

GRADEVINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU
KATEDRA ZA TEHNIČKU MEHANIKU I TEORIJU KONSTRUKCIJA

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING OF THE UNIVERSITY OF BELGRADE
CHAIR FOR TECHNICAL MECHANICS AND THEORY OF STRUCTURES



TEORIJA KONSTRUKCIJA
MONOGRAFIJA
POSVEĆENA USPOMENI NA POKOJNOG AKADEMIKA
PROF. DR MILANA ĐURIĆA

THEORY OF STRUCTURES
MONOGRAPH
DEDICATED TO THE MEMORY OF LATE ACADEMICIAN
PROFESSOR DR MILAN DJURIC

UREDNIK / EDITOR
Đorđe Vuksanović

Beograd
2008

Stanko ĆORIĆ

ANALIZA UTICAJA VIBRACIJA VOZA NA KONSTRUKCIJU METROA

ANALYSIS OF TRAIN VIBRATIONS IN UNDERGROUND RAILWAY STRUCTURE

Stanko Ćorić, dipl. grad. inž., asistent Građevinskog fakulteta u Beogradu.

Rođen je 1974. godine. Diplomirao je 1999. godine na Građevinskom fakultetu u Beogradu. Asistent je na predmetu Tehnička mehanika 1 i 2. Sekretar je Katedre za Tehničku mehaniku i teoriju konstrukcija.

Rezime

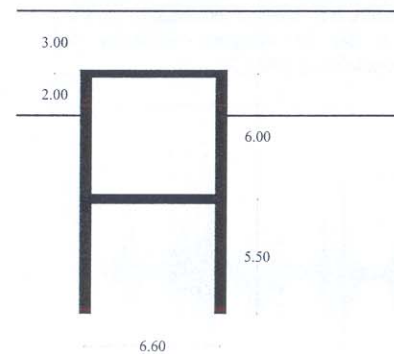
U okviru ovog rada prikazana je dinamička analiza ispitivanja mogućnosti smanjenja vibracija nastalih usled prolaska vozova između dijafragmi koje čine konstrukciju metroa. Pokazano je kako se ugradnjom elastomera maksimalne vibracije konstrukcije metroa mogu smanjiti i nekoliko puta.

Summary

This paper presents how it is possible to decrease vibrations in underground structures. These vibrations appear as the result of dynamic effect of the train loading over the rails. It is shown by dynamic analysis, that use of elastomer is very important in engineering practice, because it's use makes vibrations smaller than without elastomer.

1. Uvod

Podzemna konstrukcija metroa, koja je razmatrana u ovom radu, prikazana je na slici 1.



Slika 1. Konstrukcija metroa

Ona predstavlja primer tipične konstrukcije kakva je građena u Beogradu poslednjih decenija dvadesetog veka. Sa slike se može videti da su dimenzije armirano-betonskog tunela 6.0 x 6.0m, a da je dubina fundiranja 9.0m. Armirano-betonske dijafragme su debljine 60cm, a njihova dužina je 11.5m. Fundiranje je izvršeno u tlu koje je tipično

za područje Beograda. Gornji sloj visine 5.0m je les, ispod koga se nalazi sloj žuto-mrkih laporovitih glina, čije su karakteristike date na slici 1.

2. Dinamička analiza

U ovom radu je prikazano kako se dinamička analiza može koristiti u jednom praktičnom inženjerskom problemu. Cilj ove analize je ispitivanje mogućnosti smanjenja dinamičkih uticaja, tj. vibracija, izazvanih prolaskom voza.

Osnovno kod svake dinamičke analize je utvrđivanje dinamičkog opterećenja. U ovom slučaju radi se o veoma složenom dinamičkom opterećenju koje nastaje usled prolaska voza. Ekipe stručnjaka Beogradskog Univerziteta (Elektrotehničkog, Rudarsko-geološkog i Građevinskog fakulteta) izvršila je eksperimentalna merenja u toku 1998. godine. Mereno je dinamičko opterećenje voza po gornjem stroju (šini) na peronu nove železničke stanice "Prokop" u Beogradu. Meren je prolazak kompozicije "Beovoz"-a. Rezultati ovih istraživanja dati su u vidu vremenskog zapisa koji traje 14.75 sekundi, sa 6615 vrednosti ordinata koje su određivane u vremenskom intervalu $\Delta t =$

0.0023 sec. Taj zapis je korišćen u ovom radu pri dinamičkoj analizi. Funkcija zapisa je prikazana na slici 2.



Slika 2. Dinamički zapis opterećenja

Dinamički proračun u ovom radu je obavljen korišćenjem programa SAP 2000. Ovaj program koristi metodu konačnih elemenata pri dinamičkoj analizi. Osnovna dinamička jednačina metode konačnih elemenata glasi:

$$M \cdot \ddot{y} + C \cdot \dot{y} + K \cdot y = P(t) \quad (1)$$

gde su:

y, \dot{y}, \ddot{y} – vektori pomeranja, brzine i ubrzanja,

M – matrica masa,

C – matrica prigušenja,

K – matrica krutosti i

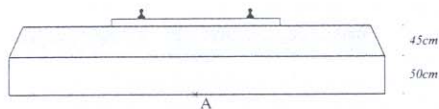
$P(t)$ – vektor dinamičkog opterećenja.

U svetu, kao jedana od najboljih metoda za smanjivanje negativnih uticaja vibracija, je ugrađivanje elastomera. Elastomeri su kompozitni materijali napravljeni od gume i sintetičkih materijala.

U ovom radu su prikazane dve vrste dinamičke analize. Prvo su analizirane vibracije gornjeg stroja metroa bez elastomera, a kasnije i slučaj kada su elastomeri ugrađeni.

2.1. Analiza vibracija bez korišćenja elastomera

Standardno rešenje gornjeg stroja prikazano je na slici 3.



Slika 3. Šema gornjeg stroja

Primenom metode konačnih elemenata zastor i betonska ploča modelirani ravanskim (asolid) elementima, dok su prag i tlo modelirani linijskim (frame) elementima.

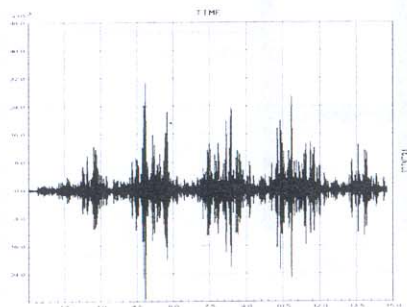
Vibracije se prenose sa voza na šine, a zatim na zastor, betonsku ploču i tlo. Kao što je poznato iz teorije izolacija vibracija, intezitet vibracija zavisi i od karakteristika tla, i to pre svega onog tla koji se nalazi neposredno ispod opterećenja. Zato je tlo, u ovom slučaju, prikazano pomoću elastičnih oslonaca čije su karakteristike određene zadavanjem jediničnih sila na mestu oslanjanja betonske ploče na tlo.

Za usvojen dinamički model sa slike 3, prvo je obavljena dinamička analiza slobodnih oscilacija. Vrednosti frekvencija za prvih pet tonova oscilovanja date su u tabeli 1.

Tabela 1.

Ton	Period (s)	Kruž. Frekv. (rad/s)	Frekvencija (Hz)
1	0.01366	460.07	73.222
2	0.00452	1391.07	221.396
3	0.00272	2291.48	364.670
4	0.00169	3714.83	591.234
5	0.00134	4704.19	748.695

Prinudne oscilacije usled prolaska voza izazivaju značajne vibracije koje se prenose sa šine na tlo. Kao rezultat dinamičkog proračuna prema jednačini (1), dobijene su vrednosti pomeranja, brzine i ubrzanja svih čvorova dinamičkog modela. Na slici 4 dat je dijagram oscilacija za karakterističnu tačku A (slika 3).

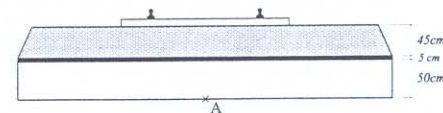


Slika 4. Oscilacije tačke A

Sa slike se može konstatovati da je maksimalno pomeranje ove tačke $v = 3.19$ cm i da nastaje u trenutku $t = 4.86$ sec. Horizontalna pomeranja su mala, i u odnosu na vertikalna pomeranja se mogu zanemariti.

2.2. Analiza vibracija uz primenu elastomera

Kao što je već napred navedeno, u cilju smanjenja vibracija, u praksi se često koriste elastomeri. U ovom radu je prikazana upotreba elastomera ISOLGOMA TIP M40AV italijanske proizvodnje, koji su ugrađeni i na novoj železničkoj stanici „Prokop” u Beogradu. Njihova debljina je 5 cm, a dinamički modul elastičnosti iznosi $K=62.8$ N/cm³. Šema gornjeg stroja u ovom slučaju prikazana je na slici 5, gde se vidi da se elastomer postavlja između zastora i betonske ploče.



Slika 5. Šema gornjeg stroja sa ugrađenim elastomerom

Numerički model u ovom slučaju je isti kao ranije, jedino što je elastomer modeliran frame konačnim elementom. Njihova površina je određena na osnovu poznatog dinamičkog modula elastičnosti.

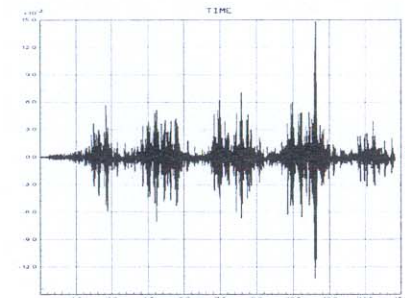
Iz rezultata koji se odnose na slobodne oscilacije očigledno je došlo do značajnog pada vrednosti sopstvenih frekvencija. To znači da je primenom elastomera sistem postao znatno „mekši”. Vrednosti frekvencija za prvih pet tonova oscilovanja date su u tabeli 2.

Tabela 2.

Ton	Period (s)	Kruž. Frekv. (rad/s)	Frekvencija (Hz)
1	0.02774	226.49	36.047
2	0.00924	679.98	108.221
3	0.00537	1169.47	186.126
4	0.00428	1469.01	233.799
5	0.00362	1733.96	275.968

Za slučaj prinudnih vibracija usled prolaska voza, dinamička analiza pokazuje da dolazi do

značajnog smanjenja vibracija koji se prenose na tlo, što je posledica promene krutosti sistema. Dijagram pomeranja, za već posmatranu tačku A, prikazan je na slici 6.



Slika 6. Oscilacije tačke A kada je ugrađen elastomer

Sa slike se vidi da maksimalno pomeranje iznosi $v = 1.48$ cm i da nastaje u trenutku $t = 11.43$ sec.

Odavde se može zaključiti da je došlo do smanjenja vibracija (u odnosu na prvi slučaj bez elastomera) za $3.19/1.48 = 2.15$ puta.

4. Zaključak

Dinamička analiza sprovedena u ovom radu je pokazala da je primena elastomera korisna, zato što se mogu postići značajni efekti u smanjenju vibracija. Za dinamičko opterećenje koje izaziva „Beovoz”, a za usvojenu konstrukciju gornjeg stroja, došlo je do smanjenja vibracija oko 2.15 puta.

5. Literatura

- [1] Studija – Merenja i numerička analiza vibracija na Željezničkoj stanici „Prokop” – Beograd, 1999.
- [2] Diplomski rad, Stanko Čorić – Beograd, 1999.
- [3] Dinamika diskretnih sistema, Stanko Brčić – Beograd, 1998.

CIP - Каталогизacija y пyбликацији
Народна библиотека Србије, Београд

624.04 (082)
624.929 Ђурић М.
012 Ђурић М.

TEORIJA konstrukcija: monografija
posvećena uspomeni na pokojnog akademika
prof. dr Milana Đurića = Theory of Structures
: monograph : dedicated to the memory of late
academician professor dr Milan Djuric /
editor Đorđe Vuksanović. - Beograd :
Građevinski Fakultet Univerziteta, Katedra za
tehničku mehaniku i teoriju konstrukcija:
Faculty of Civil Engineering of the
University, Chair for Technical Mechanics and
Theory of Structures. 2008 (Beograd :
Dedraplast) . - 239 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku - Slika M.
Đurića. - Tiraž 500. - Str. 7 : Predgovor /
Đorđe Vuksanović. - Bibliografija uz svaki
rad. - Summaries.

ISBN 978-86-7518-074-6

1. Вуксановић , Ђорђе [уредник] [аутор
додатног текста]

a) Ђурић, Милан (1920-) Биобиблиографије

b) Грађевинске конструкције - Зборници

COBISS . SR - ID 154686732