

ДЕФОРМАЦИЈЕ ТУНЕЛА У ПОДУЖНОМ ПРАВЦУ УСЛЕД ДЕЈСТВА ЗЕМЉОТРЕСА

Драган Лукић¹
Мила Свилар²
Александар Прокић³

УДК: 624.19:624.042.7

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.122

Резиме: У раду је приказан један пример прорачуна дејства земљотреса у подужном правцу, кружног тунела, узимајући конкретан пример земљотреса магнитуде 6.5 (Friuli, Italy). За прорачун је коришћен програмски пакет ABAQUS. Нумеричка анализа утицаја је извршена на основу претпоставки да се ради о плитко положеном кружном тунелу у хомогеној и изотропној стенској маси.

Кључне речи: Кружни тунел, аксијалне деформације, земљотрес, стенска маса, програмски пакет

1. УВОД

Подземне конструкције су мање подложне утицају земљотреса од површинских конструкција, а што показују подаци о оштећењима подземних конструкција које су настале током земљотреса. Док се површинске конструкције пројектују у односу на инерцијалне силе настале услед убрзања тла, подземне конструкције, због међусобне интеракције, пројектују се у односу на деформације које намеће околно тло. Под дејством сеизмичких таласа јављају се два типа деформације (Oven i Scholl, 1981)[6]:

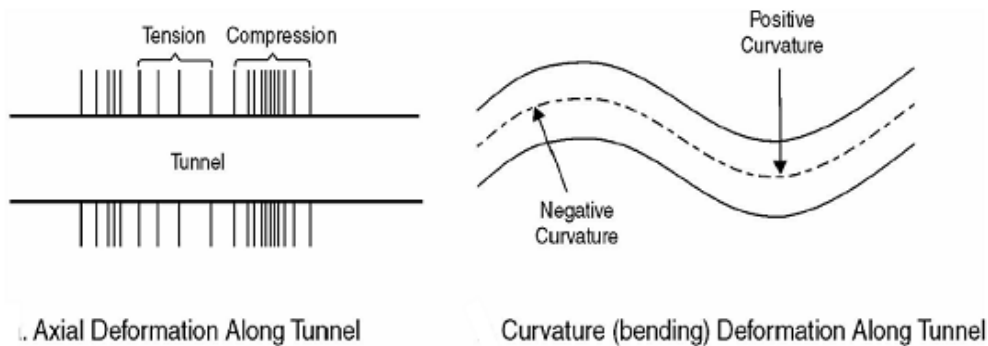
- деформације настале дуж осе тунела,
- деформације настале управно на уздужну осу тунела у равни попречног пресека тунела.

Аксијалне деформације изазване су сеизмичким таласима који се распостире дуж тунелске уздужне осе (Newmark, 1967; Kuesel, 1969; Yeh, 1974; St. John and Zahrah, 1987). Честице тла се крећу у правцу простирања таласа изазивајући наизменично збијање и развлачење (слика 1а). Сеизмички таласи настали услед кретања честица у правцима управним на уздужну осу изазивају савијање тунелске конструкције (слика 1б).[3]

¹ Prof. dr Dragan Lukić, dipl.inž. grad., University of Novi Sad, Faculty of Civil Eng. Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: ++381 24 554 300, e – mail: drlukic.lukic@gmail.com

² Mila Svilar, PhD student, University of Novi Sad, Faculty of Civil Eng. Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: ++381 24 554 300, e – mail: mila.svilar@gmail.com

³ Prof. dr Aleksandar Prokić, dipl.inž. građ., University of Novi Sad, Faculty of Civil Eng. Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: ++381 24 554 300, e – mail: aprokic@EUnet.rs



a)

b)

Слика 1 - Аксијална деформација и деформација закривљености дуж тунела
 Figure 1 – Axial and curvature deformation along tunnel

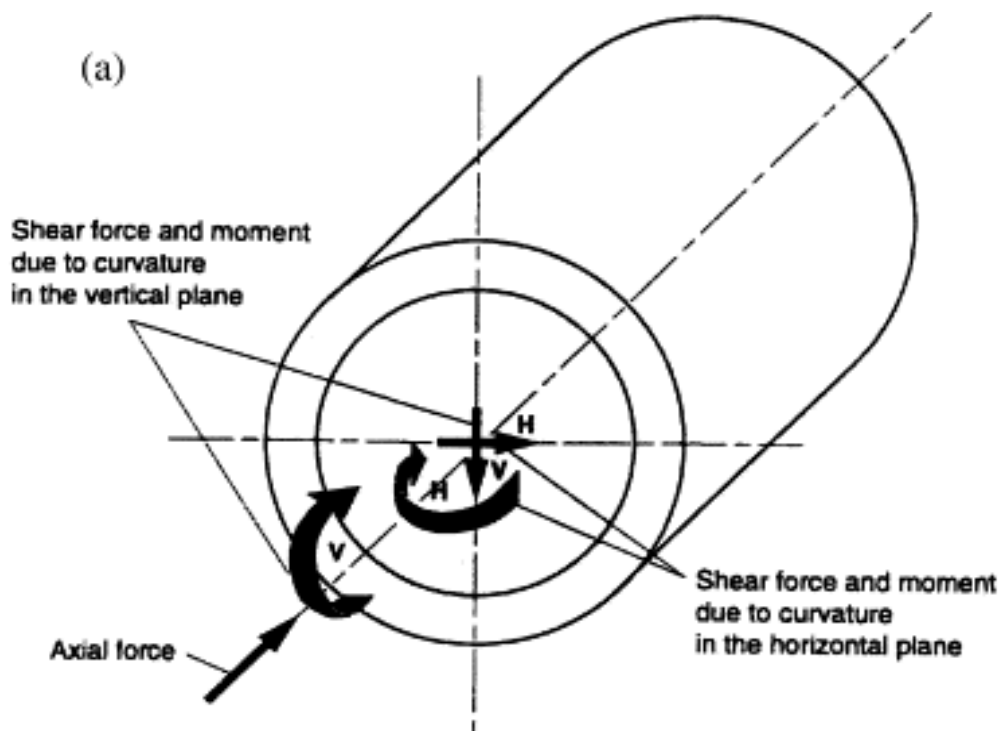
2. ПРОЦЕНА АКСИЈАЛНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ И ДЕФОРНАЦИЈЕ ЗАКРИВЉЕНОСТИ ДУЖ ТУНЕЛА

При анализи утицаја у тунелској конструкцији услед дејства земљотреса мора се узети у обзир интеракција тунела и тла, при чему је кључни податак однос крутости тунела и тла. Овај проблем се може решити поједностављеним решењем или нумаричком анализом

Поједностављена решења могу се наћи у претходним студијама (SFBARTD, 1960; Kuribayashi, et al, 1974; and St. John, et al, 1987). У принципу, систем тунел-тло је симулиран као еласична греда ослоњена на еласичном темељу, са теоријом простирања таласа у бесконачној, хомогеној и изотропној средини [1].

У тунелу који је изложен аксијалним деформацијама и савијању, насталих при простирању сеизмичких таласа, ће се јавити следеће пресечне силе:

- Аксијалне силе Q , услед аксијалне деформације
- Моменти савијања M и силе смицања V , услед савијања тунелске конструкције



Слика 2 – Силе и моменти изазвани простирањем сеизмичких таласа у правцу уздужне осе тунела

Figure 2 – Induced forces and moments caused by seismic waves propagating along the longitudinal tunnel axis.

Уопштено, инерција тунела ја мала у односу на околно тло. Према томе могуће је извршити анализу аксијалне деформације и деформације савијања као квази статичку анализу.

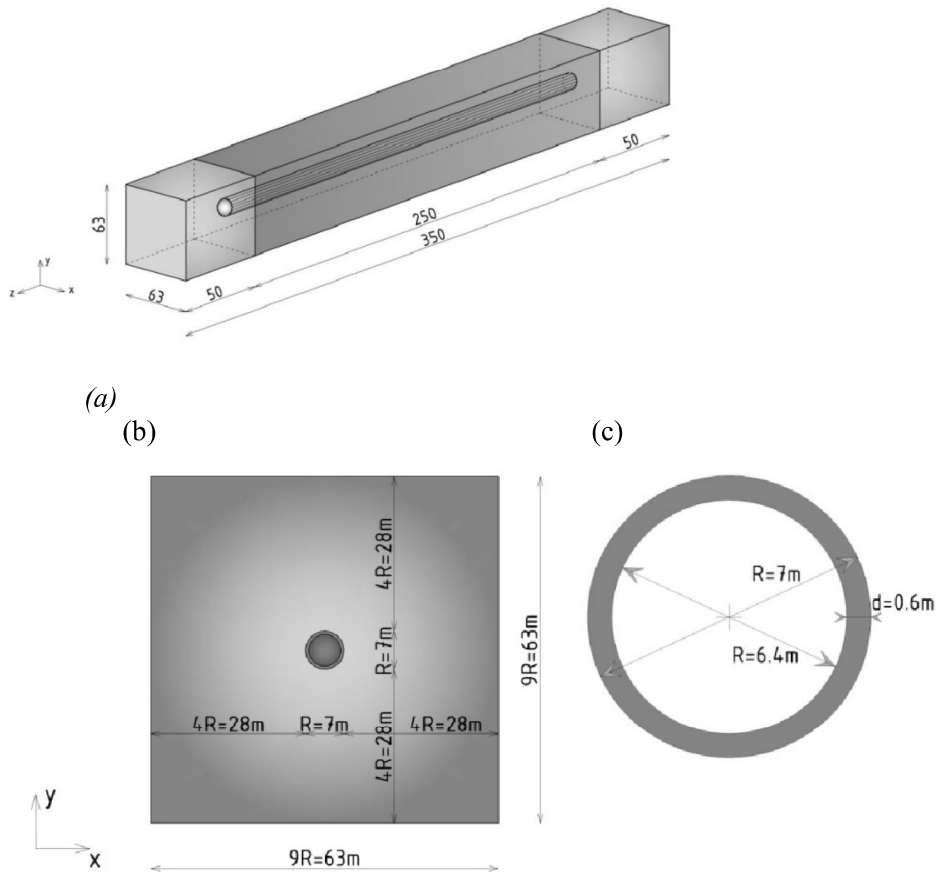
Компјутерски програми за ову врсту нумеричког модела су: ADINA (1996), ABAQUS (Hibbitt, Karlsson & Soreson, Inc., 1998), and SADSAP (Wilson, 1998).[3]

3. НУМЕРИЧКИ МОДЕЛ И МЕТОД ПРОРАЧУНА

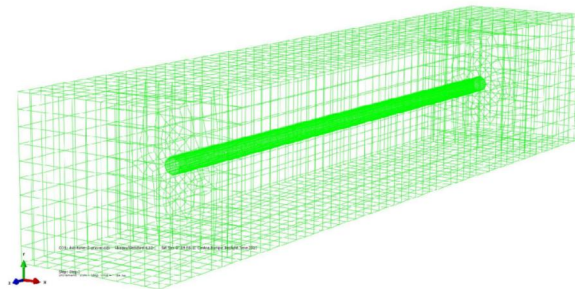
У овој студији коришћен је програмски пакет ABAQUS. Abaqus 6.7 је комерцијални МКЕ софтверски пакет и састављен је од низа инжењерских програма заснованих на методи коначних елемената, и омогућава решавање многих проблема.

3.1. Геометријске карактеристике нумеричког модела

На сликама 3 и 4 представљене су геометријске карактеристике и коначни елементи модела. Дужина, ширина и висина модела су $350m$, $63m$ и $63m$, а дужина тунела је $250m$, (слика 5a). Спољни и унутрашњи пречник тунела је $7m$, односно $6,4m$, а дебљина облоге тунела износи $0,6m$ (слика 3c).



Слика 3 - Геометријски модел: (a) 3D геометрија, (b) 2D геометрија, (c) геометрија кружног тунела
 Figure 3 - Geometrical model: (a) 3D geometry; (b) 2D geometry; (c) geometry of the circular tunnel



Слика 4 – 3D модел, мрежа коначних елемената
 Figure 4 - 3D model, finite element mesh

Анализирана је линеарно еластична, хомогена и изотропна стенска маса. Тунел је плитко положен, како би потреси услед земљотреса и деформације тунела биле веће. Он се налази на дубини од 15m испод коте терена. Према томе узима се у обзир тежина тла изнад тунела.

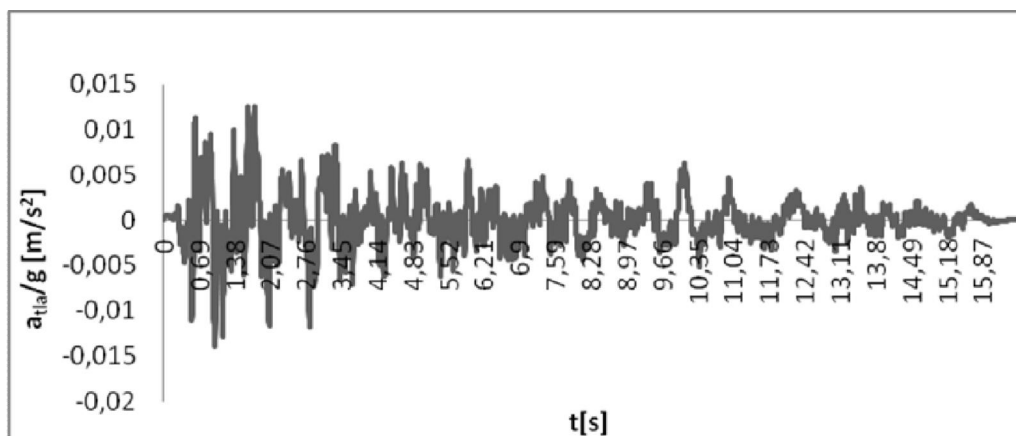
У нумеричкој анализи, лева и десна површина модела приказаног на слици 4 су фиксне у Y и Z правцу, површине напред и назад су фиксне у X и Y правцу, доња површина је фиксна у сва три правца, док је горња фиксна у X и Z правцу.

Услед дејства земљотреса долази до трења тунелске облоге и стене, које је у прорачуну узето у обзир.

Од излазних параметара анализирана су померања тачке на средини тунела, при чему су са U1, U2 и U3 означена померања у правцу глобалних оса X, Y и Z, респективно. Поред померања анализирани су такође и деформацијске и напонске величине у тунелској конструкцији.

У примеру је анализиран тунел који је изложен дејству земљотреса *Fruulu* који је погодио Италију 1976, који делује у правцу X, Y и Z глобалне координатне осе.

Акцелограм земљотреса магнитуде 6.5, приказан на слици 5



Слика 5 - Акцелограм земљотреса *Fruulu*, Италија
Figure 5 – *Fruulu* earthquake accelerogram, Italy

Основни физичко-механички параметри стенске масе:

Young-ов модул еластичности $E = 200 \text{ MN/m}^2$

Poisson-ов коефицијент $\nu = 0.3$

Угао унутрашњег трења стенске масе $\varphi = 38^\circ$

Кохезија $c = 0,5 \text{ MPa}$

Основне карактеристике бетонске облоге:

$E = 200 \text{ MN/m}^2$

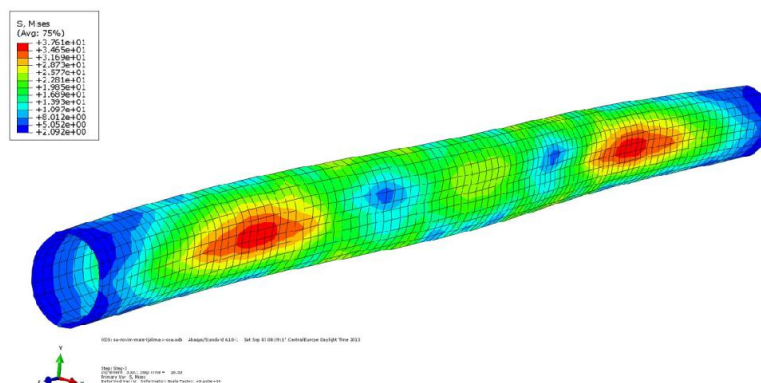
$\nu = 0.3$

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

Тунел: дужина 100m, пречник 7.0m, дебљина тунелске облоге 60cm

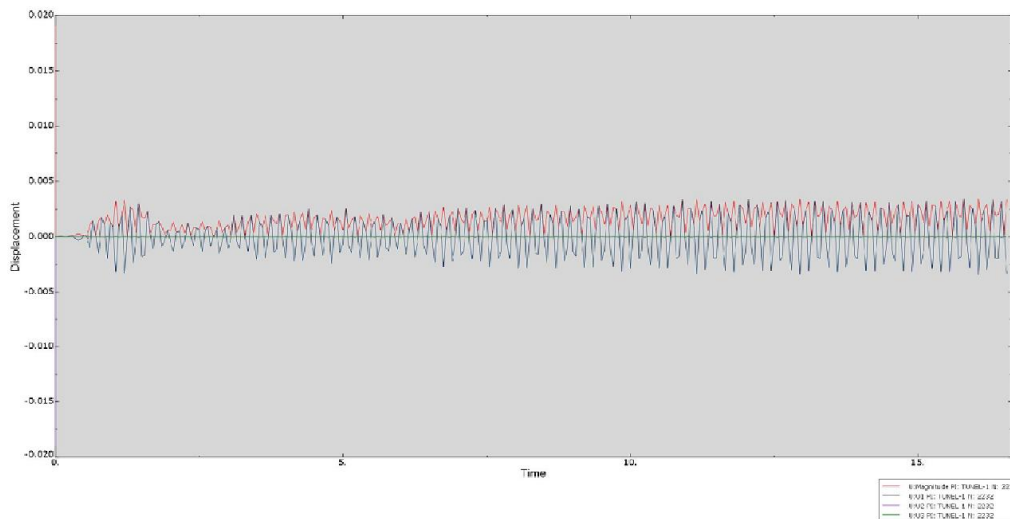
3.2. Резултати нумеричке анализе

1. Дејство земљотреса у правцу X глобалне координате



Слика 6 – Напони и деформације тунела услед земљотреса у правцу X глобалне координатне осе

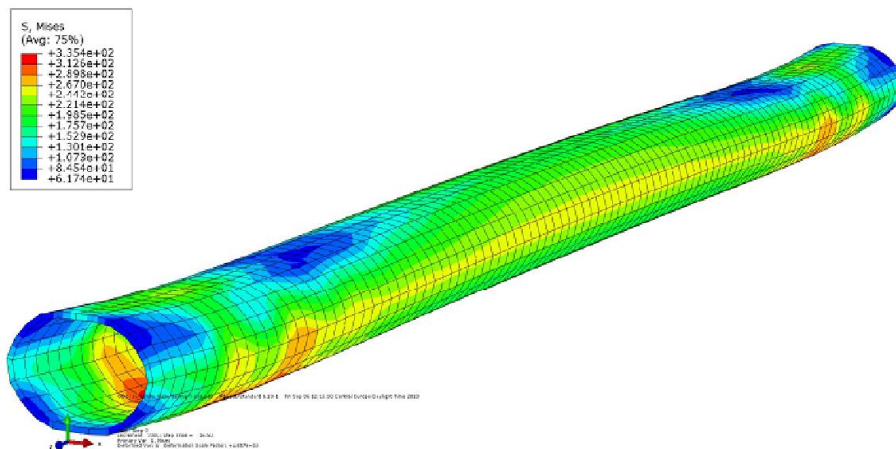
Figure 6 - Stress and strain of the tunnel due to the earthquake in the X-axis of the global coordinate



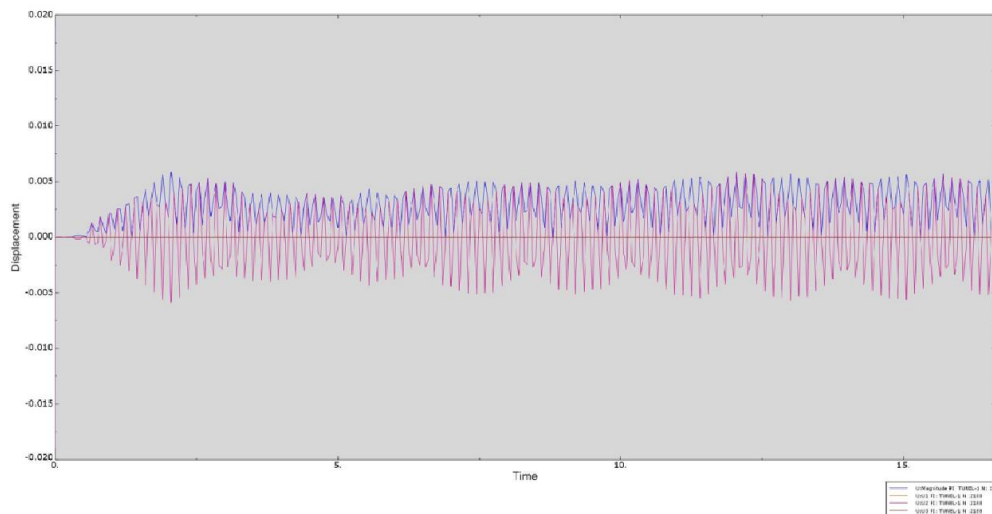
Слика 7 – Померања U_1, U_2 и U_3 на средину тунела услед земљотреса у правцу X глобалне координатне осе

Figure 7 - Displacement of U_1, U_2 and U_3 in the middle of the tunnel due to the earthquake in the X-axis of the global coordinate

2. Дејство земљотреса у правцу Y глобалне координате

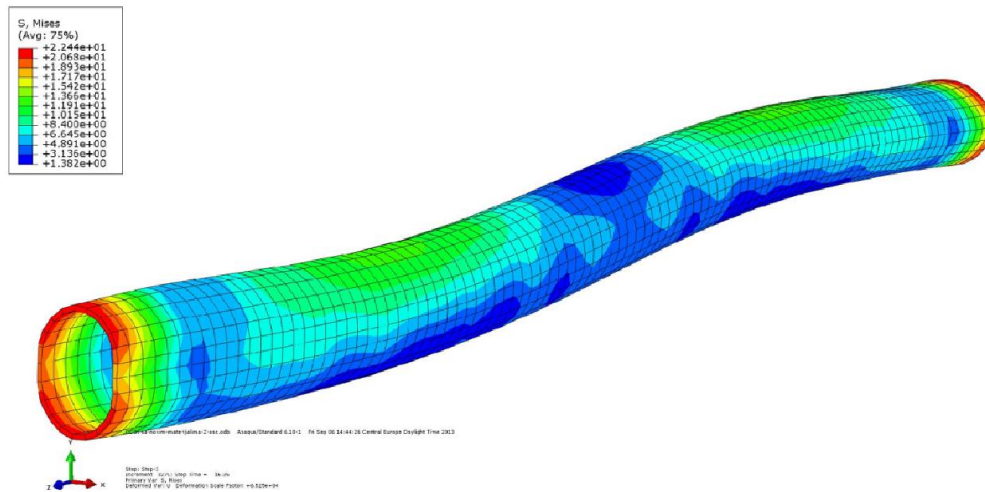


Слика 8 – Напони и деформације тунела услед земљотреса у правцу Y глобалне координатне осе
Figure 8 - Stress and strain of the tunnel due to the earthquake in the direction of Y -axis of the global coordinate

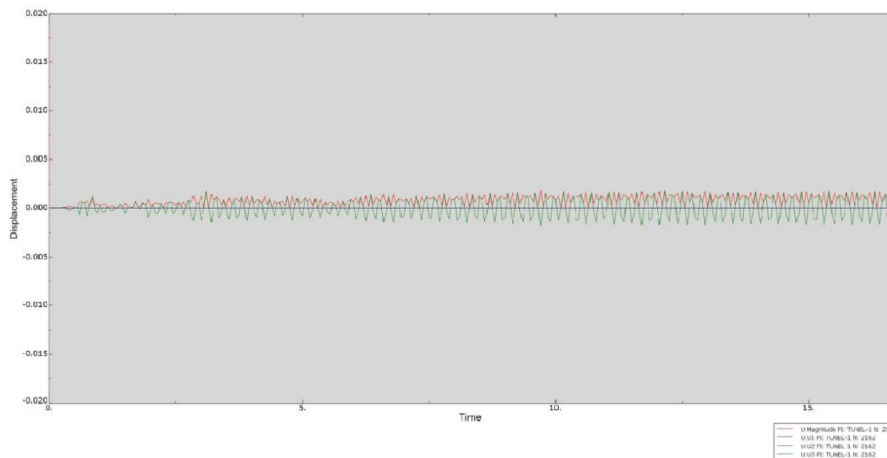


Слика 9 – Померања $U1, U2$ и $U3$ на средину тунела услед земљотреса у правцу Y глобалне координатне осе
Figure 9 - Displacement of $U1, U2$ and $U3$ in the middle of the tunnel due to the earthquake in the direction of Y -axis of the global coordinate

3. Дејство земљотреса у правцу Z глобалне координате



Слика 10 – Напони и деформације тунела услед земљотреса у правцу Z глобалне координатне осе
 Figure 10 - Stress and strain of the tunnel due to the earthquake in the Z direction of the global coordinate axes



Слика 11 – Померања U1, U2 и U3 на средини тунела услед земљотреса у правцу Z глобалне координатне осе
 Figure 11 - Displacement of U1, U2 and U3 in the middle of the tunnel due to the earthquake in the Z direction of the global coordinate axes

ЗАКЉУЧАК

Анализа тунела на сеизмичке утицаје представља веома сложен задатак, јер обухвата неколико значајних аспеката као што су: динамика тла, интеракција тла и

конструкције, анализа земљотреса. Такође, тунелски објекти су од виталног значаја у саобраћајној мрежи, и појава земљотреса поред тога што би довела до губитка људских живота, изазвала би и тешка оштећења инфраструктуре, а што би имало великих последица на нормализацију после земљотреса.

У овом раду је приказана анализа аксијалних деформација и напона у тунелској конструкцији услед дејства земљотреса. Ова анализа представља допринос истраживању тунела на дејство земљотреса, посебно због чињенице да пројектни принципи за тунелске објекте још увек нису уврштени у Еврокод 8 (ЕН 1998-5, 2003). Због ограничења обима рада дати су само поједини резултати анализе.

ЗАХВАЛНОСТ

Аутори рада захваљују се на подршци Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру научно–истраживачких пројеката ТР36028 и ТР36043.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wang, J.N.: *Seismic Design of Tunnels: A Simple State-of-the-Art Design Approach*. 1993., New York, N.Y.: Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc., Monograph 7.
- [2] Hashash, Youssef M.A. et al.: Seismic design and analysis of underground structures, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **2001**. 16(2001), pp. 247-293
- [3] Federal Highway Administration (FHWA): *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 2 – Retaining Structures, Slopes, Tunnels, Culverts, and Roadways*, **2004**
- [4] Hashash, Youssef M.A. et al.: Ovaling deformations of circular tunnels under seismic loading, an update on seismic design and analysis of underground *Tunnelling and Underground Space Technology*, **2005**, 20 (2005) 435–441
- [5] ABAQUS: *Finite Element Program*, from Hibbit, Karlson & Sorensen, Inc. 1080 Main Street, Pawtucket, RI, USA. **2005**.
- [6] ABAQUS: *Theory manual.version 6.7*. Dassault systems, **2007**.
- [7] Brady, B.H.G., Brown, E.T.: *Rock Mechanics for Underground Mining*, 3rd ed. Kluwer Academy Publishers, Dordrecht, The Netherlands, **2004**.

TUNNEL DEFORMATION AS A RESULT TO LONGITUDINAL DIRECTION OF EARTHQUAKE

Summary: *This paper presents the impact of earthquake on circular tunnel tube in the longitudinal direction. In the first part of the data is to assess the axial deformation and*

deformation along the curvature of the tunnel. Numerical analysis of impact was based on the assumption that it is a shallow circular tunnel in a homogeneous and isotropic rock mass. This paper presents an example calculation of earthquake in the longitudinal direction of the circular tunnel, taking a concrete example of earthquake magnitude 6.5 (Friuli, Italy). For the calculation used software package ABAQUS.

Keywords: *Circular tunnel, axial deformation, earthquake, rock mass, a software package*