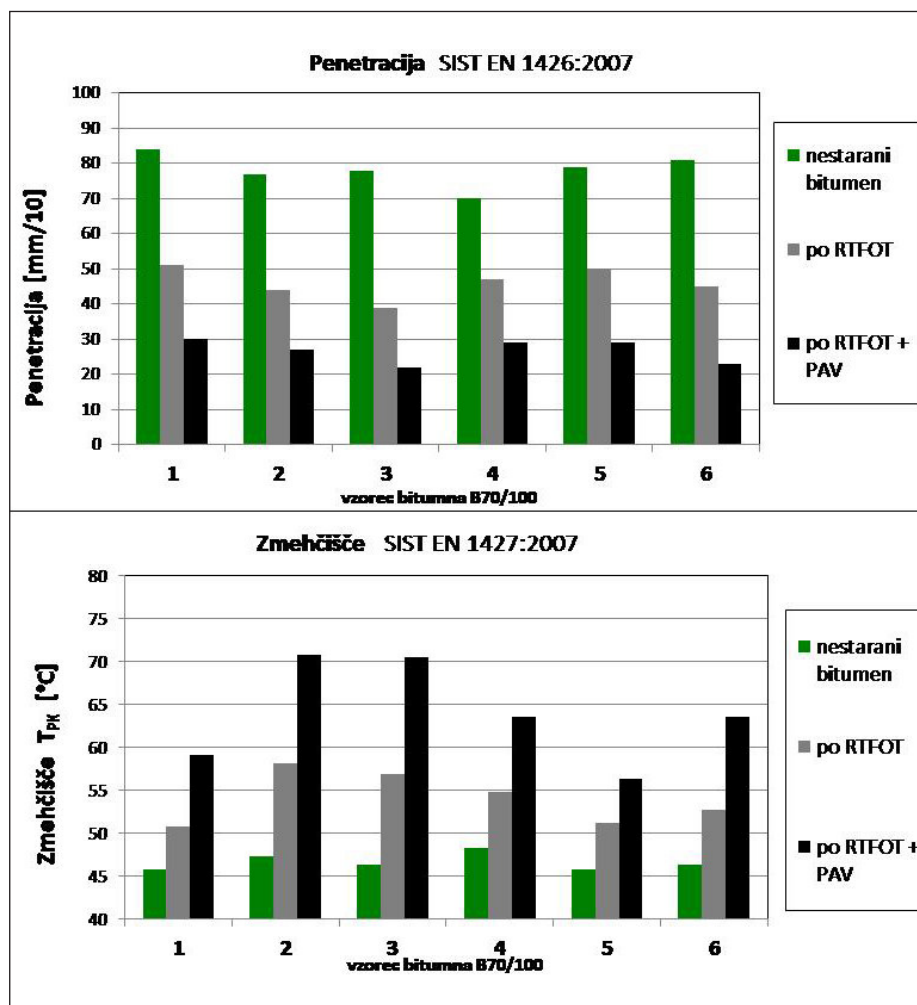
	Nestarani bitumen B 70/100				B 70/100 po kratkotrajnem staranju (RTFOT)			
	penetracija	T_{PK}	indeks penetracije	T_{Fraass}	penetracija	ohranjena penetracija	T_{PK}	sprememba T_{PK}
Standard	EN 1426	EN 1427	EN 12591	EN 12593	EN 1426		EN 1427	
vzorec	mm/10	°C	/	°C	mm/10	%	°C	°C
1	84	45,8	-1,1	-13	51	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 zmečkščica takoj po vgradnji relativno visoka. V standardu pa absolutne zahteve za temperaturo zmečkščica 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,

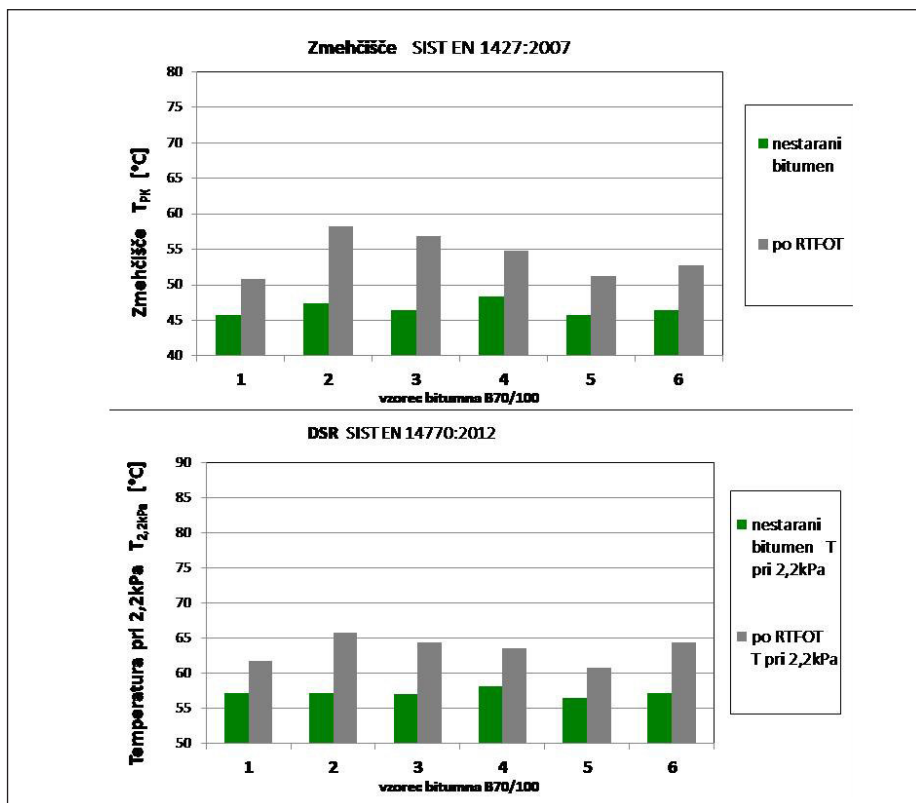


Slika 16 • Primerjava vrednosti penetracije in zmečkščica B 70/100 pred staranjem in po njem.

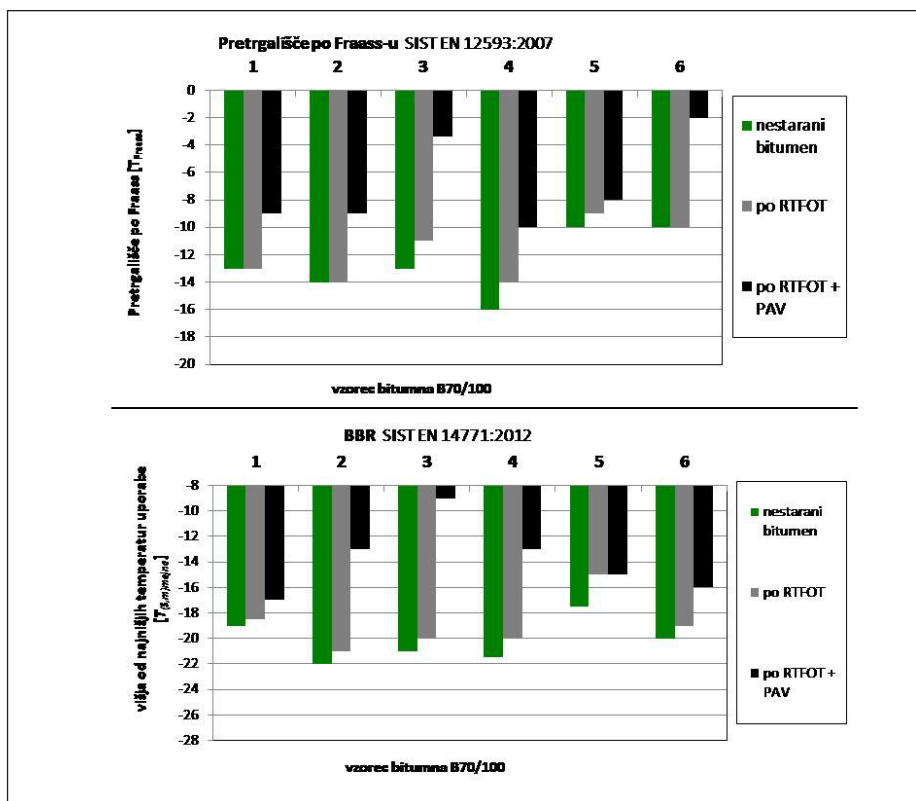
da ne nastanejo kolesnice. S slike 16 lahko ugotovimo, da vsi bitumni po kratkotrajnem in dolgotrajnem staranju otrdijo, saj se je zmečičišče zvišalo, kar je pričakovano. Po kratkotrajnem staranju (proizvodnji in vgradnji asfalta) imata najvišje zmečičišče vzorca 2 in 3, kar je zaželeno. Podoben rezultat 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 voziščnih 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 zmečkanišča – 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 utrujanju 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.

UVAJANJE BIM V DRŽAVAH EU

Evropska komisija želi izboljšati učinkovitost v gradbeništvu

Evropsko gradbeništvo na letnem nivoju ustvari 1300 milijard EUR. Sektor predstavlja 9 % BDP v EU in zaposluje 18 milijonov ljudi. Je gonilo gospodarske rasti in dom 3 milijonov podjetij, od katerih je večina malih in srednjih podjetij (MSP).

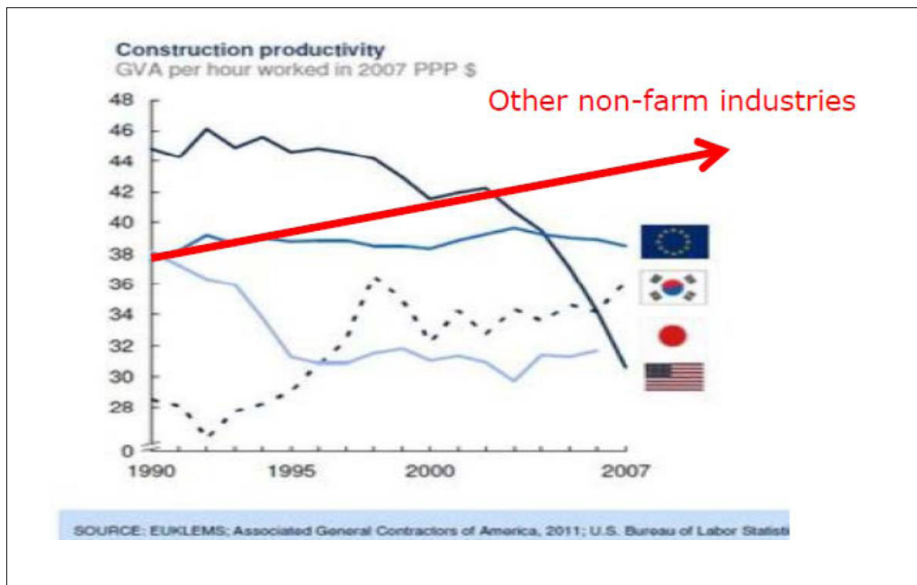
Žal pa Evropska komisija ugotavlja, da produktivnost v gradbeništvu stagnira že od devetdesetih let prejšnjega stoletja, medtem ko v drugih industrijskih panogah narašča. V zadnjih dvajsetih letih je tako produktivnost v gradbeništvu narasla komaj za 1 %.

Zagotovo je to povezano tudi z izrazito nizko stopnjo digitalizacije v tej panogi. Raziskave so pokazale, da je stopnja digitalizacije nižja od gradbeništva le še v naftni industriji.

Zaradi neuskkljenosti pri vodenju procesov, slabe priprave, pomanjkljive koordinacije in slabega upravljanja informacij nastajajo nepredvideni stroški in znatne zamude pri zaključevanju projektov. Ocenjuje se, da rezerve iz tega naslova znašajo do 10 do 20 % vrednosti investicij. Če se upošteva zgolj 10% možnost racionalizacije, to na evropskem nivoju pomeni kar 130 milijard EUR prihrankov v gradbeništvu. To pa so številke, ki so Evropsko komisijo spodbudile, da z najvišjega nivoja poskrbi za izboljšanje stanja predvsem z uvajanjem novih modernih tehnologij in digitalizacije tudi v to zelo pomembno gospodarsko panogo.

BIM-tehnologija (angl. Building Information Modeling oz. Informacijsko modeliranje građenj) predstavlja digitalni zapis in predstavitev informacij o stavbi, ki omogoča optimizacijo procesov načrtovanja, izvedbe in upravljanja stavb. Gre za tridimenzionalni (3D) model zgradbe ali infrastrukture, kjer so vsi elementi opredeljeni z določenimi atributi (lastnostmi, avtomatsko izračunanimi dimenzijami, definirane so medsebojne odvisnosti). Virtualno je mogoče prikazati časovni potek gradnje (4D) in finančno spremljavo (5D). Model se uporabi tudi v fazi obratovanja in vzdrževanja (6D).

Evropska komisija je zato ustanovila EU BIM Task Group, delovno skupino, katere moto je: *Združiti nacionalna prizadevanja v skupen in usklajen evropski pristop za razvoj vrhunškega digitalnega gradbenega sektorja*. Tudi Slovenija ima predstavnika v tej delovni skupini. Na predlog Ministrstva za infrastrukturo RS Slovenijo predstavljam Ksenija Marc,



vodja sektorja za tehnično podporo projektov in razvoj pri DRI Upravljanje investicij, d. o. o., in podpredsednica združenja siBIM. Člani delovne skupine so lahko namreč le predstavniki državnih institucij oz. z njihove strani imenovane osebe.

Vizija delovne skupine je spodbujati skupno uporabo BIM kot »digitalno gradnjo« pri javnih investicijah s skupnim ciljem izboljšanja vrednosti za javni denar, kakovost javnega premoženja in trajnostno konkurenčnost industrije.

EU BIM Task Group je v juliju 2017 javno objavil *Priročnik za uvedbo BIM v evropski javni sektor*, ki vsebuje skupna načela za javne naročnike in oblikovalce politik, da ga bodo uporabljali pri uvajanju BIM-tehnologije v javnih investicijah ali pri pripravi svojih strategij.

Priročnik opisuje glavne motive, ki naj spodbudijo javne naročnike k uvajanju BIM, obravnava vidik javnih naročil, navaja pa tudi primere dobrih praks iz držav, ki so pristop »going digital« že privzeli. Na voljo je na uradni



strani EU BIM Task Group <http://www.eubim.eu/handbook/>.

Kot je v spremni besedi zapisala evropska komisarka za notranji trg, industrijo, podjetništvo in MSP, je prihodnost tu, in zdaj je prišel trenutek za oblikovanje skupnega evropskega pristopa za javni sektor. Tako javna naročila, ki so odgovorna za večji delež izdatkov za gradnjo, kot oblikovalci politik imajo lahko ključno vlogo pri spodbujanju širše uporabe BIM kot podpore inovacijam in trajnostni rasti ter hkrati pri aktivnem vključevanju naših MSP ustvarjajo večjo vrednost denarja evropskega davkoplačevalca.

Uvajanje BIM v Sloveniji

Čeprav je med številnimi projektanti uporaba elektronskih modelnih orodij za projektiranje v nenehnem porastu, se BIM kot praksa, ki bi jo tudi naročniki pričakovali in zahtevali pri svojih projektih, le počasi uveljavlja. V Sloveniji

namreč na nivoju države še ni sistemskega pristopa k digitalni gradnji in uporabi BIM v javnem sektorju.

Strokovnjaki različnih profilov pa smo že zgodaj prepoznali potrebo po širši vpeljavi te tehnologije v našem prostoru, zato je bil januarja 2015 ustanovljen siBIM (Slovensko združenje za informacijsko modeliranje v gradbeništvu), ki danes šteje že 109 članov. Združenje je zelo dejavno, v dveh letih od ustanovitve je organiziralo že dve odmevni letni konferenci, »BIM v Sloveniji« in »BIM – DNK grajenega okolja«; v novembru 2017 bo organizirana tretja. Opažamo, da se za BIM odloča vse več zasebnih naročnikov, za zdaj sicer predvsem v fazi projektiranja.

Prednosti in pozitivne učinke BIM-tehnologije smo med prvimi uvideli tudi pri DRI, d. o. o., kjer ponujamo svetovalne storitve velikim javnim naročnikom. Tako se je za BIM-pristop

pri projektu izgradnje druge cevi predora Karavanke kot prvi pomembni javni naročnik odločil DARS. Prav tako bosta dva železniška projekta, katerih naročnik je Ministrstvo za infrastrukturo RS, izdelana v BIM: Nadgradnja železniške proge Maribor–Šentilj–državna meja in Izvedba izvenivojskega križanja Marija Gradec. Omeniti je treba, da je bil prvi javni projekt v BIM-tehnologiji stolp Vinarium v občini Lendava. Ohrabrujoče je dejstvo, da se tehnologija BIM že uvaja na obeh slovenskih univerzah.

Ksenija Marc, univ. dipl. inž. grad.

Vodja sektorja za tehnično podporo projektov in razvoj DRI upravljanje investicij, d. o. o. in predstavnica Slovenije v EU BIM Task Group

Vabimo vas na Dan inženirjev 2017,
ki bo potekal 26. oktobra v Mežici.
Poleg podelitve Nagrad IZS smo
pripravili zanimiv tehnični in kulturni
program.

STROKOVNI PROGRAM

- 12:00** Ogled proizvodnje podjetja TAB, d.d.
TAB, Tovarna akumulatorskih baterij d.d., Polena 6, Mežica
- 14:30** Ogled rudnika Podzemlja Pece
Glančnik 6, Mežica

PODELITEV NAGRAD IZS

Javni kulturni zavod narodni dom Mežica, Trg 4. aprila 4, Mežica

- 17:30** UVODNI POZDRAVI IN NAGOVORI
- mag. Črtomir REMEC
Predsednik Inženirske zbornice Slovenije
- Dušan KREBEL
Župan občine Mežica
- Podelitev nagrad IZS
s kulturnim programom

- 18:30** Družabno srečanje

Program in prijavnica: www.izs.si.

Organizator



 #daninzenirjev, #IZS



DAN INŽENIRJEV

Mežica, 26. oktober 2017

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Samir Hozanovič, Vpliv požarne zaščite na standardno požarno odpornost jeklenih elementov, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, somentorica asist. Anita Ogrin; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94377>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Martin Klun, Utrditev upogibno obremenjenega armiranobetonskega nosilca s kompozitnimi CFRP lamelami, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. dr. David Antolinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94465>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

David Matko, Primerjava količin popisnih postavk pridobljenih po dveh načinih za enodružinsko hišo, mentorica doc. dr. Nataša Šuman, somentor asist. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=66758&lang=slv>

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Študij sta zaključila z diplomskim izpitom:

Lucia Boršič
Gorazd Rižnar

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Matjaž Lesjak, Deformacijska analiza geodetskih mrež za potrebe ugotavljanja stabilnosti objektov po metodi Hannover, mentor izr. prof. dr. Boštjan Kovačič, somentor doc. dr. Rok Kamnik; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67337>

Barbara Markušič, Zeleno javno naročanje kot podpora za doseganje ciljev strategije "Evropa 2020", mentorica doc. dr. Nataša Šuman, somentorica Jasna Vincek, dipl. inž. građ.; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67383>

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

KOLEDAR PRIREDITEV

12.-13.10.2017

5th International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure

Borås, Švedska
<http://conferencemanager.events/firespallingworkshop>

11.-13.10.2017

3rd ReSyLAB – 3. Regional Symposium on Landslides in Adriatic-Balkan Region

Ljubljana, Slovenija
www.geo-zs.si/ReSyLAB2017/

11.-13.10.2017

4th ICEES - International Conference on Earthquake Engineering and Seismology

Eskişehir, Turčija
www.tdmd.org.tr/TR/Genel/KonferansAnaSayfaEN.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFFB0FF6CAD6E83E4E

18.10.2017

Strokovni posvet: Novi vidiki razvoja javne prometne infrastrukture

Maribor, Slovenija
www.dcm-svs.si/

3.-9.11.2017

International Seminar on Roads, Bridges and Tunnels

Solun, Grčija
<http://isrbf.civil.ath.gr/>

10.11.2017

18. Šukljetov dan

Brdo pri Kranju, Slovenija
<http://sloged.si/>

20.-22.11.2017

ICCEN 2017 – 6th International Conference on Civil Engineering

Brisbane, Avstralija
www.iccen.org/

21.11.2017

ICE TAM 2017 - ICE Transport Asset Management 2017

London, Anglija
www.ice-tam.com

22.-23.11.2017

24th international conference Concrete Days 2017

Litomyšl, Češka
www.cbsbeton.eu/en/seminars/odborne-akce/blog

23.11.2017

11. mednarodna konferenca o predorih in podzemnih objektih

Ljubljana, Slovenija
www.ifa-slovenia.si

30.11.-1.12.2017

16. kolokvij o asfaltih, bitumnih in voziščih

Bled, Slovenija
<http://zdruzenje-zas.si/kolokvij/>

6.-8.12.2017

2017 ABC Conference – 2017 National Accelerated Bridge Construction Conference

Miami Florida, Združene države Amerike
<https://abc-utc.fiu.edu/>

8.-10.3.2018

ICACE 2018 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2018

Hong Kong, Kitajska
<http://icace.coreconferences.com/>

11.-13.3.2018

ICCUE 2018 – 5th International Conference on Civil and Urban Engineering

Barcelona, Španija
<http://www.iccue.org/>

15.-16.3.2018

ICCEABME 2018: 20th International Conference on Civil Engineering, Architecture, Building Materials and Environment

Pariz, Francija
www.waset.org/conference/2018/03/paris/ICCEABME

8.-10.4.2018

ICESDP'18-3rd International Conference on Environmental Sustainability, development, and Protection

Budimpešta, Madžarska
<http://icesdp.com/>

6.-10.5.2018

IAS/PCA – 2018 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference

Nashville, Texas, Združene države Amerike
www.cementconference.org/

22.-24.5.2018

S.ARCH 2018 – The 5th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS

Benetke, Italija
<http://s-arch.net/>

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net