

# Naprezanja i deformacije u sustavima "inverznih" kolničkih konstrukcija

---

**Babić, Branimir; Rukavina, Tatjana; Prager, Andrija**

*Source / Izvornik:* **Građevinar, 2004, 56, 207 - 213**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:023759>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



# Naprezanja i deformacije u sustavima "inverznih" kolničkih konstrukcija

Branimir Babić, Tatjana Rukavina, Andrija Prager

## Ključne riječi

kolnička konstrukcija,  
"inverzna" konstrukcija,  
analiza,  
naprezanje,  
deformacija,  
prometno opterećenje

## Key words

pavement structure,  
"inverse" structure,  
analysis,  
stress,  
strain,  
traffic load

## Mots clés

конструкция мостовой,  
«инверсионная»  
конструкция, анализ,  
напряжение,  
деформация,  
транспортная нагрузка

## Ключевые слова

железнодорожные  
мосты, усталость,  
надёжность,  
коэффициент  
надёжности,  
пробалистический подход,  
основные переменные,  
долговечность

## Schlüsselworte

Eisenbahnbrücken,  
Ermüdung,  
Zuverlässigkeit,  
Zuverlässigkeitsindex,  
probabilistischer Zutritt,  
Basisvariablen,  
Dauerhaftigkeit

B. Babić, T. Rukavina, A. Prager

Izvorni znanstveni rad

## Naprezanja i deformacije u sustavima "inverznih" kolničkih konstrukcija

Analizirane su deformacije i naprezanja od prometnog opterećenja u tzv. inverznim kolničkim konstrukcijama, tj. onima kod kojih je cementom vezani nosivi sloj stavljen na posteljicu, a nevezani sloj u sredinu konstrukcije. Analize su obavljene uz promjenu triju najbitnijih parametara: geometrije kolničke konstrukcije, svojstava materijala i nosivosti tla. Dobivene vrijednosti uspoređene su s onima koje se pri istim uvjetima javljaju u uobičajenim kolničkim konstrukcijama.

B. Babić, T. Rukavina, A. Prager

Original scientific paper

## Stress and strain in "inverse" pavement structure systems

The paper analyses the stress and strain generated by traffic load in the so called inverse pavement structures, i.e. structures in which the cement-bound base course is placed onto the subgrade, while the unbound layer is placed in the intermediate portion of the structure. The analysis was performed by varying three most significant parameters: pavement geometry, properties of materials, and load bearing capacity of soil. Values obtained in this analysis are compared with those measured under similar conditions on traditional pavement structures

B. Babić, T. Rukavina, A. Prager

Ouvrage scientifique original

## Contraintes et déformations dans les systèmes de chaussée "inverses"

Le sujet de l'ouvrage sont les contraintes et les déformations causées par la charge de circulation dans les chaussées dites inverses, c'est-à-dire dans les chaussées où la couche de base liée par ciment est placée sur la couche de forme, tandis que la couche friable est placée dans la zone intermédiaire de chaussée. L'analyse a été faite en variant trois paramètres principaux: la géométrie de la chaussée, les caractéristiques des matériaux et la capacité portante du sol. Les valeurs obtenues au cours de cette analyse ont été comparées avec les valeurs mesurées, sous conditions similaires, sur chaussées traditionnelles.

Б. Бабич, Т. Рукавина, А. Прагер

Оригинальная научная работа

## Напряжения и деформации в системах «инверсионных» конструкций мостовых

В работе анализированы деформации и напряжения от транспортной нагрузки в, так называемых, инверсионных конструкциях мостовых, т.е. тех, у которых связанный цементом несущий слой положен на постель, а несвязанный слой – в середине конструкции. Анализы проведены при применении трёх самых важных параметров: геометрии мостовой, свойств материалов и несущей способности грунта. Полученные значения сравнивались с теми, которые при тех же самых условиях появляются в обычных конструкциях мостовых.

B. Babić, T. Rukavina, A. Prager

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

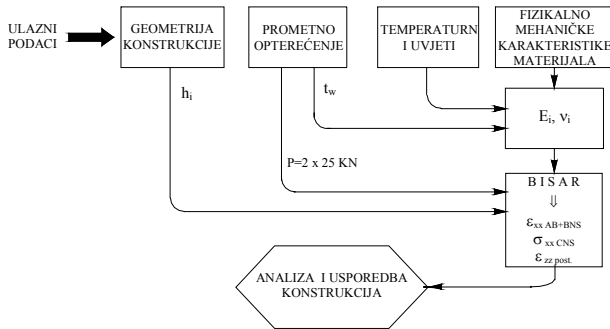
## Spannungen und Verformungen in Systemen der "inversen" Fahrbahnkonstruktionen

Analysiert sind durch Verkehrsbelastung verursachte Spannungen und Verformungen in sg. inversen Fahrbahnkonstruktionen, dh. in solchen wo die zementgebundene Tragschicht auf der Bettung und die ungebundene Tragschicht in der Mitte der Konstruktion liegt. Die Analysen wurden unter Änderung dreier wesentlichster Parameter durchgeführt: der Geometrie der Fahrbahnkonstruktion, der Beschaffenheit der Baustoffe und der Bodentragfähigkeit. Die gewonnenen Ergebnisse sind mit denen verglichen die unter gleichen Bedingungen in üblichen Fahrbahnkonstruktionen auftreten.

Autori: Prof. dr. sc. **Branimir Babić**, dipl. ing. građ.; doc. dr. sc. **Tatjana Rukavina**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Kačićeva 26; prof. dr. sc. **Andrija Prager**, dipl. ing. građ., Zagreb



Metodologija provedene analize deformacija i napreznja kolničkih konstrukcija prikazana je u dijagramu toka postupka (slika 3.).



Slika 3. Dijagram toka postupka analize napreznja i deformacija u varijantnim kolničkim konstrukcijama (uobičajenoj i "inverznoj") Kao oruđe za rad odabran je program BISAR [5]

Ulazni parametri za postupak analize projektirani su na sljedeći način:

- za asfaltne materijale (normirane) izračunani su [6] moduli svojstveni za dva temperaturna područja –niže temperaturno područje (3°C) i više temperaturno područje (25°C) tj. 17.200 MPa, odnosno 3.200 MPa,
- za cementom stabilizirani sloj (s obzirom na pukotine) usvojene su tri vrijednosti dinamičkog modula elastičnosti (5.000 MPa, 10.000 MPa i 15.000 MPa),
- za nevezani sloj (s obzirom na mogućnost različitih

tala u posteljici), moduli su varirani od 20 do 150 MPa (CBR = 2 do 15%) (šest varijacija modula).

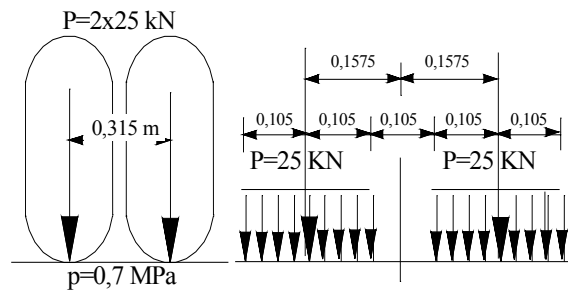
Geometrija konstrukcije bila je sljedeća:

a) uobičajena konstrukcija

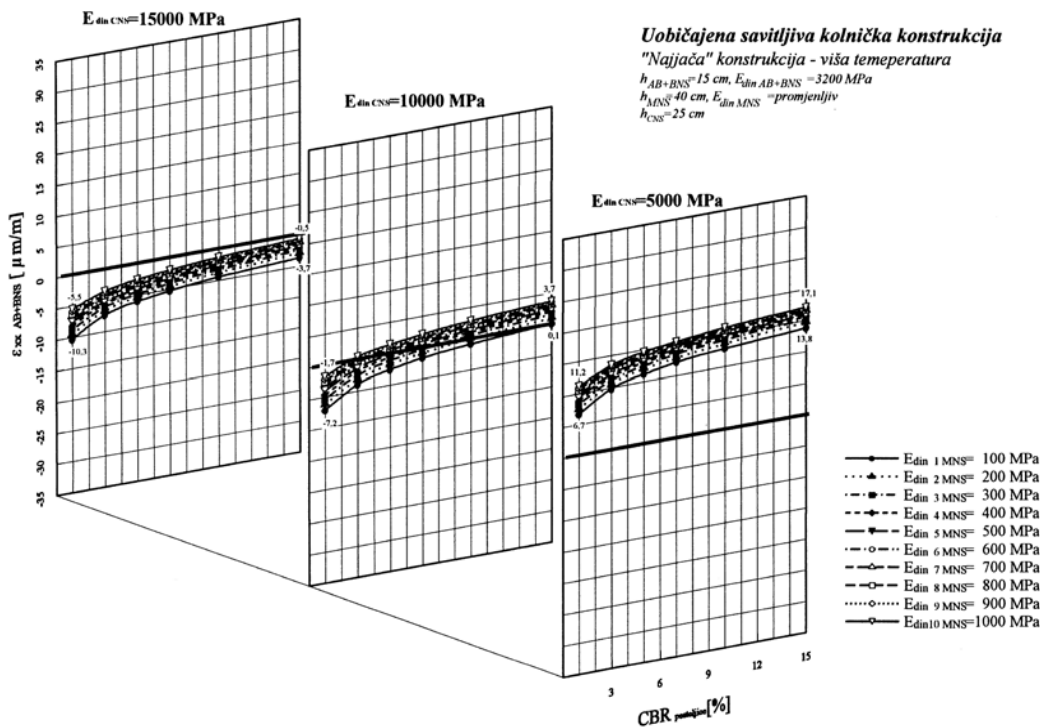
- asfaltni slojevi: 10 – 12 – 15 cm
  - cementom stabilizirani nosivi sloj: 15 – 20 – 25 cm
  - nevezani nosivi sloj: 20 – 30 – 40 cm
- Ukupna debljina konstrukcije: 45 – 62 – 80 cm

b) inverzna konstrukcija

- asfaltni slojevi: 10 – 12 – 15 cm
  - nevezani nosivi sloj: 20 – 30 – 40 cm
  - cementom stabilizirani nosivi sloj: 15 – 20 – 25 cm
- Ukupna debljina konstrukcije: 45 – 62 – 80 cm



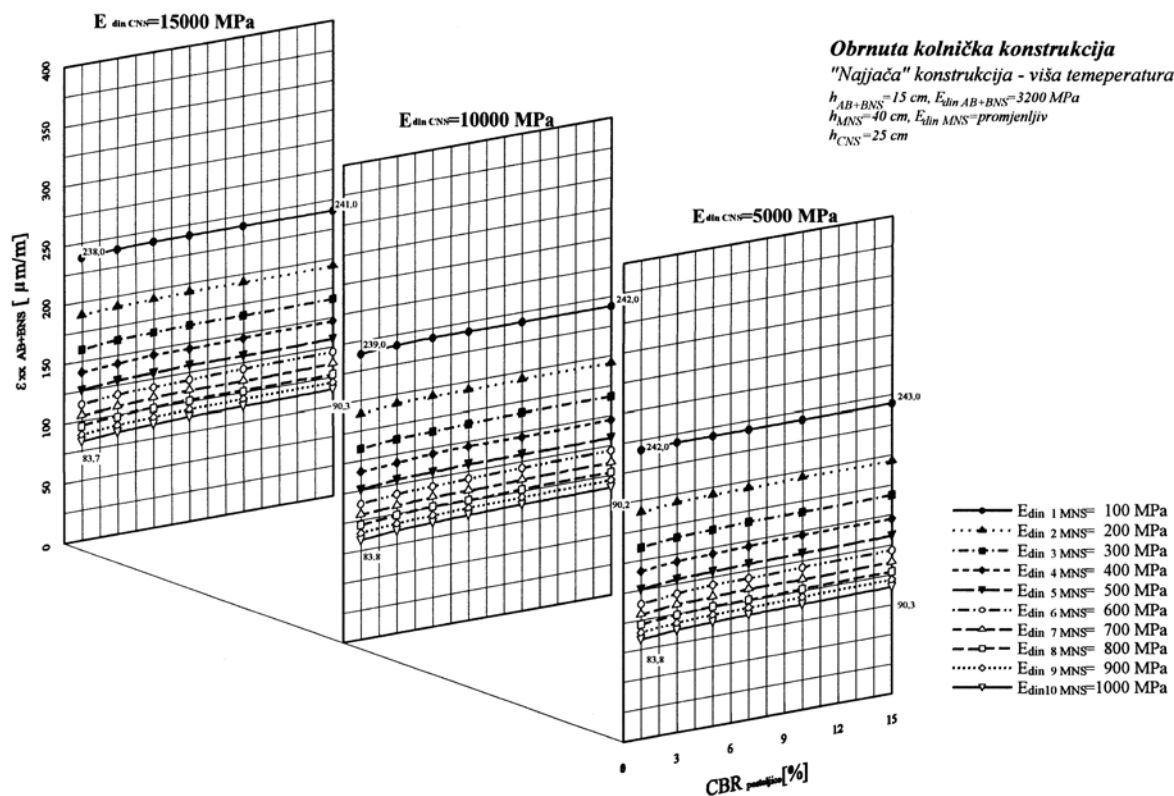
Slika 4. Shematski prikaz opterećenja dvostrukog kotača vozila usvojenog za proračune



Slika 5. Radijalne deformacije pri donjoj strani asfaltnih slojeva u slučaju promjene modula elastičnosti cementom stabiliziranog nosivog sloja ( $E_{din CNS}$ ) kod uobičajenog tipa kolničke konstrukcije (primjer)

Opterećenje kolničke konstrukcije bilo je statičko, s dvostrukim kotačem stražnje osovine teškog teretnog vozila, a prikazano je na slici 4.

Rezultati svih proračuna prikazani su u tablicama i dijagramima određenih zavisnosti [2], a za ovaj su prikaz odabrani neki karakteristični primjeri (slike 5. i 6.).



Slika 6. Radijalne deformacije pri donjoj strani asfaltnih slojeva u slučaju promjene modula elastičnosti cementom stabiliziranog nosivog sloja ( $E_{dinCNS}$ ) kod "inverznog" tipa kolničke konstrukcije (primjer)

### 3 Analiza napreznja i deformacija u uobičajenom i inverznom sustavu kolničkih konstrukcija

U točki 2. izloženo je koja su napreznja i deformacije i na kojim mjestima posebno značajni za ponašanje kolničke konstrukcije pa su ona usvojena za analize (3 kriterija).

Zbog velikog broja ulaznih parametara analize rezultata radile su se tako da se određen broj parametara držao konstantnim a mijenjale su se vrijednosti onih parametara čiji su se utjecaji željeli promatrati. Osnovne analize odnosile su se na utjecaj promjene debljine asfaltnih slojeva ( $h_{AB+BNS}$ ) na napreznja i deformacije, utjecaj promjene debljine cementom vezanoga nosivog sloja ( $h_{CNS}$ ), utjecaj promjene debljine nevezanoga nosivog sloja ( $h_{MNS}$ ) i utjecaj promjene dinamičkog modula elastičnosti cementom stabiliziranog nosivog sloja ( $E_{dinCNS}$ ).

Analizirane su, uvjetno govoreći, «najslabija» i «najjača» konstrukcija ovisno o parametrima koji su pri pojedinoj

analizi bili konstantni. Pod pojmom, «najslabije» i «najjače» konstrukcije u ovom slučaju podrazumijevaju se konstrukcije definirane na sljedeći način:

- u analizi utjecaja promjene debljine asfaltnih slojeva  $h_{AB+BNS}$   
 najslabija konstrukcija –  $h_{MNS} = 20 \text{ cm}$ ;  $h_{CNS} = 15 \text{ cm}$ ;

$E_{dinCNS} = 5000 \text{ MPa}$ ,

najjača konstrukcija –  $h_{MNS} = 40 \text{ cm}$ ;  $h_{CNS} = 25 \text{ cm}$ ;

$E_{dinCNS} = 15000 \text{ MPa}$ ,

- u analizi utjecaja promjene debljine cementom vezanog nosivog sloja  $h_{CNS}$

najslabija konstrukcija –  $h_{AB+BNS} = 10 \text{ cm}$ ;

$h_{MNS} = 20 \text{ cm}$ ;  $E_{dinCNS} = 5000 \text{ MPa}$ ,

najjača konstrukcija –  $h_{AB+BNS} = 15 \text{ cm}$ ;

$h_{MNS} = 40 \text{ cm}$ ;  $E_{dinCNS} = 15000 \text{ MPa}$ ,

- u analizi utjecaja promjene debljine nevezanog nosivog sloja  $h_{MNS}$

najslabija konstrukcija –  $h_{AB+BNS} = 10 \text{ cm}$ ;

$h_{CNS} = 15 \text{ cm}$ ;  $E_{dinCNS} = 5000 \text{ MPa}$ ,

najjača konstrukcija –  $h_{AB+BNS} = 15 \text{ cm}$ ;

$h_{CNS} = 25 \text{ cm}$ ;  $E_{dinCNS} = 15000 \text{ MPa}$ ,

- u analizi utjecaja promjene dinamičkog modula elastičnosti  $E_{dinCNS}$

cementom stabiliziranog nosivog sloja  
 najslabija konstrukcija –  $h_{AB+BNS} = 10$  cm;  
 $h_{CNS} = 15$  cm;  $h_{MNS} = 20$  cm,  
 najjača konstrukcija –  $h_{AB+BNS} = 15$  cm;  
 $h_{CNS} = 25$  cm;  $h_{MNS} = 40$  cm.

Za svaku su se konstrukciju mijenjali  $E_{dinMNS}$  i  $CBR_{post}$  ( $E_{din post}$ ). Vrijednost dinamičkog modula elastičnosti nevezanoga nosivog sloja  $E_{dinMNS}$  mijenjala se od 100 do 1000 MPa s korakom od 100 MPa, dok je vrijednost  $CBR_{post}$  ( $E_{din post}$ ) mijenjala od 1% do 15% (1,3,5,7,10 i 15%).

Rezultati obavljenih proračuna i provedenih analiza omogućili su spoznaje o tome kako promjene geometrije konstrukcije i svojstava sastavnih materijala utječu na naprezanja i deformacije posebno značajna za ponašanje kolničke konstrukcije. Rezultati predstavljaju doprinos postojećim spoznajama o naprezanjima i deformacijama u uobičajenim konstrukcijama a pogotovo u "inverznim" konstrukcijama.

Najvažnije su spoznaje posebno navedene za svaku konstrukciju.

### 3.1 Uobičajena savitljiva kolnička konstrukcija

#### Radijalne vlačne deformacije pri dnu asfaltnih slojeva

- Pri višoj su temperaturi (mali modul elastičnosti asfaltnih slojeva) deformacije na donjoj strani asfaltnih slojeva, ovisno o vrijednosti razmatranih utjecajnih parametara, tlačne ili vlačne, a pri nižoj temperaturi vlačne. Pri nižoj su temperaturi deformacije općenito manje nego pri višoj temperaturi.
- S povećanjem dinamičkog modula elastičnosti cementom vezanoga nosivog sloja u nižem području (5000 MPa na 10000 MPa) deformacije se mijenjaju znatno više nego u višem području (10000 MPa na 15000 MPa).
- Utjecaj CBR-a posteljice s povećanjem debljine asfaltnih slojeva gotovo se potpuno gubi, tako da već pri debljini asfalta od 15 cm (i u slučaju «najslabije» konstrukcije) postaje zanemariv.

Debljina cementom vezanoga nosivog sloja i nevezanoga nosivog sloja malo utječe na ove deformacije.

#### Radijalna naprezanja pri dnu cementom stabiliziranoga nosivog sloja

- Radijalna su naprezanja na donjoj strani cementom stabiliziranoga nosivog sloja i pri višoj i pri nižoj temperaturi vlačna.
- Pri nižoj temperaturi tokovi naprezanja slični su onima pri višoj, samo su naprezanja u principu manja. «Blaže» je i djelovanje svih drugih razmatranih utjecajnih parametara.

#### Vetikalna deformacija posteljice

- Vetikalna je deformacija posteljice pri višoj i pri nižoj temperaturi tlačna. Smanjuje se povećanjem vrijednosti bilo kojeg od razmatranih utjecajnih parametara.

### 3.2 Inverzna kolnička konstrukcija

#### Radijalne deformacije pri dnu asfaltnih slojeva

- Pri svim razmatranim temperaturama i parametrima ove su deformacije vlačne a općenito su znatno veće nego u uobičajenoj kolničkoj konstrukciji.
- S povećanjem dinamičkog modula elastičnosti cementom vezanoga nosivog sloja i debljine asfaltnih slojeva vlačne deformacije pri dnu asfaltnih slojeva u načelu se smanjuju.
- Utjecaj CBR-a posteljice na ove deformacije vrlo je malen, čak bi se moglo reći da nosivost posteljice praktički i ne utječe na njih.

#### Radijalna naprezanja pri dnu cementom vezanoga sloja

- Radijalna su naprezanja pri dnu cementom vezanoga sloja uvijek vlačna (što na neki način potvrđuje polazne pretpostavke o ponašanju takvog sustava). U usporedbi s onima u cementom stabiliziranom sloju u uobičajenoj kolničkoj konstrukciji njihove su vrijednosti manje.
- Pri nižim temperaturama ta su naprezanja manja nego pri višim.

#### Vertikalna deformacija na posteljici

- Vertikalna je deformacija posteljice tlačna. Smanjuje se s povećanjem vrijednosti bilo kojega od razmatranih utjecajnih parametara.

## 4 Usporedba konstrukcija

Kao mjerilo za usporedbu, zbog jednostavnosti, odabran je samo jedan od razmatranih kriterija – horizontalna vlačna radijalna deformacija pri dnu asfaltnih slojeva. Ona je, naime, «najodgovornija» za ponašanje kolničke konstrukcije jer prekoračenjem te deformacije u odnosu na neku dopuštenu dolazi do nastanka pukotina. Manje su deformacije, znači, povoljnije. Analizirane su kod pojedinih tipova kolničkih konstrukcija i to u odnosu na sve razmatrane parametre.

Usporedba je načinjena tako da su razmatrane kolničke konstrukcije s istom debljinom asfaltnih slojeva i istom ukupnom debljinom donjih nosivih slojeva.

Odabrane su prosječne vrijednosti fizičko-mehaničkih karakteristika materijala konstrukcije, budući da bi usporedba konstrukcija sa svim promjenljivim parametrima, zbog velikog broja mogućih kombinacija, bila gotovo nemoguća.

Usporedbe deformacija načinjene su za sljedeće slučajeve:

- nižu temperaturu (3°C),  
višu temperaturu (22°C);
- malu nosivost posteljice ( $CBR_{post} = 3\%$ ),  
veću nosivost posteljice ( $CBR_{post} = 10\%$ );
- prosječnu vrijednost modula cementom stabiliziranoga nosivog sloja ( $E_{dinCNS} = 10000$  MPa).
- prosječnu vrijednost modula nevezanog sloja ( $E_{dinMNS} = 300$  MPa).

Kao i u prije opisanim analizama analizirane su «najslabija» i «najjača» konstrukcija koje su za ovu potrebu definirane na sljedeći način:

#### Uobičajena konstrukcija

Najslabija konstrukcija:

- debljina asfaltnih slojeva	10 cm
- debljina cementom stabiliziranoga nosivog sloja	15 cm
- <u>debljina nevezanoga nosivog sloja</u>	<u>20 cm</u>
ukupno:	45 cm

Najjača konstrukcija:

- debljina asfaltnih slojeva	15 cm
- debljina cementom stabiliziranoga nosivog sloja	25 cm
- <u>debljina nevezanoga nosivog sloja</u>	<u>40 cm</u>
ukupno:	80 cm

#### Inverzna konstrukcija

Najslabija konstrukcija:

- debljina asfaltnih slojeva	10 cm
- debljina nevezanoga nosivog sloja	20 cm
- <u>debljina cementom stabiliziranoga nosivog sloja</u>	<u>15 cm</u>
ukupno:	45 cm

Najjača konstrukcija:

- debljina asfaltnih slojeva	15 cm
- debljina nevezanoga nosivog sloja	40 cm
- <u>debljina cementom stabiliziranoga nosivog sloja</u>	<u>25 cm</u>
ukupno:	80 cm

U tablici 1. navedene su vrijednosti radijalnih deformacija na donjoj strani asfaltnih slojeva pri višoj i nižoj temperaturi, u «najslabijoj» i «najjačoj» konstrukciji te pri manjoj odnosno većoj nosivosti posteljice, za svaki tip konstrukcije.

Iz tablice 1. vidljivo je da su radijalne (vlačne) deformacije pri dnu asfaltnih slojeva u "inverznim" konstrukcijama znatno veće od onih u uobičajenim konstrukcijama.

Tablica 1. Vrijednosti radijalnih deformacija pri dnu asfaltnih slojeva u razmatranim tipovima kolničkih konstrukcija

Tip kolničke konstrukcije i temperaturni uvjeti				Radijalna deformacija pri dnu asfaltnih slojeva [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	
				$CBR_{post} = 3\%$	$CBR_{post} = 10\%$
Uobičajena konstrukcija	temperatura	viša (22°C)	najslabija	-20,40	-12,70
			najjača	-2,45	0,59
	niža (3°C)	najslabija	9,75	10,40	
		najjača	7,98	8,41	
Inverzna konstrukcija	temperatura	viša (22°C)	najslabija	221,00	228,00
			najjača	163,00	166,00
	niža (3°C)	najslabija	90,80	89,90	
		najjača	58,80	58,20	

Usporedba uobičajenih i "inverznih" kolničkih konstrukcija uz varijaciju svih najvažnijih utjecajnih parametara pokazala je da su "inverzne" konstrukcije zapravo nepovoljnije od uobičajenih.

Zamjena položaja cementom stabiliziranoga nosivog sloja (tako da on bude na dnu kolničke konstrukcije) i nevezanoga nosivog sloja (tako da on bude u sredini konstrukcije) ne bi dovela do povoljnih učinaka na konstrukciju, jer su kod "inverzne" konstrukcije deformacije (vlačne) asfaltnih slojeva neusporedivo veće.

U cementom vezanom sloju "inverznih" konstrukcija generiraju se, doduše, veća vlačna naprezanja (nego u tom sloju kod uobičajenih), ali to nije u bitno većoj mjeri i nije značajno za eventualno rasterećenje drugih dijelova kolničke konstrukcije.

Nosivost posteljice vrlo malo utječe na razmatrane deformacije.

Poruka iz ovih istraživanja bila bi: Treba potpuno napustiti ideju o primjeni obrnutih ("inverznih") kolničkih konstrukcija!

## 5 Zaključak

Za velik broj promjenljivih parametara određene su deformacije ili naprezanja koje u razmatranim kolničkim konstrukcijama izaziva prometno opterećenje.

Dobiveni su rezultati analizirani i protumačeni posebno za uobičajenu kolničku konstrukciju i za "inverznu" kolničku konstrukciju te utvrđeni utjecaji pojedinih parametara.

Kao najvažnija spoznaja ističe se da su "inverzne" konstrukcije u određenom pogledu (vlačne deformacije asfaltnih slojeva) znatno nepovoljnije od uobičajenih konstrukcija.

**LITERATURA**

- [1] Rukavina, T.; Dragčević, V.; Lakušić, S.: *Primjenljivost računalnih programa za projektiranje kolničkih konstrukcija*, Zbornik priopćenja – Treći hrvatski kongres o cestama, Trogir 2003., str. 390.-394.
- [2] Rukavina, T.: *Višeparameterska analiza naprezanja i deformacija savitljivih kolničkih konstrukcija*, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1999., str. 169.
- [3] Peattie, K.R.: *A Fundamental Approach to the Design of Flexible Pavements*, Proceedings First International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan, 1962.
- [4] Babić, B.: *Projektiranje kolničkih konstrukcija*, Sveučilište u Zagrebu i HDGI, Zagreb 1997., str. 197.
- [5] *BISAR-PC User Manual*, Shell Pavement Design Method – Stress and Strain Calculations in Pavement Models on a Personal Computer, Shell International Petroleum Company Limited, London, 1995.
- [6] *BANDS-PC User Manual*, Shell Pavement Design Method – Computerised Bitumen and Asphalt Nomographs, Shell International Petroleum Company Limited, London, 1990.
-