

# Utjecaj povezanosti ploča dilatiranoga betonskog kolnika

Aleksandra Deluka–Tibljaš, Andrija Prager, Tatjana Rukavina

## Ključne riječi

dilatirani betonski kolnik, ploča, povezanost ploča, moždanik, razdjelnica, prijenos opterećenja

## Key words

expanded concrete slab, deck slab, connection of slabs, shear stud, expansion joint, load transfer

## Mots clés

chaussée en béton à joints de dilatation, dalle, jonction des dalles, goujon, joint de dilatation, transmission des charges

## Ключевые слова:

дилатированная бетонная мостовая, плита, связанность плит, связывающая дилатация, перенос нагрузки

## Schlüsselworte:

dilatierter Betonfahrbahn, Platte, Plattenverbindung, Dübel, Trennfuge, Belastungsübertragung

A. Deluka-Tibljaš, A. Prager, T. Rukavina

Stručni rad

## Utjecaj povezanosti ploča dilatiranoga betonskog kolnika

Analiziran je prijenos opterećenja s opterećene na susjednu neopterećenu ploču da bi se ustanovila mogućnost redukcije naprežanja u betonu. Veza između ploča ostvaruje se moždanicama od betonskog čelika, a zanemaruje se utjecaj trenja u kontaktu beton-beton. Razmatran je utjecaj debljine ploče kolnika, profila i razmaka moždanika te veličine otvaranja razdjelnice zbog promjena temperature. Definirani su uvjeti koji omogućuju prijenos više od 40% opterećenja na susjednu ploču.

A. Deluka-Tibljaš, A. Prager, T. Rukavina

Professional paper

## Influence of slab connection in case of expanded concrete pavements

Load transfer from the stressed slab to the neighboring unstressed slab is analyzed in order to establish possibilities for stress reduction in concrete. The contact between slabs is established by means of reinforcing steel shear studs while the influence of friction in the concrete to concrete contact is neglected. The influence of slab thickness, slab cross-section and spacing of shear studs is analyzed, and the expansion joint movement due to change in temperature is studied. Conditions enabling transfer of more than 40 percent of load onto the neighboring slab are defined.

A. Deluka-Tibljaš, A. Prager, T. Rukavina

Ouvrage professionnel

## Influence de la jonction des dalles d'une chaussée en béton à joints de dilatation

L'article analyse la transmission des charges d'une dalle soumise à la charge à la dalle voisine non chargée, afin de déterminer la possibilité de réduction des contraintes dans le béton. La jonction entre les dalles est réalisée par des goujons en acier pour béton, tandis que l'influence du frottement au contact béton-béton est négligée. On étudie l'influence de l'épaisseur de la dalle de la chaussée, du profil et de l'espacement des goujons, ainsi que de la grandeur de l'ouverture des joints de dilatation en fonction de la variation des températures. On définit les conditions permettant la transmission de plus de 40% des charges à la dalle adjacente.

A. Делука, А. Прагер, Т. Рукавина

Предварительное сообщение

## Влияние связанности плит дилатированной бетонной мостовой

В работе анализирован перенос нагрузки с нагруженной на соседнюю ненагруженную плиту с целью установить возможность снижения напряжения в бетоне. Связь между плитами осуществляется анкерными стержнями из бетонной стали, а не принимается во внимание влияние трения в контакте бетон-бетон. Рассмотрено влияние толщины мостовой, профиля и расстояния между анкерными стержнями, а также величины открытия делителя из-за изменения температуры. Определены условия, обеспечивающие передачу свыше 40% нагрузки на соседнюю плиту.

A. Deluka-Tibljaš, A. Prager, T. Rukavina

Fachbericht

## Einfluss der Verbindung von dilatierten Betonfahrbahnplatten

Analysiert wurde die Belastungsübertragung von der belasteten auf die benachbarte unbelastete Platte, mit dem Ziel die Möglichkeit der Spannungsreduktion im Beton festzustellen. Die Verbindung der Platten wird mit Dübeln aus Betonstahl ausgeführt, wobei die Reibung im Kontakt zwischen den Platten unterlassen wird. Man betrachtete den Einfluss der Fahrbahnplattendicke, Dübelprofil und -Abstand, sowie die Größe der Trennfugenöffnung wegen der Temperaturunterschiede. Definiert sind die Bedingungen die eine Übertragung von mehr als 40% der Belastung auf die benachbarte Platte ermöglichen.

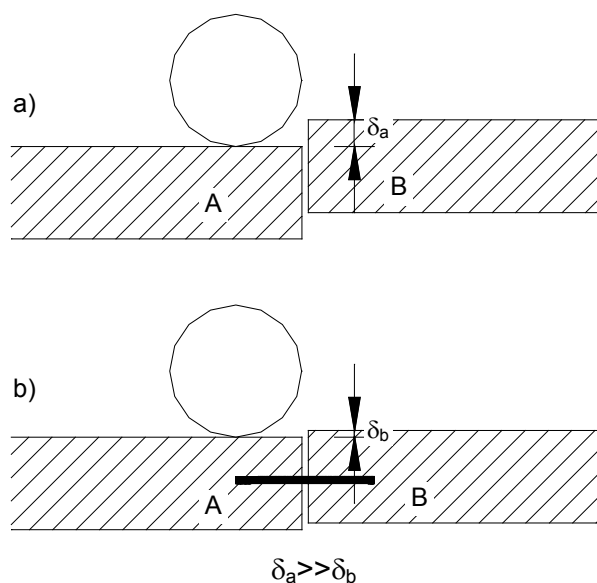
Autori: Mr. sc. **Aleksandra Deluka-Tibljaš**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; prof. dr. sc. **Andrija Prager**, dipl. ing. građ.; doc. dr. sc. **Tatjana Rukavina**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## 1 Uvod

Od tri poznata tipa betonski kolnika: dilatirani nearmirani, besprekidno armirani i prednapeti - najčešće se danas gradi prvonavedeni, pri kojem se izvedbom dilatacijskih razdjelnica eliminira (velikim dijelom) pojava vlačnih naprezanja pri promjeni temperature. Dilatacijske razdjelnice su dugo vremena bile slaba točka te kolničke konstrukcije, što je i dovelo do pojave armiranog ili prednapetog, ali u oba slučaja kontinuiranoga betonskog kolnika. Novijom tehnologijom izvedbe razdjelnica, a naročito pojavom trajno elastičnih masa za ispunu razdjelnica, nedostaci su uklonjeni i dilatirani nearmirani betonski kolnik "rehabilitiran".

Proračun dilatiranoga betonskog kolnika (DBK) dao je Westergaard [1] za položaj opterećenja, tj. kotača vozila u sredini, na rubu i na uglu pravokutne ploče. Proračun je proveden za ploču koja nije povezana sa susjednim pločama, što je i odgovaralo tadašnjoj tehnologiji građenja DBK. Proračuni su pokazali da su momenti savijanja (prema tome i naprezanja) zbog istoga prometnog opterećenja na rubu i uglu ploče približno dva puta veći od onih u sredini ploče. To znači da debljina kolničke ploče mora biti dovoljna da ploča podnese naprezanja na rubu i uglu, pa će prema tome središnji dio ploče biti predimenzioniran i konstrukcija neekonomična.

Već su se tijekom 30-tih i 40-tih godina u dilatacijske razdjelnice počeli ugrađivati moždanici od betonskog čelika, sa svrhom da se spriječi (ili barem značajno smanji) razlika u slijeganju susjednih ploča pri prolazu vozila (slika 1.). To znači da se u slučaju povezanih ploča dio opterećenja koje djeluje na ploči A prenosi na (ne



Slika 1. Prelaz vozila preko betonskih ploča, a) slučaj nepovezanih ploča, b) slučaj ploča povezanih moždanicima

direktno opterećenu) ploču B. Za isti su taj dio naprezanja na rubu i uglu opterećene ploče smanjena, tj. približena veličini naprezanja koja se javljaju ispod opterećenja na sredini ploče.

Eisenmann [2] primjerice preporučuje da se u proračunu naprezanja na rubu ploče opterećenje reducira za 30%, jer se, prema njegovim spoznajama, u uvjetima solidne izvedbe smoždene dilatacijske razdjelnice 30% tereta prenosi na susjednu ploču.

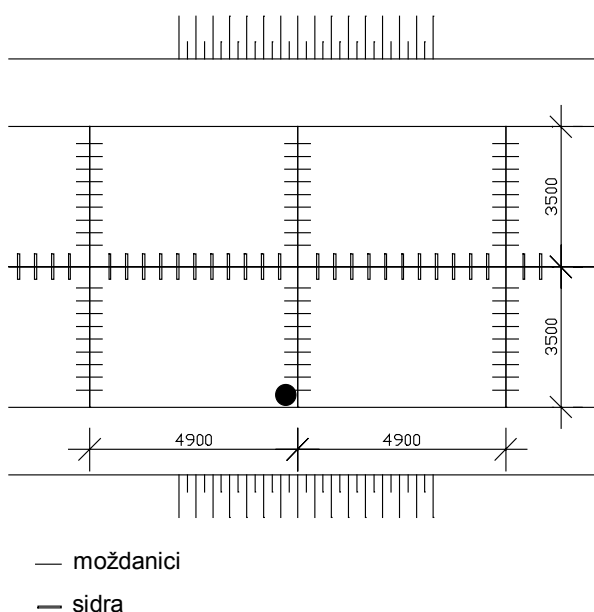
Problem prijenosa opterećenja razmatralo je više autora [3, 4, 5], za smoždene razdjelnice i razdjelnice na "pero i utor", i uz pretpostavku trenja na kontaktnim plohama, uz opterećenje na rubu ploče.

U ovom su radu prikazane brojčane veličine prijenosa opterećenja kad su ploče povezane moždanicima, i to za slučaj opterećenja na uglu ploče kolnika. Smatra se da nema trenja na kontaktu kad se dilatacijska razdjelnica otvara pri temperaturama ispod temperature ugradbe. Za slučaj kontakta pri višim temperaturama trenje se može zanemariti, jer je njegov utjecaj uz prisutnost moždanika minoran.

- Razmatranje prijenosa opterećenja provest će se u dvije faze:
- konstantni razmak ploča od 1mm - ispituje se utjecaj debljine kolničke ploče te profila i razmaka moždanika;
- konstantna debljina ploče te profil i razmak moždanika - ispituje se utjecaj veličine otvora dilatacijske razdjelnice.

## 2 Opći podaci za proračun

- Svi proračuni provedeni su za slučaj opterećenja na uglu ploče koja ima jednu stranu slobodnu (slika 2.).
- Tlocrtne dimenzije promatrane ploče su 4900 × 3500 mm.
- Opterećenje je stražnji kotač standardnoga cestovnoga teretnog vozila s opterećenjem  $P = 50$  kN i inflacijskim tlakom  $p = 0,7$  MPa.
- Proračun je proveden računalnim programom Robot 97, verzija 12.5. Program se temelji na Winklerovu modelu tla kao sustava elastičnih opruga. Za rješenje Lagrangeove jednadžbe ploče primijenjena je metoda konačnih elemenata, na postavkama Coonsove metode.
- Koeficijent termičke dilatacije betona:  $\alpha = 1,0 \times 10^{-5}$
- Modul elastičnosti i Poissonov koeficijent betona:  $E_b = 25466$  MPa;  $\nu_b = 0,166$
- Modul elastičnosti čelika:  $E_a = 199900$  MPa
- Modul reakcije podloge:  $k = 74$  MN/m<sup>3</sup>



Slika 2. Položaj opterećenja na uglu ploče uz rub cestovnog kolnika

Za proračun programom Robot 97 ploča je podijeljena na  $10 \times 14 = 140$  elemenata površine  $350 \times 350$  mm.

Dodirna površina kotača i kolnika

$$F = \frac{P}{p} = \frac{50.000}{0,7} = 71429 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

aproksimirana je kvadratom stranica

$$a = \sqrt{F} = 267,2 \text{ mm} \quad (2)$$

Postotak prijenosa opterećenja s opterećene ploče (A) na susjednu (B) određen je iz odnosa slijeganja jedne i druge ploče, uzevši (prema Winkleru) da je deformacija linearno proporcionalna opterećenju:

$$P_A + P_B = P$$

$$P_A : P_B = w_A : w_B$$

$$\frac{P_B}{P} = \frac{\frac{w_B}{w_A}}{1 + \frac{w_B}{w_A}} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

### 3 Utjecaj debljine ploče te profila i razmaka moždanika

#### 3.1 Ulazne veličine

Kao konstantna veličina u proračun se uvodi veličina otvora dilatacijske razdjelnice od 1 mm. Poznati izraz za dilataciju glasi:

$$\Delta L = \alpha \Delta t L \quad (4)$$

gdje je  $\Delta t$  [°C] promjena temperature. Za  $\Delta L = 1$  mm,  $L = 4900$  mm i  $\alpha = 1,0 \times 10^{-5}$  promjena temperature jest:

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{\alpha L} = 20^\circ \text{C} \quad (4.a)$$

Promjenjive veličine čiji se utjecaj istražuje u ovom poglavlju odabrane su s različitim vrijednostima:

- debljina kolničke ploče  $h_1 = 180$  mm,  $h_2 = 220$  mm i  $h_3 = 260$  mm; time su uz pretpostavku konstantne vrijednosti modula reakcije podloge  $k = 74 \text{ MN/m}^3$ , određene tri vrijednosti elastične duljine nosivog sklopa ploča - podloga prema izrazu

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{E_b \cdot h^3}{12(1 - \nu_b^2) \cdot k}} \quad (5)$$

$$L_{e1} = f(h_1) = 644 \text{ mm}$$

$$L_{e2} = f(h_2) = 749 \text{ mm}$$

$$L_{e3} = f(h_3) = 849 \text{ mm}$$

- profil moždanika :  $\varnothing 20$ ,  $\varnothing 25$  i  $\varnothing 32$  mm
- razmak moždanika:  $b_1 = 350$  mm.  $b_2 = 700$  mm.

Tablica 1. Postotak prijenosa opterećenja s opterećene ploče A na susjednu neopterećenu ploču B, ovisno o elastičnoj duljini sustava te profilu i razmaku moždanika, uz otvor dilatacijske razdjelnice od 1 mm

razmak moždanika [mm]	profil moždanika [mm]	površina presjeka moždanika [ $\text{mm}^2/\text{m}^2$ ]	postotak prijenosa opterećenja [%]		
			$h_1 = 180$ mm $L_{e1} = 643$ mm	$h_2 = 220$ mm $L_{e2} = 749$ mm	$h_3 = 260$ mm $L_{e3} = 849$ mm
350	20	898	39,3	40,5	43,5
	25	1402	41,3	42,6	43,5
	32	2298	41,3	42,6	43,5
700	20	449	33,9	37,0	39,0
	25	701	33,9	37,0	39,0
	32	1149	33,9	37,0	39,0

### 3.2 Rezultati i analiza rezultata proračuna

Rezultati proračuna prikazani su u tablici 1.

Iz podataka u tablici 1. vidi se:

- postotak prijenosa opterećenja na susjednu neopterećenu ploču raste s povećanjem elastične dužine sustava približno linearno, ali je porast zanemarive veličine
- razmak moždanika bitno utječe na postotak prijenosa opterećenja
- utjecaj profila moždanika unutar normalnih graničnih vrijednosti od  $\varnothing 20$  -  $\varnothing 32$  je praktički zanemariv.

## 4 Utjecaj veličine otvora dilatacijske razdjelnice

### 4.1 Dilatiranje betonske kolničke ploče

Za slučaj tzv. prividnih razdjelnica i radnih reški, otvaranje razdjelnice isključivo posljedica niže temperature od one pri kojoj je ugrađivan beton. Za prilike u Hrvatskoj može se kao najčešće prisutna temperatura ugradbe pretpostaviti  $t_u \cong +15^\circ\text{C}$ , a kao najniža zimska temperatura  $t_z \cong -20^\circ\text{C}$ , što daje razliku temperatura  $\Delta t \cong 35^\circ\text{C}$ . Uvrštenjem u izraz (4) dobiva se maksimalni otvor dilatacijske razdjelnice:

$$\Delta L = 1,0 \times 10^{-5} \times 35 \times 4900 = 1,72 \text{ mm} \quad (4.b)$$

Ova veličina vrijedi za prividne i radne razdjelnice. Za tzv. prostorne razdjelnice, koje se iz konstrukcijskih razloga izvode umetanjem uložaka od stišljivog materijala (primjerice stiropor), otvor razdjelnice iznosi, ovisno o namjeni razdjelnice, 5-20 mm.

### 4.2 Ulazne veličine

Kao konstante u proračun se uvode

debljina ploče:	$h = 220 \text{ mm}$
odnosno elastična duljina:	$L_e = 749 \text{ mm}$
te razmak moždanika:	$d_m = 350 \text{ mm}$

Promjenljive su veličine čiji se utjecaj istražuje:

- profil moždanika:  $\varnothing 20$  i  $\varnothing 25$  mm
- veličina otvora dilatacijske razdjelnice: od 0 do 20 mm

### 4.3 Rezultati i analiza rezultata proračuna

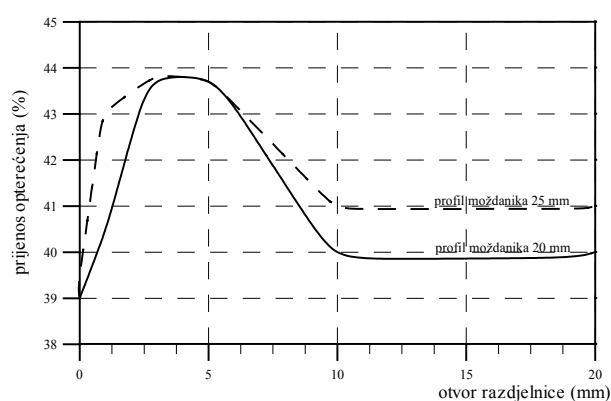
Rezultati proračuna prikazani su u tablici 2., te grafički na slici 3.

Iz tih se podataka vidi:

- uz razmak moždanika od 35 cm (3 kom./m<sup>2</sup>) nema bitne razlike primijene li se moždanici  $\varnothing 20$  ili  $\varnothing 25$  mm
- za sve veličine otvora s dilatacijske razdjelnice od 0 do 20 mm može se računati s prijenosom opterećenja od 40%.

**Tablica 2.** Postotak prijenosa opterećenja s opterećene ploče A na neopterećenu ploču B, ovisno o profilu moždanika i veličini otvora dilatacijske razdjelnice, uz debljinu ploče od 220 mm i razmak moždanika od 350 mm

otvor razdjelnice [mm]	postotak prijenosa $\varnothing$ moždanika 20 mm	prijenos opterećenja [%] $\varnothing$ moždanika 25 mm
0	39,0	39,0
1	40,5	43,0
3	43,7	43,8
5	43,7	43,7
10	40,0	41,0
20	40,0	41,0



**Slika 3.** Grafički prikaz prijenosa opterećenja ovisno o veličini otvora razdjelnice i profila

## 5 Zaključak

Povezivanjem ploča dilatiranoga betonskog kolnika s pomoću moždanika ili sidara može se ostvariti prijenos rubnog opterećenja jedne ploče na susjednu, što dovodi do redukcije naprezanja u ploči u odnosu na slučaj da veze nema. Sa sigurnošću se može računati na prijenos od 40% opterećenja, odnosno redukciju naprezanja (izračunanih prema izrazu Westergaarda) za isti postotak. Uloga veličine elastične dužine nosivog sustava kolnik – podloga pritom je zanemariva. Za navedeni postotak prijenosa opterećenja moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

1. Razmak moždanika ili sidara ne smije biti veći od 30-35 cm.
2. Treba ugrađivati moždanike od glatkoga betonskog čelika  $\varnothing 22$  ili  $\varnothing 25$  mm; za sidra tome odgovara rebrasti čelik  $\varnothing 19$  mm. Ugradba manjih profila smanjuje postotak prijenosa opterećenja, dok ga veći profili ne povećavaju pa nema opravdanja za višu cijenu.
3. Za sve otvore dilatacijskih razdjelnica koji se pojavljuju u praksi može se, uz uvjete navedene u točka-

ma 1. i 2., sa sigurnošću računati na prijenos opterećenja od 40%, čime se razlika naprezanja zbog opterećenja na sredini i smoždenom (ili sidrenom) rubu svodi na svega 10%.

4. Uz kolnik bi trebalo izvesti betonski rubni trak i povezati ga s kolnikom na isti način kako se ploče kol-

nika povezuju međusobno, da bi se i na rubu kolnika postigao prijenos opterećenja (prema tome i redukcija naprezanja) od oko 40%. Pritom je bez sumnje važna i širina rubnog traka. Istraživanje utjecaja širine rubnog traka na postotak prijenosa opterećenja bit će predmet daljnje obrade ovog problema.

#### IZVORI

- [1] Westergaard, H. M.: *Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis*, Public Roads 7 (1926) 2, pp. 25.-35.
- [2] Eisenmann, J.; *Betonfahrbahnen*, W. Ernst u. Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1979.
- [3] Chou, Yu T.: *Estimating Load Transfer from Measured Joint Efficiency in Concrete Pavements*, Transportation Research Record 1482, Washington, 1987.
- [4] Tsohos, G.; Kaziolas, D. N.; Baniotopoulos, C. C.; Panagiotopoulos, P. D.: *Analysis of the Response of Concrete Pavement Slabs Jointed by Dowel Bars*, 8<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Lisbon, Portugal (1998) 3, pp 31.-36.
- [5] Gschwendt, I.: *Joint Load Transfer Testing*, 8<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Lisbon, Portugal (1998) 3, pp 37.-42.