

ANTUN STIPETIĆ, dipl. inž.
ŽTP - Željeznički transport
Zagreb

Tehnika i sigurnost prometa
Izvorni znanstveni rad
UDK: 625.143

Primljeno: 22.06.1989.

Prihvaćeno: 27.06.1989.

ELASTIČNI PRIČVRŠNI SKLOP TRAČNICE I NJEGOVA PRIMJENA

SAŽETAK

U članku je obrađen elastični pričvrtni sklop tračnice i njegova primjena. Elastični pričvrtni sklop odnosno dvostruko elastično pričvršćenje ima niz prednosti u primjeni u odnosu prema dosadašnjem krutom pričvršćenju "K". Prednosti toga pričvršćenja naročite su pri velikim brzinama koje zahtijevaju neprekinuto zavareni kolosijek na betonskim pragovima.

1. UVOD

Danas u svijetu postoji mnogo različitih načina pričvršćenja tračnica na pragove. Mjerenja vibracija i ubrzanja koja vozila izazivaju u elementima željezničkog kolosijeka pokazala su da postoje visokofrekventne vibracije tračnica i pragova. Smatra se da su te vibracije jedan od uzroka bržeg popuštanja spojnog pribora i razaranja veze pričvršćenja tračnice na pragu.

Ispitivanja s pomoću suvremenih mjernih instrumenata omogućila su bolji uvid u intenzivnost dinamičkih opterećenja koja u postojećoj tehnologiji željezničkog prometa nastaju u elementima kolosijeka. Dobiveni rezultati pokazali su da za smanjenje vibracija u kolosijeku nije dovoljno da vozilo bude opremljeno sistemom gibnjeva i amortizera nego je potrebno da i pričvrtni sklop tračnice bude elastičan.

U ovom radu obradit ćemo elastični pričvrtni sklop tračnice i mogućnost njegove primjene.

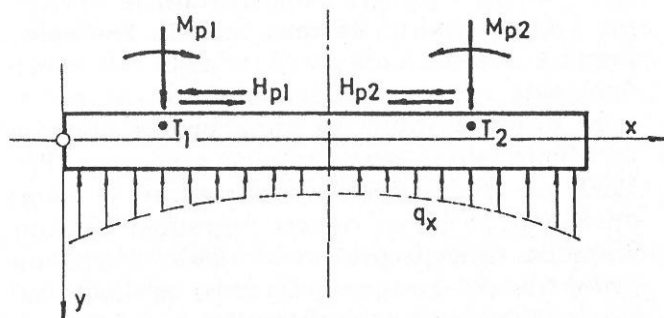
2. DINAMIČKO PONAŠANJE ŽELJEZNIČKOG KOLOSIJEKA

Kotači prenose na tračnice svojim kružnim kotrljanjem vertikalni pritisak težine vozila te uzdužne i bočne vodoravne sile, a kao produkt koeficijentata trenja između kotača i tračnica te uzdužnih i bočnih sila na dodirnoj površini vijenaca kotača i tračnica.

Najveći udio horizontalnih bočnih sila na glavu tračnice dolazi međutim od djelovanja vijenaca kotača.

U kružnim lukovima, uz teoretski idealno geometrijsko stanje, na vanjsku tračnicu djeluje horizontalna bočna sila od nepo- ništena dijela bočnog ubrzanja te od sile vođenja.

Opći slučaj djelovanja sila na prag pri ulasku vozila u zakrivljeni dio kolosijeka prikazujemo shemom (slika 1).



Slika 1. Shema sila koje djeluju na prag

- F_{p1} i F_{p2} - vertikalna dinamička opterećenja tračnica na prag
- H_{p1} i H_{p2} - horizontalna dinamička poprečna opterećenja tračnice na prag
- M_{p1} i M_{p2} - spregovi sila izazvani uvijanjem tračnice koje nastaje zbog djelovanja kotača na tračnicu
- T_1 i T_2 - horizontalne uzdužne sile trenja
- q_x - specifični otpor podložnog sloja

Djelovanjem tih opterećenja tračnice se savijaju u dvije međusobno okomite ravnine (vertikalnoj i horizontalnoj), a zbog ekscentričnog djelovanja sila tračnice se uvijaju.

U ovakvom razmatranju tračnicu smatramo beskonačno dugačkim nosačem postavljenim na elastične oslonce, koji je prostorno savijan i uvijan navedenim silama.

Jedan od temeljnih i najosjetljivijih problema definiranje je oslonca tračnica, u kojeg vrlo male promjene mogu da sasvim izmijene način rasporeda sila i naprezanja željezničkog kolosijeka.

Nadalje se smatra da se vertikalna opterećenja prenose putem kontaktne površine, a ona se obično zamijene jednom silom. U

dinamičkim uvjetima tu silu povećavamo od nule do neke konačne vrijednosti. Stvarni su uvjeti drukčiji budući da se u zonama doticaja dvaju elastičnih tijela pojavljuju vrlo složene fizikalne, mehaničke i kemijske pojave, koje rezultiraju različitim konačnim učincima.

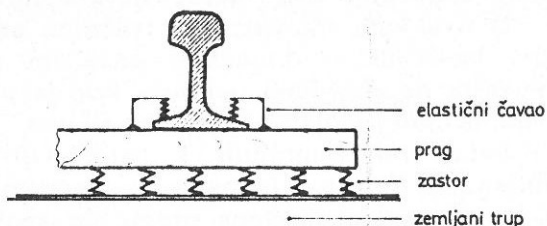
3. PRIČVRŠĆENJE TRAČNICA S OBZIROM NA STUPANJ ELASTIČNOSTI

Pričvršćenje tračnica s obzirom na stupanj elastičnosti može biti:

- "kruto", u kojeg nema elastične slobode ni prema gore ni prema dolje;
- "poluelastično", u kojeg postoji jedan stupanj slobode: prema gore (slika 2);
- "dvostruko elastično", u kojeg postoje u vertikalnom smjeru dva stupnja slobode: prema gore i prema dolje (slika 3).

"Kruta" pričvršćenje nastalo je u vrijeme kad se mislilo da veza između tračnice i praga treba da bude što kruća. U takva pričvršćenja nema elastične slobode ni prema gore ni prema dolje te zbog prometnog opterećenja labavi veza tračnice s pragom. Pritisak na tračnicu odozgo osiguran je samo određeno vrijeme nakon ugradbe. Tokom vremena nastaju praznine, udarci i trošenje pričvršćenja i pragova. Da se to spriječi, takvo pričvršćenje poboljšavano je ugradbom elastičnih elemenata: elastičnih prstenova (grovera), drvenih podložaka, ispod tračnica, elastičnih kopči na rebrastoj podložnoj pločici itd. Međutim, sve te promjene samo su smanjile troškove održavanja pri ponovljenom zatezanju tirfona i kukastih vijaka, ali nisu promijenile osnovne konstruktivne karakteristike "krutog" pričvršćenja.

"Poluelastično" pričvršćenje tračnica za pragove osigurava trajni pritisak elastičnog elementa (elastičnog čavla ili elastične pričvršne pločice) na nogu tračnice te na taj način sprečava da između tračnica i praga nastaju praznine a time i dinamički udarci po pragu.



Slika 2. "Poluelastično" pričvršćenje tračnice

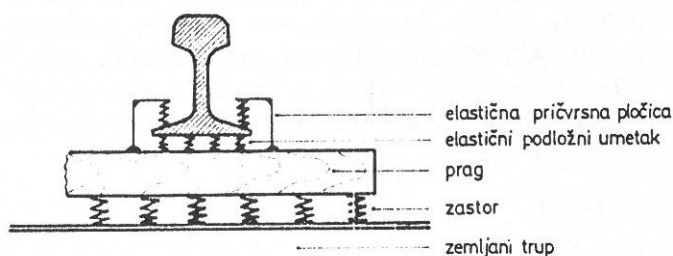
U takva pričvršćenja masa tračnice koja vibrira pri prolazu vlakova ima jedan stupanj

slobode prema gore, a nju omogućuje elastični krak čavla ili elastična pričvršna pločica.

Takvo pričvršćenje štiti prag i osigurava da ispod noge tračnice odnosno ispod podložne pločice ne nastanu praznine, ali ono ne prigušuje vibracije tračnica koje se onda prenose na zastor i zemljani trup.

U "dvostruko elastičnog" pričvršćenja tračnice za pragove osiguran je stalan elastični pritisak na tračnicu pa je onemogućeno nastajanje praznina, dakle i udaraca. Elementi su tako prilagođeni da mogu djelotvorno amortizirati vibracije tračnica odozgo i odozdo (slika 3).

Naravno da u ukupnom amortiziranju izazvanih vibracija sudjeluju također elastična svojstva praga, zastora i pružnog tijela.



Slika 3. "Dvostruko elastično" pričvršćenje tračnice

U takva pričvršćenja masa tračnice koja vibrira ima dva stupnja slobode (prema gore elastična pričvršna pločica, a prema dolje elastični gumeni podložak ispod noge tračnice). Za dobro djelovanje takva pričvršćenja potrebno je osigurati odgovarajući odnos modula elastične pričvršne pločice i gumenog podloška.

4. "KRUTO" PRIČVRŠĆENJE TRAČNICA NA PRAGOVE

Jedan od najstarijih načina "krutog" pričvršćenja tračnice na drvene pragove izvođen je s pomoću običnih čavala.

Osim čavala tračnice su se pričvršćivale na pragove s pomoću tirfona.

Da bi se smanjio specifični pritisak tračnice na podlogu, počele su se ugrađivati podložne pločice između tračnice i praga.

Na našim prugama s drvenim pragovima ugrađuje se pričvršni pribor tipa "K". Taj pribor sastoji se od rebraste podložne pločice koja je s pomoću četiri tirfona pričvršćena na pragove.

U pogledu elastičnih svojstava pričvršni pribor "K" prema današnjim se kriterijima ne smatra dovoljno elastičan, a u usporedbi s drugim elastičnim pričvršćenjima većina ga stručnjaka naziva "krutim".

Pričvršćeni pribor tipa "K" nije posve

krut. Određenu elastičnost pruža mu dvostruki elastični prsten kao i topolov podložak koji se umeće između tračnice i podložne pločice.

Pod prometnim opterećenjem zbog velikog broja elemenata labavi takvo pričvršćenje, deformira se i topolov podložak. Zbog velike osjetljivosti dvostruko elastičnog prstena (pri smanjenju elastičnog hoda opruge za 0,85 mm sila pritezanja opada za 20 kN) u toku eksploatacije drastično se smanjuju sile pritiska. S druge strane dvostruko elastični prsten elastičan je do određene granice, tj. dok se navoji ne dodirnu. Dodirom navoja prestaje elastičnost i sistem postaje potpuno krut. Zbog toga je pri održavanju kolosijeka potrebna posebna preciznost da bi se postigla pravilna pritegnutost pričvrstnog pribora.

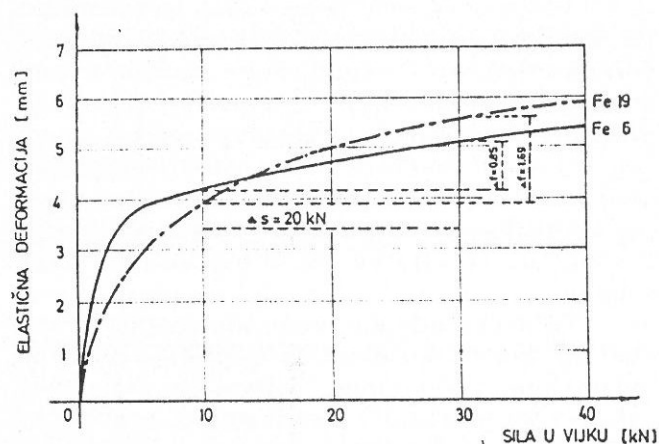
Zbog velike osjetljivosti dvostruko elastičnog prstena na elastičnu deformaciju pristupilo se ugradbi trostrukih elastičnih prstena (Fe 19) koji su znatno povoljniji od dvostrukog prstena DŽ-70.

Na slici 4. prikazan je dijagram elastične deformacije dvostrukog (Fe 6) i trostrukog (Fe 19) elastičnog prstena u ovisnosti o sili u vijku ili tirfonu.

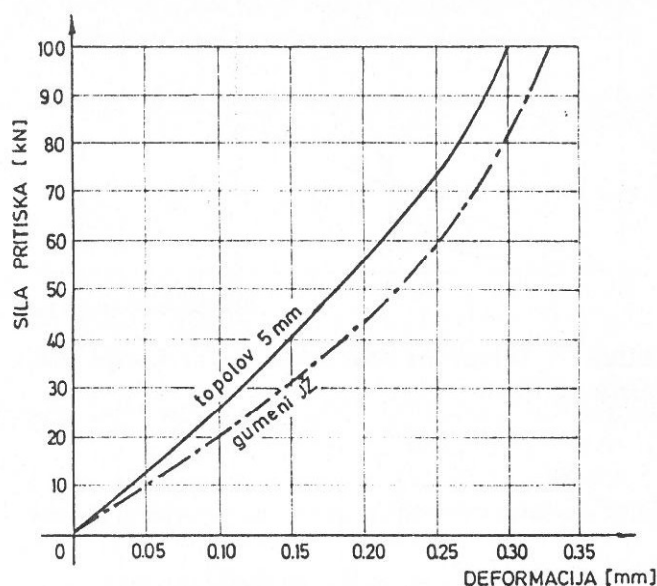
Za razliku od dvostrukog odnosno trostrukog elastičnog prstena, topolov podložak ispod noge tračnice ne doprinosi povećanju elastičnosti jer posjeduje samo statičku elastičnost. Topolov se podložak nakon rastećenja veoma sporo vraća u prvotni oblik i ne može slijediti visokofrekventne vibracije tračnica, pa čitav sistem nema svojstvo amortizera.

Na slici 5. prikazan je dijagram deformacije topolovih i žljebastih gumenih umećaka pod statičkim opterećenjem.

Međutim, valja napomenuti da drvo a ni podložak od pune gume ne mogu slijediti dinamičko vibracijsko djelovanje tračnice. Te



Slika 4. Dijagram elastičnih deformacija elastičnih



Slika 5. Dijagram deformacije umetka

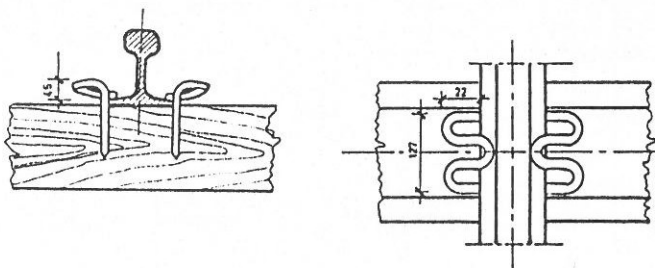
vibracije može slijediti žljebasti gumeni podložak ako su njegova debljina, presjek i razmak žljebova te kemijska svojstva gume u određenom odnosu prema ostalim elastičnim elementima.

5. ELASTIČNO PRIČVRŠĆENJE TRAČNICA

Elastično pričvršćenje koje se danas primjenjuje uglavnom se obavlja elastičnim čavlima, elastičnim kopčama i pričvršćenjem tipa "K", u kojeg je kruta pričvrtna pločica zamijenjena kopčama.

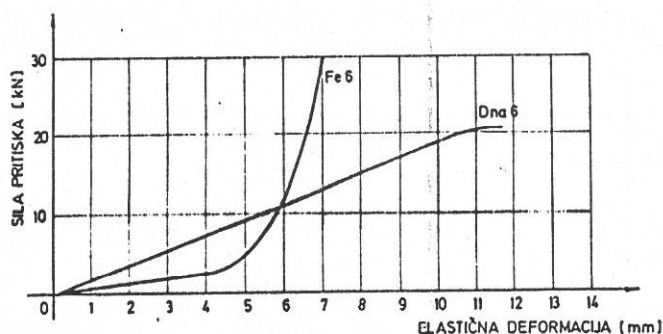
Elastični čavli primjenjuju se u slabije opterećenih pruga. Otporni su na čupanje, ali imaju malen otpor prema bočnim silama. Različitih su oblika. Budući da pružaju malen otpor prema bočnim silama, potrebno ih je u lukovima polumjera manjeg od $R = 1000$ m ugrađivati s podložnom pločicom.

Na slici 6. prikazan je oblik elastičnog čavla tipa Dna 6, a dijagram njegove elastične deformacije na slici 7.

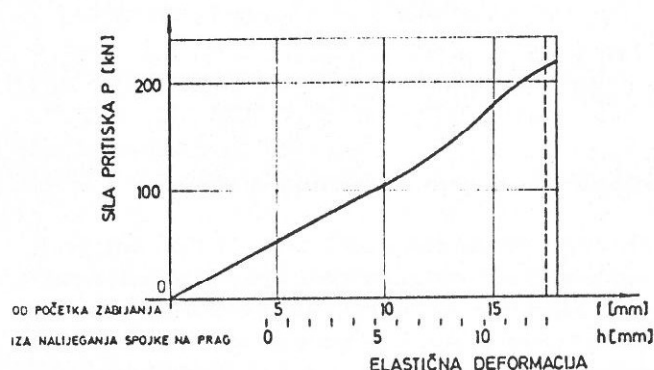


Slika 6. Elastični čavao tipa Dna 6

Jedno od boljih rješenja jednostruki je elastični čavao ES-18 i dvostruki elastični čavao DS-18. Dvostruki elastični čavao tipa DS-18 ugrađen je na nekim našim prugama.



Slika 7. Dijagram elastične deformacije elastičnog čavla



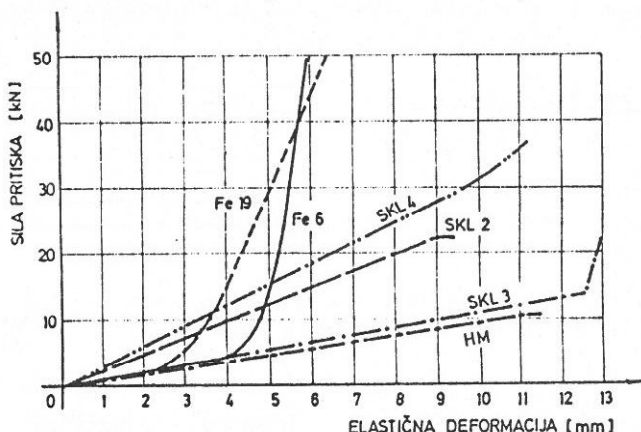
Slika 8. Dijagram elastične deformacije opruge elastičnog čavla DS-18

Kako je na slici 8. vidljivo elastični čavao DS-18 ima velik elastični put opruge od 12,5 mm. Prema provedenim ispitivanjima sila na čupanje u takva pričvršćenja iznosi 38 kN.

Zadnjih godina njemačke željeznice uvele su novo pričvršćenje tračnica na rebrastu podložnu pločicu s pomoću elastičnih kopči, koje zamjenjuju dosadašnje krute pričvrstne pločice i kukaste vijke na pričvršćenju "K".

U tu grupu pripada pričvršćenje HM, pričvršćenje SKL-2, pričvršćenje SKL-3, pričvršćenje SKL-4, pričvršćenje K-Flex i pričvršćenje DE.

Na slici 9. prikazani su dijagrami elastične deformacije ovisno o sili pritiska u



Slika 9. Dijagrami elastične deformacije za razne vrste pričvršćenja

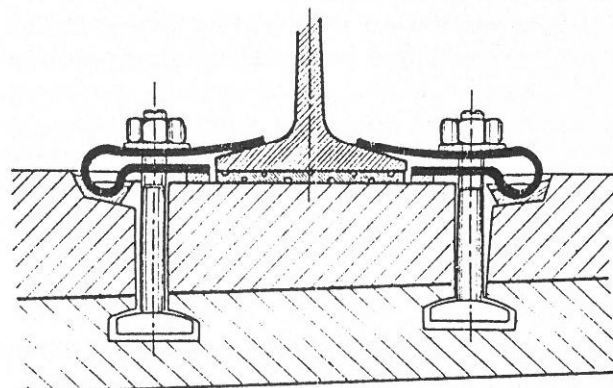
pričvršćenja HM, SKL-2, SKL-3 i SKL-4 u odnosu na dvostruko elastični Fe 6 i trostruko elastični Fe 19 prsten u "K" pričvršćenja.

Elastične kopče omogućuju da se "K" pričvršćenje s pomoću rebrastih podložnih pločica poboljša i pojednostavi. Elastične karakteristike pričvrstnih kopči povoljne su jer osiguravaju trajnu silu pritiska na nožicu tračnice. Ugradbom pričvrstnih kopči povećava se elastičnost pričvršćenja "K", pojednostavnjuje održavanje kolosijeka i smanjuju troškovi održavanja.

6. "DVOSTRUKO ELASTIČNO" PRIČVRŠĆENJE TRAČNICA

"Dvostruko elastično" pričvršćenje počelo se ugrađivati na francuskim željeznicama na drvenim i betonskim pragovima.

U takva pričvršćenja, na betonskim pragovima, tračnica je pritisnuta s gornje strane s dvije elastične pričvrstne pločice. Pričvrstne pločice pritežu se s pomoću stojećih "kukastih" vijaka koji su usidreni u utorima čeličnih spojnih motki na dvodijelnim betonskim pragovima.



Slika 10. Dvostruko elastično pričvršćenje tračnica

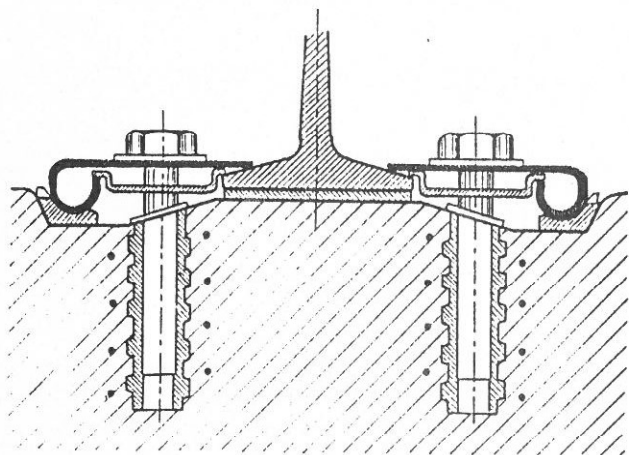
To pričvršćenje dvostruko je elastično jer se odozgo nalazi čelična elastična pričvrstna pločica, a ispod noge tračnice postavljen je gumeni žljebasti podložak koji je položen neposredno na beton praga.

Gumeni podložak ima veliko elastično svojstvo, te gotovo potpuno amortizira utjecaj krute betonske podloge praga, a žljebovi omogućuju elastične deformacije za duže vrijeme.

Polazeći od osnovnih koncepcija francuskog dvostruko elastičnog pričvršćenja na betonskim pragovima, japanske željeznice također su pristupile izradi novog pričvršćenja na pruzi Tokaydo.

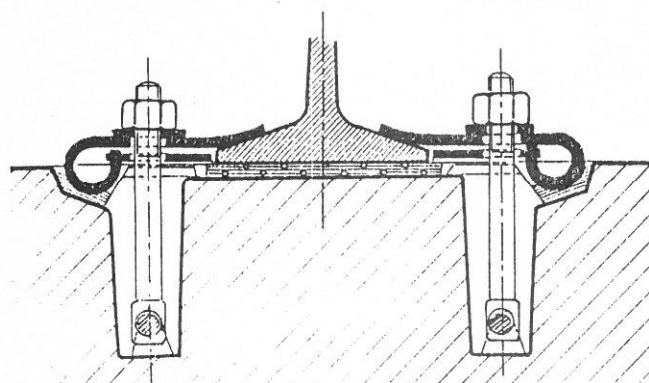
Na slici 11. prikazano je japansko dvostruko elastično pričvršćenje tipa SSK (Su-

mitimo Shoji Kaisha), koje je ugrađeno na pruzi Tokaydo. To pričvršćenje oblikom je slično francuskom pričvršćenju RN.



Slika 11. Japansko dvostruko elastično pričvršćenje tračnica

Na slici 12. prikazan je oblik dvostrukog elastičnog pričvršćenja ZEL. 8, koje se 70-tih godina pokusno primjenjivalo na našim prugama.



Slika 12. Dvostruko elastično pričvršćenje tipa ZEL. 8

Pričvršćenje tračnica na betonskim pragovima ZEL.8 dvostruko je elastično jer se ispod noge tračnice nalaze žljebasti gumeni podlošci, a odozgo nogu tračnice pritišću dvije elastične pričvršne pločice. Takva veza tračnice s pragom trajna je i dvostruko elastična. U takva pričvršćenja:

- osigurana je trajna i kontinuirana elastična veza tračnice s pragom;
- brzo i efikasno prigušuju se visokofrekventne vibracije tračnice i praga za vrijeme prolaza vlakova;
- osiguran je bočni oslonac sa svake strane nožice tračnice, a time je osigurana i širina kolosijeka;
- osiguran je dovoljan i trajan uzdužni otpor tračnice po pragu, a i potrebna krutost čvora kolosiječne rešetke;

- na pragove, a preko njih na zastor i planum ne prenašaju se udarci;
- amortizirajuće i elastično djelovanje ovog pričvršćenja visinsko je i bočno, pa se time smanjuju deformacije nivele i smjera kolosijeka.

7. ZAKLJUČAK

Uspoređujući dvostruko elastično pričvršćenje s drugim pričvršćenjima možemo utvrditi da dvostruko elastično pričvršćenje ima znatne prednosti u odnosu prema drugim pričvršćenjima.

Izradom dvostrukog elastičnog pričvršćenja učinjen je vidan napredak u tehnici gornjeg stroja, a u skladu s razvojem modernizacije i racionalizacije željeznica.

Prednosti dvostrukog elastičnog pričvršćenja tračnica naročito su izražene pri velikim brzinama koje zahtijevaju neprekinuto zavareni kolosijek s betonskim pragovima.

Provedena ispitivanja pokazala su određene rednosti dvostrukog elastičnog pričvršćenja u odnosu prema krutom pričvršćenju "K". Te su prednosti: smanjenje vibracija i ubrzanja koja se pojavljuju pod prometnim opterećenjem, povećanje stabilnosti kolosijeka, povećane uzdužnog otpora klizanja tračnice po pragu, povećanje otpora koji nastaje u čvoru kolosiječne rešetke, smanjenje održavanja kolosijeka te posebno smanjenje težine pričvršnog pribora za 67%.

Ugradnjom elastičnih pričvršnih kopči K-SKL.2 znatno je pojednostavnjeno i poboljšano postojeće pričvršćenje "K", ali tom ugradbom nije bitno smanjena težina pričvršnog pribora po jednom pragu.

SUMMARY

FLEXIBLE TRACK FASTENING AND ITS UTILIZATION

This paper deals with the flexible track fastening and its utilization. The flexible track fastening element i.e. double track fastening exhibits a variety of advantages in utilization over the up-to-date fixed K fastening. The advantages of this fastening are particularly expressed at high speeds requiring a continuous welded track on concrete sleepers.

LITERATURA

- [1] F. BIRMAN: Gleisgeometrie und konstruktion des Oberbaus von Schnellfahrstrecken. ETR 12/1968.
- [2] T. BOSANAC, A. VUČETIĆ: Mjerenja i analiza vibracija proizvedenih prometnim opterećenjem u ele-

mentima različitih tipova gornjeg stroja. Simpozij o suvremenom željezničkom kolosijeku, JAZU, Zagreb, 1968.

- [3] **J. BOŽIČEVIĆ:** Dvostruko elastično pričvršćenje na novim jugoslavenskim betonskim pragovima. *Željeznički vjesnik* 5-6/1967.
- [4] **J. BOŽIČEVIĆ:** Osnovne tehnike gradnje željezničkih prometnica. Zagreb, 1977.
- [5] **M. CASSE:** La influence de divers systemes d'attache rail - traverse sur la rigidite' transversale du châssis de voie. *Revue Générale des chemins de fer* 9/1958.
- [6] **F. FASTENRATH:** Der Oberbau auf Schnellfahr - strecken und seine Erhaltung. *ETR* 12/1974.
- [7] **N. KOMPANJECEV:** Utjecaj dvostruko elastičnog pričvršćenja tračnica na betonskim pragovima na naprezanje tračnica usljed savijanja pod prometnim opterećenjem. *Željeznice* 8/1973.
- [8] **O. MUFTIĆ:** Granično opterećenje pričvrstne pločice sklopa pričvršćenja željezničke tračnice za betonski prag u elastičnom i plastičnom području. *Strojarstvo* 5-6/1968.
- [9] **M. POZNIĆ:** Elastični pričvrtni pribori na betonskim pragovima sa posebnim osvrtom na domaći pričvrtni pribor ZEL. *Željeznice* 7-8/1974.
- [10] **PRUD, M.A. HOMME:** La circulation à grande vitesse et les problemes de la voie. *Revue Générale des Chemins de fer* 3/1966.
- [11] **G. SCHRAMM:** Oberbahntechnik und Oberbau - wirtschaft. Darmstadt, 1960.
- [12] **G.M. ŠAHUNJANC:** *Železnodoroznyj put.* Moskva 1961.