

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jordan, D. 2012. Vpliv razpokanosti stebrov na regularnost potresnega odziva armiranobetonskih grednih mostov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Cerovšek, T.): 113 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jordan, D. 2012. Vpliv razpokanosti stebrov na regularnost potresnega odziva armiranobetonskih grednih mostov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Cerovšek, T.): 113 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*

Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si



VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

**DOMINIK JORDAN**

**VPLIV RAZPOKANOSTI STEBROV NA  
REGULARNOST POTRESNEGA ODZIVA  
ARMIRANOBETONSKIH GREDNIH MOSTOV**

Diplomska naloga št.: 463/KS

**INFLUENCE OF THE COLUMN CRACKING TO THE  
REGULARITY OF THE SEISMIC RESPONSE OF  
REINFORCED CONCRETE BRIDGES**

Graduation thesis No.: 463/KS

**Mentorica:**  
prof. dr. Tatjana Isaković

**Predsednik komisije:**  
doc. dr. Tomo Cerovšek

**Član komisije:**  
viš. pred. dr. Aleksander Srdić

Ljubljana, 2. 7. 2012

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Spodaj podpisani **DOMINIK JORDAN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom **»VPLIV RAZPOKANOSTI STEBROV NA REGULARNOST POTRESNEGA ODZIVA ARMIRANOBETONSKIH GREDNIH MOSTOV«**.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 14. 6. 2012

Dominik Jordan

---

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 624.012.45:624.042.7(043.2)

**Avtor:** Dominik Jordan

**Mentor:** prof. dr. Tatjana Isaković

**Naslov:** Vpliv razpokanosti stebrov na regularnost potresnega odziva armiranobetonskih grednih mostov

**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – visokošolski strokovni študij

**Obseg in oprema:** 113 str., 42 pregl., 105 sl., 23 en.

**Ključne besede:** most, potres, linearna potresna analiza, razpokanost, regularnost, efektivni vztrajnostni moment, nerazpokan prerez, ukrivljenost

### **Izvleček**

V diplomski nalogi sem raziskoval vpliv redukcije efektivnega vztrajnostnega momenta stebrov na regularnost potresnega odziva armiranobetonskih grednih mostov. Analiziral sem tudi določila standarda Evrokod 8/2, ki se nanašajo na določitev regularnosti konstrukcije in postopek za oceno efektivnega vztrajnostnega momenta stebrov. Zato sem naredil parametrično študijo petih reprezentativnih mostnih konstrukcij z različno stopnjo neregularnosti.

V obravnavanih primerih se je izkazalo, da se pri analizi konstrukcij v vzdolžni smeri efektivni vztrajnostni moment prereza večine stebrov običajno reducira na približno 35 % vztrajnostnega momenta nerazpokanih prerezov. Zato lahko sklepam, da je v večini obravnavanih primerov 50-odstotna redukcija vztrajnostnega momenta, ki jo predvideva standard Evrokod 8/1, primerna za račun notranjih sil. Za račun pomikov je potrebno upoštevati dejanske efektivne prereze stebrov, ki jih lahko ocenimo s postopkom, ki jih standard predlaga za pravokotne stebre. V prečni smeri se je izkazalo, da v velikem številu primerov lahko upoštevamo nerazpokane betonske stebre, saj je njihova nosilnost zaradi geometrije stebra in drugih konstrukcijskih zahtev dostikrat pri minimalni armaturi večja od potrebne in v večini stebrov ne pride do tečenja armature in celo niti do razpokanja betona. Reducirane efektivne vztrajnostne momente je bilo v prečni smeri smiselno upoštevati le v najbolj obremenjenih kratkih stebrih oziroma v stebrih na sredini konstrukcije. Redukcija efektivnega vztrajnostnega momenta najbolj obremenjenih stebrov je v večini teh primerov zmanjšala neregularnost odziva celotne konstrukcije, vendar smo evidentirali tudi nasprotno primere.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 624.012.45:624.042.7(043.2)  
**Author:** Dominik Jordan  
**Supervisor:** prof. Tatjana Isaković, Ph.D.  
**Title:** Influence of the column cracking to the regularity of the seismic response of reinforced concrete bridges  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Notes:** 113 p., 42 tab., 105 fig., 23 eq.  
**Key words:** bridge, earthquake, linear seismic analysis, cracking, regularity, effective moment of inertia, non-cracked section, curvature

### **Abstract**

In this thesis I was researching the influence of the effective moment of inertia on regularity of seismic response of reinforced concrete shaft bridges. I analyzed rules of standard Eurocode 8/2, that relate on determining regularity of structure and process to evaluate the effective moment of inertia of columns. Therefore I made a parametric study of five representative bridges with a different degree of irregularity.

In the discussed cases it was shown, while analyzing the constructions in longitudinal direction, that the sections effective moment of inertia usually needs to be reduced to approximately 35 % of inertia moment for non-cracked sections. Therefore we can assume, that in most cases a inertias moment reduction of 50 % is suitable for the calculation of internal forces. This reduction is also provided by the standard Eurocode 8/1. For the correct calculation of displacements it is necessary to account the actual columns effective cross section, which can be estimated with the procedure proposed in the standard for rectangular columns. In the lateral direction, it was shown, that in numerous cases we can consider non-crack cross sections, because their capacity, due to their geometry of cross section and other construction requirements, at minimal reinforcement is often higher than required, so the reinforcement in most columns is not yielding and the concrete doesn't crack. The reduction of effective moment of inertia, in lateral direction, was considered reasonable only in highly stressed short columns or columns in the middle of construction. Reducing the effective moment of inertia in most stressed columns had in most cases decreased the irregular response of the entire construction, but we have recorded counterfactual cases as well.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici, prof. dr. Tatjani Isaković, in vsem, ki so na kateri koli način pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi svojim staršem, ki so mi omogočili brezskrben študij.

Na koncu bi se rad zahvalil še sošolcem, ki so poskrbeli, da je študij gradbeništva postala izredna izkušnja.

## **KAZALO VSEBINE:**

<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNE OSNOVE.....</b>	<b>3</b>
2.1 Uporabljeni simboli .....	4
2.2 Regularnost konstrukcije in velikost faktorja obnašanja .....	7
2.3 Ocena razpokanosti stebrov pri potresni obtežbi .....	9
2.3.1 Ocena razpokanosti s pomočjo postopka, navedenega v standardu EC 8/2 .....	9
<b>3 OPIS ANALIZIRANIH KONSTRUKCIJ.....</b>	<b>10</b>
3.1 Geometrija in masa .....	10
3.2 Materiali.....	14
3.2.1 Beton .....	14
3.2.2 Jeklo za armiranje .....	16
3.3 Potresna obtežba .....	17
3.4 Model konstrukcije .....	23
<b>4 POTRESNA ANALIZA IZBRANIH KONSTRUKCIJ .....</b>	<b>25</b>
4.1 Opis postopka analize in dimenzioniranja .....	25
4.2 Mostna konstrukcija 131 .....	39
4.2.1 Most 131 – nerazpokani prerezi .....	39
4.2.2 Most 131 – končna iteracija .....	44
4.2.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 131 .....	49
4.3 Mostna konstrukcija 132.....	51
4.3.1 Most 132 – nerazpokani prerezi .....	51
4.3.2 Most 132 – končna iteracija .....	58
4.3.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 132 .....	65
4.4 Mostna konstrukcija 222.....	67



4.4.1 Most 222 – nerazpokani prerezi .....	67
4.4.2 Most 222 – končna iteracija .....	72
4.4.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 222 .....	77
4.5 Mostna konstrukcija 232 .....	78
4.5.1 Most 232 – nerazpokani prerezi .....	78
4.5.2 Most 232 – končna iteracija .....	83
4.5.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 232 .....	88
4.6 Mostna konstrukcija 312 .....	90
4.6.1 Most 312 – nerazpokani prerezi .....	90
4.6.2 Most 312 – končna iteracija .....	97
4.6.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 312 .....	104
<b>5 POVZETEK REZULTATOV .....</b>	<b>106</b>
<b>6 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>110</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>112</b>

## KAZALO SLIK:

Slika 1: Osnovna geometrija mostov.....	10
Slika 2: Tipski prečni prerez stebra, uporabljen v naših izračunih.....	11
Slika 3: Prečni prerez prekladne konstrukcije .....	12
Slika 4: Delovni diagram tlačnega betona, podan s parabolo in premico (EC2-1-1).....	15
Slika 5: Idealiziran diagram napetost – deformacija (EC2-1-1: Slika 3.8) .....	16
Slika 6: Projektni spektri pospeškov (odziv $S_e/a_g$ glede na nihajni čas $T$ ).....	22
Slika 7: Linijski model mostu 131 v programu SAP 2000.....	23
Slika 8: Rastrska mreža .....	24
Slika 9: 3D model mostu 131, izdelan v programu AutoCAD.....	24
Slika 10: Karta projektnih pospeškov tal za posamezno lokacijo (ARSO).....	26
Slika 11: Shema porazdelitve mas na primeru mostu 131.....	26
Slika 12: Podrobna shema porazdelitve mase preklade in stebra z dolžino 7 m.....	27
Slika 13: Upogibni momenti za vzdolžno in prečno smer (most 131 – nerazpokano stanje) ..	28
Slika 14: Kombinaciji učinkov potresnih vplivov .....	29
Slika 15: Interakcijski diagram stebra 1 in 3 v mostu 131 .....	30
Slika 16: Interakcijski diagram stebra 2 v mostu 131 .....	30
Slika 17: Vhodni podatki za program DIAS-B – most 131, steber 1 in 3 (Leva slika predstavlja vhodne podatke za vzdolžno smer, medtem ko desna slika predstavlja podatke v prečni smeri).....	31
Slika 18: Izpis momentov in ukrivljenosti za mejno stanje in stanje, ko steče prva vrsta armaturnih palic – most 131, steber 1 in 3 vzdolžna smer .....	32
Slika 19: Podatki za izdelavo grafa moment/ukrivljenost – most 131, steber 1 in 3 vzdolžna smer .....	33
Slika 20: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	34
Slika 21: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber 1, vpliv potresa v prečni smeri).....	34

Slika 22: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 131 .....	36
Slika 23: Proces reševanja .....	38
Slika 24: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 131 .....	39
Slika 25: Interakcijski diagram stebra 1 in 3 v mostu 131 .....	40
Slika 26: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 131 .....	40
Slika 27: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	41
Slika 28: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri) .....	41
Slika 29: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	42
Slika 30: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	42
Slika 31: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 131 – končna iteracija.....	44
Slika 32: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 131.....	45
Slika 33: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 131.....	45
Slika 34: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	46
Slika 35: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri).....	46
Slika 36: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	47
Slika 37: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	47
Slika 38: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 132.....	51
Slika 39: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 132.....	52
Slika 40: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 132.....	53
Slika 41: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 132.....	53

Slika 42: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	54
Slika 43: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri) .....	54
Slika 44: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	55
Slika 45: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	55
Slika 46: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	56
Slika 47: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri) .....	56
Slika 48: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 132 – končna iteracija.....	58
Slika 49: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 132 .....	59
Slika 50: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 132 .....	60
Slika 51: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 132 .....	60
Slika 52: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	61
Slika 53: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri) .....	61
Slika 54: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	62
Slika 55: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	62
Slika 56: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	63
Slika 57: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri) .....	63
Slika 58: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 222.....	67
Slika 59: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 222.....	68

Slika 60: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 222.....	68
Slika 61: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	69
Slika 62: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri).....	69
Slika 63: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	70
Slika 64: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri).....	70
Slika 65: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 222 – končna iteracija.....	72
Slika 66: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 222.....	73
Slika 67: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 222.....	73
Slika 68: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	74
Slika 69: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri).....	74
Slika 70: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	75
Slika 71: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri).....	75
Slika 72: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 232.....	78
Slika 73: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 232.....	79
Slika 74: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 232.....	79
Slika 75: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	80
Slika 76: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri).....	80
Slika 77: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri).....	81

Slika 78: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	81
Slika 79: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 232 – končna iteracija .....	83
Slika 80: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 232.....	84
Slika 81: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 232.....	84
Slika 82: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	85
Slika 83: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri).....	85
Slika 84: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	86
Slika 85: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	86
Slika 86: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 312.....	90
Slika 87: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 312.....	91
Slika 88: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 312.....	92
Slika 89: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 312.....	92
Slika 90: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	93
Slika 91: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri) .....	93
Slika 92: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	94
Slika 93: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	94
Slika 94: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	95
Slika 95: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri) .....	95
Slika 96: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 312 – končna iteracija .....	97

Slika 97: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 312.....	98
Slika 98: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 312.....	99
Slika 99: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 312.....	99
Slika 100: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	100
Slika 101: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri) .....	100
Slika 102: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	101
Slika 103: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri) .....	101
Slika 104: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri) .....	102
Slika 105: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri) .....	102

## KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Obravnavane kombinacije mostov .....	4
Preglednica 2: Delni varnostni faktorji za materiale v mejnem stanju nosilnosti (EC2: Preglednica 2.1).....	14
Preglednica 3: Faktorji obnašanja za vzdolžno in prečno smer.....	21
Preglednica 4: Osnovna projektna spektra pospeškov .....	21
Preglednica 5: Podatki za tip tal C.....	25
Preglednica 6: Obtežne kombinacije mosta 131 .....	29
Preglednica 7: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	39
Preglednica 8: Obtežne kombinacije za most 131 .....	40
Preglednica 9: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 131 .....	43
Preglednica 10: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	44
Preglednica 11: Obtežne kombinacije za most 131 – končna iteracija .....	45
Preglednica 12: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 131 – končna iteracija .....	48
Preglednica 13: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 131.....	49
Preglednica 14: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	51
Preglednica 15: Obtežne kombinacije za most 132.....	52
Preglednica 16: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 132.....	57
Preglednica 17: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	58
Preglednica 18: Obtežne kombinacije za most 132 – končna iteracija .....	59
Preglednica 19: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 132 – končna iteracija .....	64
Preglednica 20: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 132.....	65
Preglednica 21: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	67



Preglednica 22: Obtežne kombinacije za most 222.....	68
Preglednica 23: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 222.....	71
Preglednica 24: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	72
Preglednica 25: Obtežne kombinacije za most 222 – končna iteracija .....	73
Preglednica 26: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 222 – končna iteracija .....	76
Preglednica 27: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 222.....	77
Preglednica 28: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	78
Preglednica 29: Obtežne kombinacije za most 232.....	79
Preglednica 30: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 232.....	82
Preglednica 31: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	83
Preglednica 32: Obtežne kombinacije za most 232 – končna iteracija .....	84
Preglednica 33: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 232 – končna iteracija .....	87
Preglednica 34: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 232.....	88
Preglednica 35: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	90
Preglednica 36: Obtežne kombinacije za most 312.....	91
Preglednica 37: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 312.....	96
Preglednica 38: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas .....	97
Preglednica 39: Obtežne kombinacije za most 312 – končna iteracija .....	98
Preglednica 40: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 312 – končna iteracija .....	103
Preglednica 41: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 312.....	104
Preglednica 42: Povzetek bistvenih rezultatov .....	106

## 1 UVOD

V Sloveniji so Evrokod standardi v obvezni uporabi od leta 2008. Njihov sestavni del je standard Evrokod 8/2, ki je namenjen projektiranju mostov na potresnih območjih. V projektantsko prakso je ta standard vpeljal nekaj sprememb. Med njimi je tudi zahteva, da moramo pri oceni pomikov konstrukcije upoštevati redukcijo efektivnega prereza stebrov, saj jih običajno projektiramo tako, da pri močni potresni obtežbi njihova vzdolžna armatura steče oziroma stebri razpokajo. Zaradi tega se lahko bistveno poveča podajnost konstrukcije, posledično pa so lahko pomiki bistveno večji od tistih, ki ustrezajo nerazpokanim stebrom.

Ocena redukcije efektivnega prereza stebrov ni pomembna le za določitev pomikov, pač pa tudi sil v konstrukciji. V splošnem bi slednje lahko določili tudi na osnovi karakteristik nerazpokanih stebrov, saj to pomeni bolj togo konstrukcijo in posledično tudi večje sile. Nato bi določili armaturo stebrov, ocenili efektivni vztrajnostni moment prerezov stebrov in določili pomike. S takšnim postopkom projektiranja na prvi pogled zagotovimo konstrukciji večjo varnost. Vendar to velja le za regularne konstrukcije, v katerih se obremenitve stebrov bistveno ne razlikujejo. V neregularnih konstrukcijah se lahko vplivi med stebri prerazporedijo zaradi različne razpokanosti stebrov. Zato ni nujno, da bodo sile, ki jih določimo na osnovi nerazpokanih stebrov, v vseh stebrih večje, kot v primeru, ko upoštevamo zmanjšanje efektivnih prerezov stebrov.

V splošnem lahko odziv zelo neregularnih mostov razmeroma natančno ocenimo le z nelinearno dinamično analizo. Ker je takšna vrsta analize zelo zahtevna (zahteva veliko znanja in izkušenj, ki jih običajno na dodiplomskem študiju ne pridobimo) in ker običajno za to potrebujemo posebne programe in posebne modele, se v projektantski praksi uporablja redko. Zato standard Evrokod 8/2 za projektiranje neregularnih konstrukcij dopušča tudi elastično modalno analizo s spektri odziva, pri čemer je potrebno ustrezno zmanjšati faktor obnašanja konstrukcije. Redukcija faktorja obnašanja je, med drugim, odvisna tudi od izkoriščenosti stebrov. Da bi ocenili izkoriščenost stebrov, moramo zopet poznati njihovo nosilnost oziroma armaturo.

Zaradi vsega navedenega bi v splošnem pri elastični analizi neregularnih mostov postopek projektiranja moral biti iterativen. Najprej bi določili notranje sile v stebrih, na osnovi teh sil bi določili potrebno armaturo, nato pa bi ocenili, koliko se zmanjša efektivni prerez stebrov. Potem bi še enkrat izračunali sile v stebrih pri potresni obtežbi in ponovno določili ustrezno armaturo. Če bi se slednja veliko razlikovala od prejšnje iteracije, bi bilo potrebno postopek ponoviti. Tako bi se lahko zgodilo, da bi bilo za določene konstrukcije potrebnih več iteracij.

Ker je večkratni račun konstrukcije lahko zelo zamuden, nas je v nalogi zanimalo, če je in kdaj je sploh smiseln. Zanimalo nas je, kakšna je razlika med konstrukcijo, ki jo določimo z običajnim postopkom projektiranja in takšno, kjer naredimo eno ali dve iteraciji. Še posebej nas je zanimalo, kako iteracije vplivajo na regularnost konstrukcije.

Zato smo naredili manjšo parametrično študijo značilnih mostov v Sloveniji, ki so podprti s stebri I prereza. Izbrali smo pet konstrukcij, ki so se razlikovale glede višine stebrov in njihovega razporeda. Na ta način smo dobili konstrukcije različne stopnje regularnosti. Pregled analiziranih konstrukcij je podan v tretjem poglavju.

V četrtem poglavju naloge je najprej podrobno prikazan postopek projektiranja na primeru ene izmed obravnavanih konstrukcij. Potem so prikazani rezultati za preostale mostove. Pri analizi rezultatov nas je poleg smiselnosti dva- ali večkratnega računa konstrukcije zanimalo tudi, kako učinkovito lahko ocenimo efektivne vztrajnostne momente stebrov s postopki, ki jih predlaga Evrokod 8/2. Še zlasti nas je zanimalo, ali lahko oceno efektivnega vztrajnostnega momenta poenostavimo, in sicer tako, da upoštevamo kar polovično vrednost vztrajnostnega momenta pri nerazpokanih prerezih, kar je na primer dovoljeno v Evrokod 8/1, ki je namenjen projektiranju stavb na potresnih območjih.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

Standardi Evrokod so od leta 2008 v Sloveniji v obvezni uporabi. Tako so bile vse različice mostov, obravnavane v tej nalogi, modelirane, analizirane in dimenzionirane po teh standardih.

Standard se v osnovi deli na devet delov, pri čemer se standarda, ki obravnavata osnove projektiranja in vplive na konstrukcijo, uporabljata v vseh vrstah projektiranja. Preostali standardi (EC2 do EC9) pa se uporabljajo glede na to, katero vrsto konstrukcije projektiramo.

V tej nalogi smo upoštevali naslednje standarde:

- Evrokod 0: Osnove projektiranja,
- Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije,
- Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij,
- Evrokod 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij,
- Evrokod 8/2: Projektiranje potresno odpornih mostov.

V nadaljevanju so navedene teoretične osnove, potrebne za razumevanje in izvedbo naloge. Pozneje smo opisali obravnavane konstrukcije, materiale, iz katerih je konstrukcija grajena, definirali vplive, ki delujejo na konstrukcijo, analizirali in dimenzionirali elemente konstrukcije, ter izvedli primerjavo med oceno razpokanosti prereza stebra, ki jo priporoča standard, in razpokanostjo, pridobljeno preko izračuna.

Kot rečeno je cilj te diplomske naloge ugotoviti dejansko razpokanost prereza stebra mostu v posamezni smeri, ugotoviti izkoriščenost prereza in količino potrebne armature. Za izračun je bila uporabljena linearna analiza.

Tovrstna konstrukcija se projektira za dobo 50 let in več. V tem času na konstrukcijo deluje vrsta različnih vplivov. Poznamo stalne vplive (G), začasne vplive (Q) in nezgodne vplive (A).

Na mostove delujejo različne kombinacije obtežb. V nalogi smo se omejili le na vplive stalne in potresne obtežbe.

Upoštevana kombinacija:  $1,0 \cdot G + 1,0 \cdot E$

kjer je:

G – vpliv stalne obtežbe konstrukcije. Tu je zajeta lastna teža preklade, lastna teža stebrov, hodniki in robni venci, zaključne plasti asfaltbetona, hidroizolacija in teža ograje.

E – potresni vpliv

Obraunavani mostovi se bodo tekom diplomske naloge navajali glede na dolžino stebrov, ki nastopajo v posameznem mostu, označbe mostov pa se bodo prilagodile s faktorjem 7. Tako se bo namesto oznake Most 7,21,7, ki predstavlja most z dolžino stebrov 7 m, 21 m in 7 m, uporabljalo zapis Most 131.

### Preglednica 1: Obravnavane kombinacije mostov

Kombinacije:	1 steber [m]	2 steber [m]	3 steber [m]	Krajši zapis
1. K	7	21	7	Most 131
2. K	7	21	14	Most 132
3. K	14	14	14	Most 222
4. K	14	21	14	Most 232
5. K	21	7	14	Most 312

K – konstrukcija

### 2.1 Uporabljeni simboli

A – nezgodni vpliv

A – ploščina prečnega prereza

$A_d$  – projektna vrednost nezgodnega vpliva

F – vpliv

$F_d$  – projektna vrednost vpliva

G – stalni vpliv

$G_d$  – projektna vrednost stalnega vpliva

Q – spremenljiv vpliv

$Q_d$  – projektna vrednost spremenljivega vpliva

R – odpornost

$R_d$  – projektna vrednost odpornosti

$\gamma$  – delni faktor (varnosti ali uporabnosti)

$\gamma_s$  – delni faktor za jeklo

$\gamma_c$  – delni faktor za beton

$\gamma_1$  – delni faktor za vplive, ki upošteva možnost neugodnega odklona vrednosti vpliva od reprezentativne vrednosti

$\gamma_F$  – delni faktor za vplive, ki upošteva tudi negotovost modela in dimenzij

$\gamma_g$  – delni faktor za stalne vplive, ki upošteva možnost neugodnega odklona vrednosti vpliva od reprezentativne vrednosti

$\gamma_G$  – delni faktor za stalne vplive, ki upošteva tudi negotovost modela in dimenzij

$\gamma_I$  – faktor pomembnosti

$\gamma_m$  – delni faktor za lastnosti materiala

$\gamma_M$  – delni faktor za lastnosti materiala, ki upošteva tudi negotovost modela in dimenzij

$\psi_0$  – faktor za kombinacijsko vrednost spremenljivega vpliva

$\psi_1$  – faktor za pogosto vrednost spremenljivega vpliva

$\psi_2$  – faktor za navidezno stalno vrednost spremenljivega vpliva

$m$  – masa na enoto dolžine

$n_i$  –  $i$ -ta lastna frekvenca konstrukcije

$\lambda$  – vitkost

$EC$  – tangenti modul elastičnosti normalno težkega betona pri napetosti  $\sigma_c = 0$  in starosti 28 dni

$E_{c,eff}$  – učinkovit modul elastičnosti betona

$E_s$  – projektna vrednost modula elastičnosti jekla za armiranje

$M$  – upogibni moment

$M_{Ed}$  – projektna vrednost delujočega upogibnega momenta

$N$  – osna sila

$N_{Ed}$  – projektna vrednost delujoče osne sile

$T$  – torzijski moment

$T$  – nihajna doba linearnega sistema z eno prostostno stopnjo

$T_{Ed}$  – projektna vrednost delujočega torzijskega momenta

$V$  – prečna sila

$V_{Ed}$  – projektna vrednost delujoče prečne sile

$d$  – premer; višina

$f_c$  – tlačna trdnost betona

$f_{cd}$  – projektna vrednost tlačne trdnosti betona

$f_{ck}$  – karakteristična vrednost tlačne trdnosti 28 dni starega betona, določena na valju

$f_{cm}$  – srednja vrednost tlačne trdnosti betona, določena na valju

$f_{ctk}$  – karakteristična osna natezna trdnost betona

$f_{ctm}$  – srednja vrednost osne natezne trdnosti betona

$f_t$  – natezna trdnost armature

$f_{tk}$  – karakteristična vrednost natezne trdnosti armature

$f_y$  – meja elastičnosti armature

$f_{yd}$  – projektna meja elastičnosti armature

$f_{yk}$  – karakteristična meja elastičnosti armature

$f_{ywd}$  – projektna meja elastičnosti strižne armature

$h$  – višina

$m$  – masa

$r$  – polmer

$u, v, w$  – komponente pomika točke

$x$  – višina tlačne cone

$x, y, z$  – koordinate

$z$  – ročica notranjih sil

$\sigma_c$  – tlačna napetost betona

$d_g$  – projektni pomik tal

$g$  – težnostni pospešek tal

$q$  – faktor obnašanja

$\gamma_1$  – faktor pomembnosti

$\eta$  – korekcijski faktor, ki upošteva vpliv dušenja

$R_d$  – projektna vrednost nosilnosti

$S_a$  – potresni koeficient za nekonstrukcijske elemente

$T_1$  – osnovni nihajni čas stavbe

$d$  – pomik

$V_{Rd,c}$  – projektna vrednost strižne nosilnosti za elemente brez strižne armature, določena v skladu z EN 1992-1-1

$V_{Ed}$  – prečna sila v steni, določena z analizo za potresno projektno stanje

$V_{ed,max}$  – največja prečna sila na krajišču grede, ki se določi s postopkom načrtovanja nosilnosti

indeksi:

crit – kritični

e – zunanji; izpostavljenost

i – notranji; številka oblike nihanja

j – tekoča številka delne površine ali točka konstrukcije

ref – referenčni

## 2.2 Regularnost konstrukcije in velikost faktorja obnašanja

(EC8-2: poglavje 4.1.8)

Regularnost konstrukcije se določi s pomočjo lokalnega faktorja redukcije potresnih sil, ki ga določimo s spodaj navedeno enačbo.

Enačba za oceno lokalnega faktorja:

$$r_i = \frac{M_{Ed,i}}{M_{Rd,i}} q$$

$r_i$  lokalni faktor redukcije potresnih sil

$q$  faktor obnašanja

$M_{Ed,i}$  projektni upogibni moment

$M_{Rd,i}$  projektna upogibna nosilnost prereza

Na tem mestu je potrebno omeniti, da se izračun faktorja redukcije potresne sile izvede za vsak steber posebej in to dvakrat. Prvič v vzdolžni smeri mostu, nato pa še v prečni smeri.

Z lokalnim faktorjem redukcije potresnih sil lahko ugotovimo, kako kritični so posamezni prečni prerezi stebrov. Večji kot je faktor  $r_i$ , bolj izkoriščen je prerez.

V primeru, ko je kritičen prerez popolnoma izkoriščen, je lokalni faktor redukcije potresnih sil enak globalnemu faktorju obnašanja.



Regularnost konstrukcije določimo iz razmerja največjega in najmanjšega lokalnega faktorja redukcije potresnih sil.

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \leq \rho_0$$

$\rho_0 = 2$  vrednost z nacionalnim dodatkom, določena za Slovenijo

$r_{\max}$  maksimalna vrednost  $r_i$

$r_{\min}$  minimalna vrednost  $r_i$

V nalogi smo upoštevali, da faktor  $r_i$  ne zavzame vrednosti, manjše od 1,0. Razlog za to je opomba v standardu Evrokoda 8/2 poglavje 4.1.8, ki navaja, da se v primerih, ko faktor  $r_{i,\max}$  zavzame vrednost 1,0, most obnaša elastično. Dejstvo pa je, da ne poznamo stanja, ki bi od konstrukcije zahteval večjo nosilnost, kot jo zahteva elastično stanje.

Po definiciji, ki jo navaja zgornja enačba, je konstrukcija neregularna, če se izkoriščenost posameznih kritičnih prerezov ne razlikuje za več kot 2-krat. V primerih, ko  $\rho$  presega vrednost 2, je most neregularen. Tovrstne konstrukcije zahtevajo spremembo (zmanjšanje) faktorja obnašanja, s tem pa povečamo vplive v konstrukciji.

$$q_r = q \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$$

OPOMBA:

Pri računu lahko zanemarimo vse tiste elemente, v katerih je vsota prečnih sil v elementu manjša od 20 % vsote prečnih sil v vseh elementih, ki prenašajo potresno obtežbo. Obravnavamo vsako smer posamezno.

## 2.3 Ocena razpokanosti stebrov pri potresni obtežbi

### 2.3.1 Ocena razpokanosti s pomočjo postopka, navedenega v standardu EC 8/2

V standardu Evrokoda 8/2 se v dodatku ANNEX C nahajajo enačbe za približen izračun razpokanost prečnega prereza stebra. Njihova glavna prednost in namen je ta, da projektantu pripomorejo k hitrejšemu analiziranju konstrukcije. Kot že omenjeno so te vrednosti približne, predvsem pa jih ni mogoče uporabiti za izračun razpokanosti poljubnega prečnega prereza stebra. Enačbe so namreč opredeljene za stebre, katerih prečni prerezi zavzemajo pravokotno ali okroglo obliko.

V ta namen je bil del diplomske naloge namenjen ovrednotenju približnih izračunov razpokanosti za prečni prerez stebra, predstavljen v tretjem poglavju.

Enačbe za oceno razpokanost stebrov:

$$E_c I_{eff} = v \cdot M_{Rd} / \Phi_y$$

$$\Phi_y = 2,1 \cdot \varepsilon_{sy} / d \quad \text{za pravokotne prereze}$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{sy}}{E_s}$$

$$\text{faktor razpokanosti} = \frac{I_{eff}}{I}$$

$E_c$  modul elastičnosti betona

$I_{eff}$  efektivni vztrajnostni moment betonskega prereza

$I$  vztrajnostni moment betonskega prereza

$v$  korekcijski koeficient katerega vrednost zavzema 1,20

$M_{Rd}$  projektna upogibna nosilnost

$\Phi_y$  ukrivljenost prereza na meji tečenja

$\varepsilon_{sy}$  deformacija armature na meji tečenja

$d$  statična višina prečnega prereza

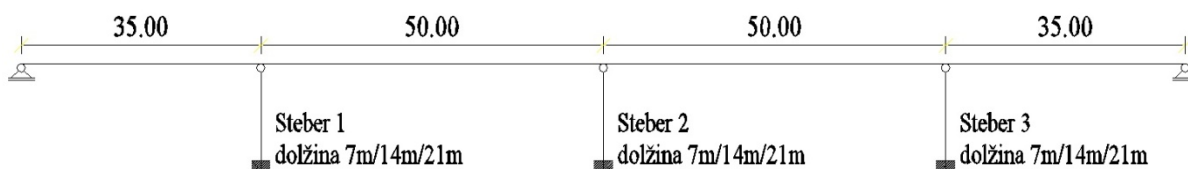
$f_{sy}$  projektna vrednost natezne trdnosti armature

$E_s$  projektna vrednost modula elastičnosti jekla za armiranje

### 3 OPIS ANALIZIRANIH KONSTRUKCIJ

#### 3.1 Geometrija in masa

Obravnavane konstrukcije so mostovi ali viadukti, ki so značilni za avtocestne sisteme v Sloveniji. Prekladna konstrukcija mostu (v nadaljevanju bomo govorili, da je omenjena konstrukcija most in ne most ali viadukt) ima skupno dolžino 170 m in je razdeljena na štiri polja. Dolžini krajnjih polj merita 35 m, sredinski polji pa sta dolgi 50 m. Konstrukcija je podprta s tremi stebri in z dvema opornikoma. Steberi, ki so vpeti v temeljna tla, podpirajo prekladno konstrukcijo preko elastomernih ležišč.

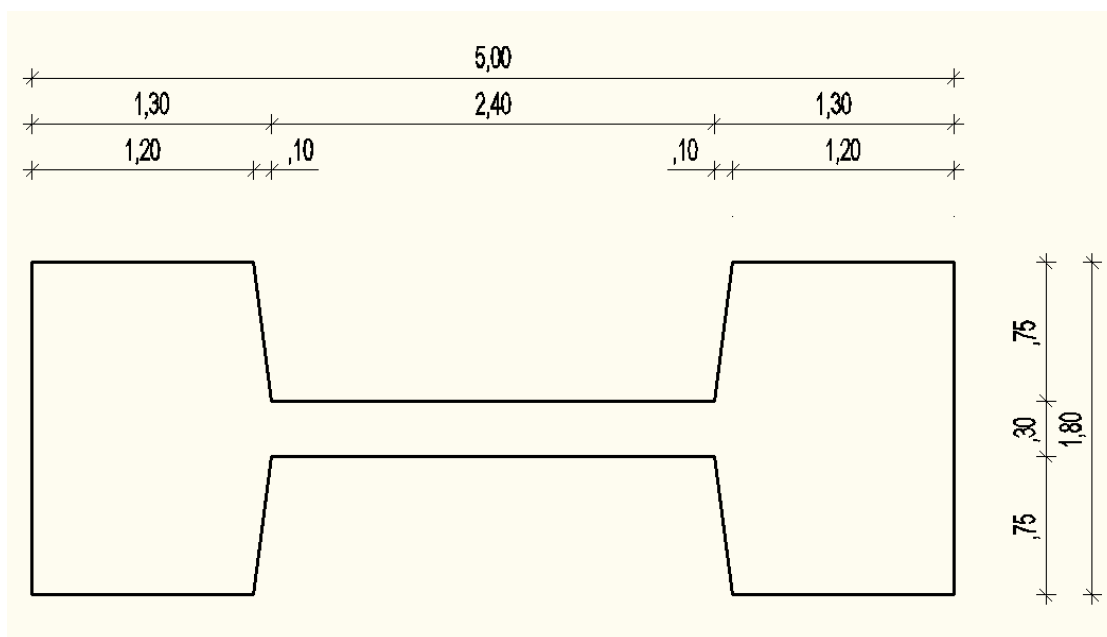


**Slika 1: Osnovna geometrija mostov**

Kot je bilo omenjeno na začetku, se dolžine stebrov spreminjajo glede na obravnavani računski primer. Vsak steber je lahko dolg 7 m, 14 m ali 21 m. Vsega skupaj je možnih 18 različnih kombinacij. Med temi smo izbrali pet reprezentativnih:

- Most 131
- Most 132
- Most 222
- Most 232
- Most 312

Vsi stebri imajo enak prečni prerez, ki je na sliki 2.



**Slika 2: Tipski prečni prerez stebra, uporabljen v naših izračunih**

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$

$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

$A = 5,25 \text{ m}^2$  (površina prečnega prereza stebra)

$I_x = 1,46 \text{ m}^4$  (torzijski vztrajnostni moment)

$I_v = 1,20 \text{ m}^4$  (vztrajnostni moment okoli šibke osi – vzdolžna smer mostu)

$I_p = 16,79 \text{ m}^4$  (vztrajnostni moment okoli močnejše osi – prečna smer mostu)

kakovost jekla S500

$f_{yd} = 50/1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_s = 1,15$

$E_s = 20.000 \text{ kN/cm}^2$

Izračun mase stebra na tekoči meter:

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

$g_s = A \cdot \gamma_B = 5,25 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 131,25 \text{ kN/m} \rightarrow 13,38 \text{ t/m}$

Pri tem je:

$g_s$  – masa stebra na tekoči meter

$A$  – površina prečnega prereza stebra

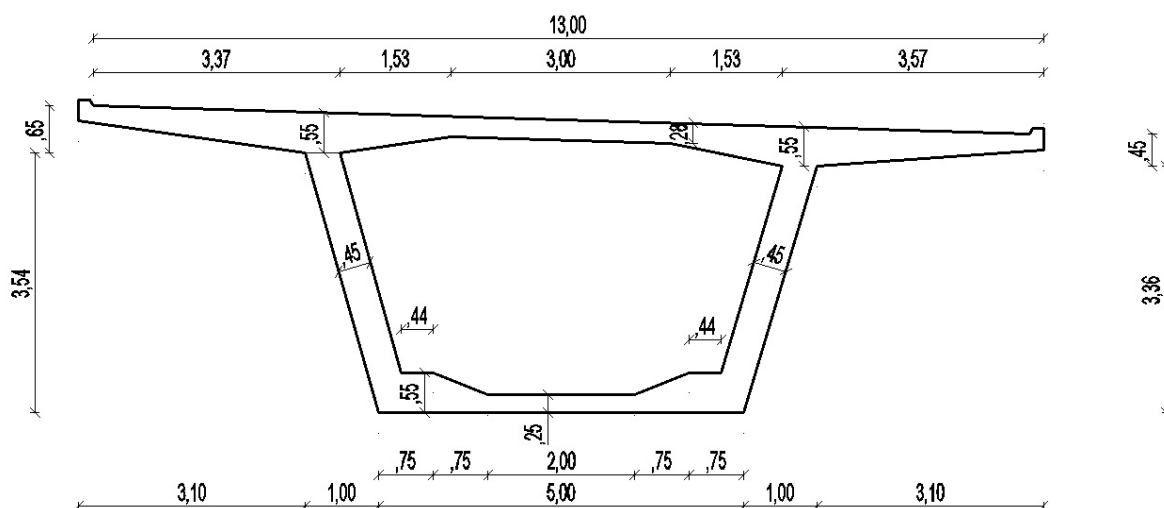
$\gamma_B$  – specifična teža armiranega betona

upoštevana vrednost gravitacije znaša  $9,81 \text{ m/s}^2$

Pravilna postavitev stebra predpisuje, da je krajša stranica (1,80 m) postavljena v vzdolžni smeri, daljša stranica (5,00 m) pa je v prečni smeri.

Prekladna konstrukcija je betonska, s škatlastim prerezemom, prikazana na sliki 3. Beton prekladne konstrukcije je C 35/45.

Armatura prekladne konstrukcije in stebrov je kakovosti S 500.



**Slika 3: Prečni prerez prekladne konstrukcije**

Karakteristike prečnega prereza prekladne konstrukcije:

Beton C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$A = 9,652 \text{ m}^2 \text{ (površina prečnega prereza stebra)}$$

$$I_x = 36,469 \text{ m}^4 \text{ (torzijski vztrajnostni moment)}$$

$$I_y = 21,499 \text{ m}^4 \text{ (vztrajnostni moment okoli šibke osi)}$$

$$I_z = 95,976 \text{ m}^4 \text{ (vztrajnostni moment okoli močnejše osi)}$$

kakovost jekla S500

$$f_{yd} = 50/1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$E_s = 20.000 \text{ kN/cm}^2$$

Izračun mase preklade na tekoči meter:

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

$$g_{p,b} = A \cdot \gamma_B = 9,652 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 241,3 \text{ kN/m} \rightarrow 24,60 \text{ t/m}$$

$$g_{p,o} = 4,87 \text{ t/m} \rightarrow 47,77 \text{ kN/m}$$

$$g_p = g_{p,b} + g_{p,o} = 241,3 \text{ kN/m} + 47,77 \text{ kN/m} = 289,1 \text{ kN/m} \rightarrow 29,47 \text{ t/m}$$

Pri tem je:

$g_{p,b}$  – masa betonskega dela prekladne konstrukcije

$g_{p,o}$  – masa opreme mostu (asfalt, hodniki, robni venci in ograja)

$A$  – prečni prerez prekladne konstrukcije

$\gamma_B$  – specifična teža armiranega betona

upoštevana vrednost gravitacije znaša  $9,81 \text{ m/s}^2$

## 3.2 Materiali

Kot je že v naslovu napisano, so konstrukcije v tej nalogi iz armiranega betona, zato bomo v poglavju materiali na kratko predstavili beton in jeklo, kaj so to karakteristične in projektne vrednosti ter kaj pomenijo varnostni faktorji materiala in kako jih uporabimo.

### 3.2.1 Beton

(EC2-1-1, Odstavek 3.1)

V splošnem delimo betone na običajne betone in betone visoke trdnosti. Betoni so razdeljeni v posamezne razrede tlačne trdnosti (na primer C25/30, včasih so veljale oznake MB oziroma marka betona). Prva vrednost je karakteristična vrednost trdnosti, določena na standardnem valju, druga vrednost pa je karakteristična vrednost trdnosti, določena na standardni kocki.

Priprava, izdelava in negovanje betona ter izmere, dobljene na preizkušancih, so opredeljene s standardom. Starost betona, ko preide v fazo preizkušanja in testiranja, je običajno 28 dni.

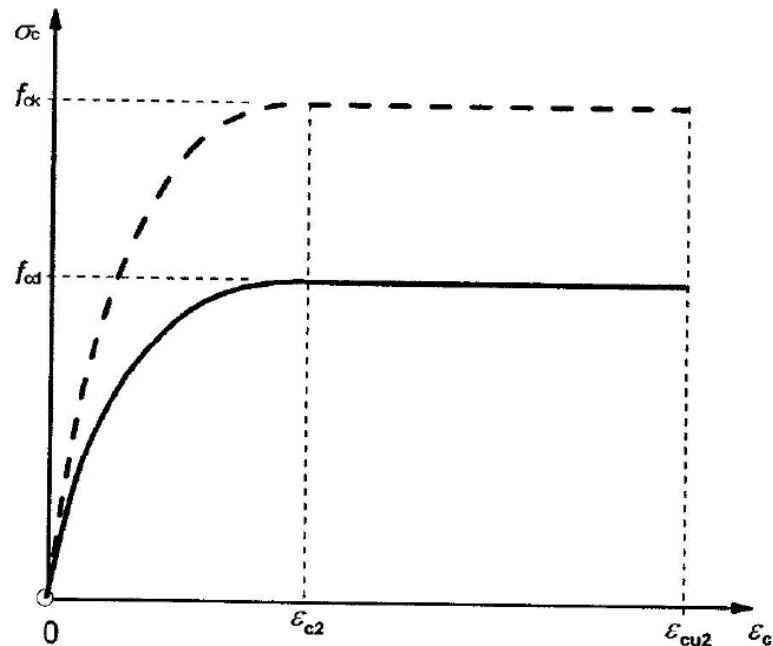
Pri projektiranju namesto karakterističnih upoštevamo projektne vrednosti lastnosti materiala. Te določimo tako, da karakteristične vrednosti zmanjšamo z delnimi varnostnimi faktorji, ki jih opredeljuje standard za betonske konstrukcije EC2.

### **Preglednica 2: Delni varnostni faktorji za materiale v mejnem stanju nosilnosti (EC2: Preglednica 2.1)**

Projektna stanja	$\gamma_c$ za beton	$\gamma_s$ za mehko armaturo	$\gamma_s$ za prednapeto armaturo
Stalna in začasna	1,5	1,15	1,15
Nezgodna	1,2	1	1

(EC2-1-1, Odstavek 3.1.7)

Opis in odvisnost med deformacijo in napetostjo nam podaja delovni diagram za beton. Na osnovi projektne tlačne trdnosti dobimo zvezo med napetostjo in deformacijo v betonu – delovni diagram. Naslednji je prikazan na spodnji sliki, ustrezne enačbe pa so podane v nadaljevanju.



Slika 4: Delovni diagram tlačnega betona, podan s parabolo in premico (EC2-1-1)

$$\sigma_c = f_{cd} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

kjer so:

$\sigma_c$  – tlačna napetost betona

$\varepsilon_c$  – tlačna deformacija betona

n – eksponent iz preglednice 3.1 standarda EC2

$\varepsilon_{c2}$  – deformacija pri doseženi največji napetosti iz preglednice 3.1 standarda EC2

$\varepsilon_{cu2}$  – mejna deformacija v skladu s preglednico 3.1 standarda EC2

V nalogi so bile uporabljene naslednje vrednosti:

- za prekladno konstrukcijo se je uporabil beton C35/45  
 $\sigma_c$  – izračunana vrednost na podlagi izbrane deformacije  $\varepsilon_c$   
 $n = 2,0$   
 $\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$   
 $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$   
 $f_{cd} = 35 \text{ mPa}/1,5 = 23,33 \text{ MPa}$



- za stebre mostu pa je bil izbran beton, katerega razred tlačne trdnosti je C30/37

$\sigma_c$  – izračunana vrednost na podlagi izbrane deformacije  $\epsilon_c$

$$n = 2,0$$

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$f_{cd} = 30 \text{ mPa} / 1,5 = 20 \text{ mPa}$$

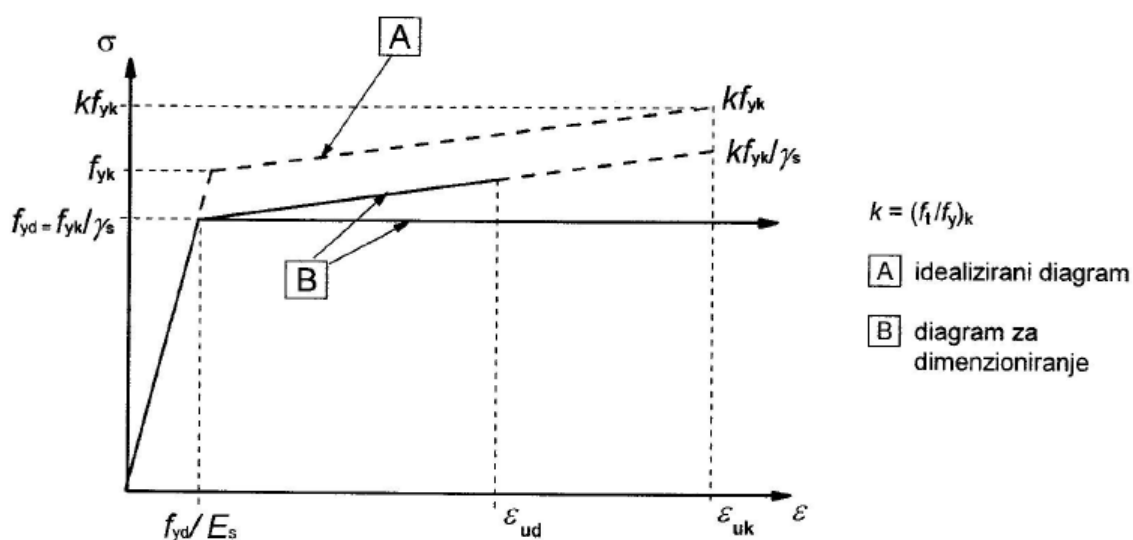
### 3.2.2 Jeklo za armiranje

Jeklo za armiranje se je začelo uporabljati zaradi pomanjkanja nosilnosti betona v predelu konstrukcij, obremenjenih z nategom. Razlog uporabe jekla in betona v kombinaciji leži v temperaturnem koeficientu raztezka. Ta je namreč pri obeh materialih skoraj enak.

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

Podobno kot pri betonu nam tudi pri jeklu odvisnost med deformacijo in napetostjo prikazuje delovni diagram za jeklo. Ker je dejanski diagram, ki prikazuje odvisnost med napetostjo in deformacijo, zelo razgiban, nam standard za potrebe dimenzioniranja dopušča uporabo idealiziranega diagrama, kakršen je prikazan na spodnji sliki.

V tej nalogi je bila uporabljena druga različica idealizacije, pri kateri je zgornja veja diagrama vodoravna.



Slika 5: Idealiziran diagram napetost – deformacija (EC2-1-1: Slika 3.8)

Opredelitev oznak, uporabljenih na grafu:

$f_{yk}$	karakteristična meja elastičnosti armature
$f_{yd}$	projektna meja elastičnosti armature
$\gamma_s$	delni varnostni faktor za jeklo za armiranje
$k$	razmerje med natezno trdnostjo armature in mejo elastičnosti armature
$E_s$	projektna vrednost modula elastičnosti jekla za armiranje
$\epsilon_{ud}$	projektna deformacija armature pri največji obremenitvi
$\epsilon_{uk}$	karakteristična deformacija armature pri največji obremenitvi

Zgornji simboli v tej diplomski nalogi zavzamejo naslednje vrednosti:

$$f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 50/1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$E_s = 20.000 \text{ kN/cm}^2$$

$$\epsilon_{ud} = 10 \text{ ‰}$$

### 3.3 Potresna obtežba

Pri projektiranju po Evrokodu 8 je pomembno poudariti, da konstrukcij običajno ne projektiramo tako, da prestanejo potresno obtežbo nepoškodovane. Poškodbe, ki jih dovoljujemo v konstrukciji, pa ne smejo biti takšne, da privedejo do krhke porušitve. Konstrukciji moramo zato zagotoviti zadostno sposobnost sipanja potresne energije.

Obravnavale so se mostne konstrukcije, za katere je postopek projektiranja za vpliv potresne obtežbe določen v standardu Evrokod 8/2.

Po standardu za tovrstne primere dovoljena redukcija potresnih sil znaša največ 3,5 za regularne konstrukcije (faktor obnašanja  $q=3,5$ ). V neregularnih konstrukcijah je dovoljena redukcija potresnih sil manjša.

V okviru te diplomske naloge smo uporabljali predpostavke, ki se pojavljajo v praksi. Tako začetni faktor obnašanja znaša  $q = 3,5$  (Pozneje se pri določenih različicah mostu izkaže, da zaradi neregularnosti mostu uporabimo faktor obnašanja, ki je različen od  $q = 3,5$ . Prav tako na spremembo faktorja obnašanja vpliva razmerje med razdaljo plastičnega členka in točko, v kateri je moment 0, ter višino prereza v smeri upogiba h.)

Projektni spekter za elastično analizo

(EC8-1: poglavje 3.2.2.5)

Izboru tipa tal sledi izračun spektra odziva. Vse mostove smo računali posebej v vzdolžni in posebej v prečni smeri. Uporabljen je bil projektni spekter pospeškov.

Projektni spektri so, preprosto povedano, elastični spektri, kateri so reducirani s faktorjem obnašanja  $q$ . Ta faktor je odvisen od duktilnosti, ki jo predpiše oziroma izbere projektant, duktilnosti, s katero razpolaga konstrukcija, ter razmerja med dejansko nosilnostjo in nosilnostjo, ki jo zahteva predpis.

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[ \frac{T_C}{T} \right]; \quad \geq \beta a_g$$

$$T_D \leq T \leq 4s \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad \geq \beta a_g$$

Pomen oznak v zgornjih enačbah je naslednji:

$S_d(T)$  projektni spekter odziva

$q$  faktor obnašanja

$a_g$  projektni pospešek tal

$T_B$  spodnja meja nihajnega časa na območju platoja konstantnih spektralnih pospeškov

$T_C$  zgornja meja nihajnega časa na območju platoja konstantnih spektralnih pospeškov

$T_D$  vrednost nihajnega časa, pri kateri se začne območje konstantne vrednosti spektralnih pomikov

$S$  faktor kategorije tal

$\beta$  faktor, ki določa spodnjo mejo pri vodoravnem projektnem spektru

Pri določanju faktorja obnašanja je potrebno upoštevati določila standarda, ki so povzeta v nadaljevanju.

Ker so vse obravnavane konstrukcije armiranobetonske in ker je potresni odziv navpičnih upogibno obremenjenih stebrov duktilen, se faktor obnašanja reducira po spodnjih enačbah.

$$q_r = 3,5 \cdot \lambda(\alpha_s)$$

$$\lambda(\alpha_s) = 1,0 \rightarrow \text{za } \alpha_s \geq 3,0$$

$$\lambda(\alpha_s) = \sqrt{\frac{\alpha_s}{3}} \rightarrow \text{za } 3,0 > \alpha_s \geq 1,0$$

$$\alpha_s = \frac{L}{h}$$

kjer je:

L – razdalja med plastičnim členkom in točko, v kateri je moment enak 0

h – višina prereza v smeri upogiba

$\alpha_s$  – strižni razpon konstrukcije

$\lambda(\alpha_s)$  – redukcijski faktor v odvisnosti od strižnega razpona konstrukcije

$q_r$  – reduciran faktor obnašanja

Ker je višina prereza v vzdolžni smeri 1,80 m, višine stebrov pa so 7 m, 14 m in 21 m, faktor obnašanja vedno ohranja vrednost 3,5.

Prečna smer zaradi višine prečnega prereza, ki znaša 5,00 m, zahteva zmanjšanje faktorja obnašanja.

Standard dodatno zahteva, da se preveri eventualni presežek normirane osne sile. Ker so bili vsi faktorji  $\eta_k$  manjši od 0,3, redukcija faktorja obnašanja preko te zahteve ni bila potrebna.

Enačbe, po katerih se preveri normirana osna sila.

$$\eta_k = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{ck}}$$

$$\text{če je } \eta_k < 0,3 \rightarrow q_r = q$$

$$\text{če je } 0,3 < \eta_k \leq 0,6 \rightarrow q_r = q - \frac{\eta_k - 0,3}{0,3} \cdot (q - 1) \geq 1,0$$

$$\text{če je } \eta_k > 0,6 \rightarrow q_r = 1,0$$

Pri čemer so:

$N_{Ed}$  – projektna vrednost osne sile

$A_c$  – ploščina prečnega prereza stebra

$f_{ck}$  – karakteristična vrednost tlačne trdnosti betona

$q$  – faktor obnašanja

$q_r$  – reducirani faktor obnašanja

Izračuni na podlagi katerih se bodo upoštevale redukcije.

Steber dolžine 7 m – prečna smer:

*Vhodni podatki:*

$$L = 7 \text{ m}, h = 5 \text{ m}, q = 3,5$$

$$\alpha_s = \frac{L}{h} = \frac{7m}{5m} = 1,40 \rightarrow \lambda(\alpha_s) = \sqrt{\frac{\alpha_s}{3}} = \sqrt{\frac{1,40}{3}} = 0,683$$

$$q_r = 3,5 \cdot \lambda(\alpha_s) = 3,5 \cdot 0,683 = 2,39$$

Steber dolžine 14 m – prečna smer:

*Vhodni podatki:*

$$L = 14 \text{ m}, h = 5 \text{ m}, q = 3,5$$

$$\alpha_s = \frac{L}{h} = \frac{14m}{5m} = 2,80 \rightarrow \lambda(\alpha_s) = \sqrt{\frac{\alpha_s}{3}} = \sqrt{\frac{2,80}{3}} = 0,97$$

$$q_r = 3,5 \cdot \lambda(\alpha_s) = 3,5 \cdot 0,97 = 3,40 \Rightarrow q_r = 3,50$$

Steber dolžine 21 m – prečna smer:

*Vhodni podatki:*

$$L = 21 \text{ m}, h = 5 \text{ m}, q = 3,5$$

$$\alpha_s = \frac{L}{h} = \frac{21m}{5m} = 4,2 \rightarrow \lambda(\alpha_s) = 1,0$$

$$q_r = 3,5 \cdot \lambda(\alpha_s) = 3,5 \cdot 1,0 = 3,5$$

Tako ugotovimo, da je v mostovih, v katerih nastopajo stebri z dolžino 14 m in/ali 21 m, faktor obnašanja enak v vzdolžni in prečni smeri, vrednost pa je 3,5. V kombinacijah, kjer nastopajo stebri z dolžino 7 m, je vzdolžni faktor obnašanja 3,5, prečni pa zavzame vrednost 2,39. Posamezni faktorji obnašanja, glede na obravnavani primer, so prikazani v preglednici 3.

**Preglednica 3: Faktorji obnašanja za vzdolžno in prečno smer**

Kombinacija:	$q_{\text{vzdolžno}}$	$q_{\text{prečno}}$
Most 131	$q_v = 3,5$	$q_p = 2,39$
Most 132	$q_v = 3,5$	$q_p = 2,39$
Most 222	$q_v = 3,5$	$q_p = 3,50$
Most 232	$q_v = 3,5$	$q_p = 3,50$
Most 312	$q_v = 3,5$	$q_p = 2,39$

V preglednici 4 sta prikazana osnovna (vhodni) projektna spektra pospeškov, ki smo ju uporabili. Zaradi lažje primerjave je na grafu dodatno prikazana krivulja, ki opisuje elastični odziv konstrukcije.

**Preglednica 4: Osnovna projektna spektra pospeškov**

Projektni spekter pospeškov  
za  $q = 1,0$

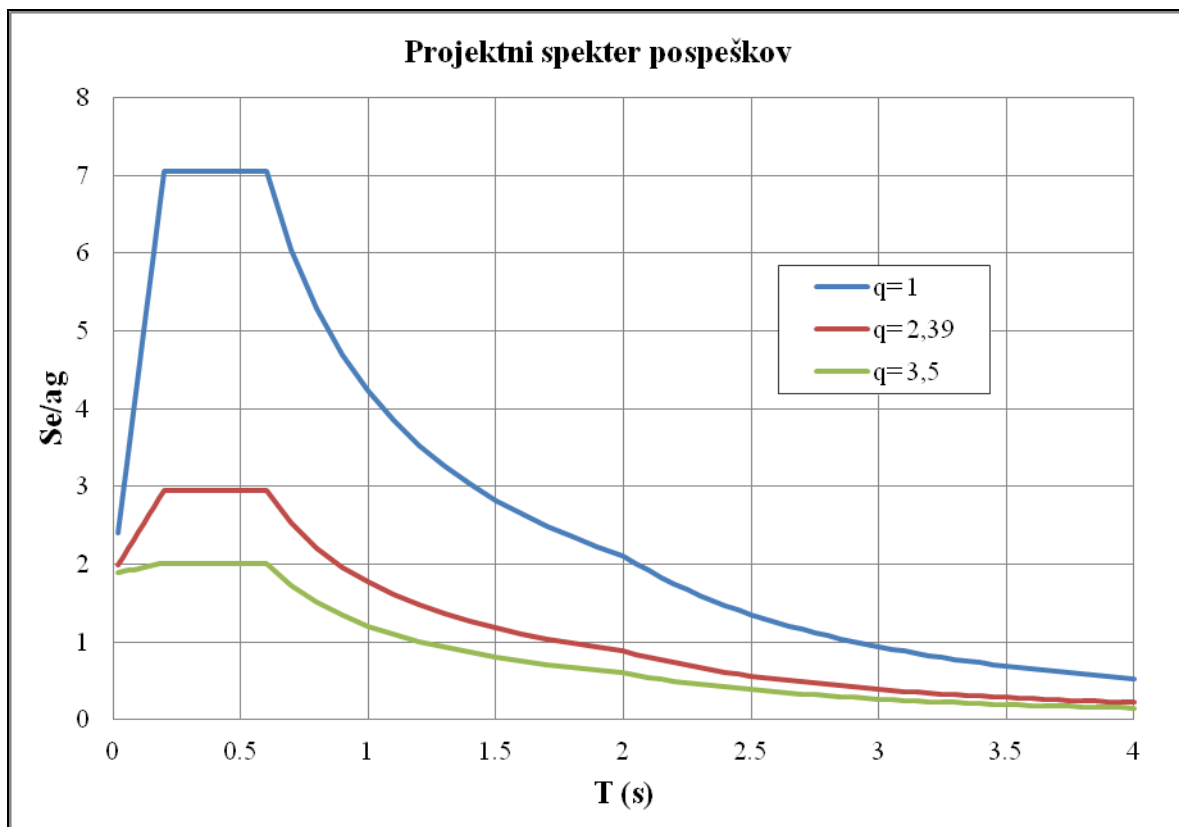
	T	Sd
	0,02	2,40
	0,04	2,91
	0,18	6,53
<b>Tb</b>	0,2	7,05
<b>Tc</b>	0,6	7,05
	0,7	6,04
	0,8	5,29
	1,9	2,23
<b>Td</b>	2	2,12
	2,05	2,01
	2,1	1,92
	3,95	0,54
	4	0,53

Projektni spekter pospeškov  
za  $q = 2,39$

	T	Sd
	0,02	1,99
	0,04	2,09
	0,18	2,84
<b>Tb</b>	0,2	2,95
<b>Tc</b>	0,6	2,95
	0,7	2,53
	0,8	2,21
	1,9	0,93
<b>Td</b>	2	0,89
	2,05	0,84
	2,1	0,80
	3,95	0,23
	4	0,22

Projektni spekter pospeškov  
za  $q = 3,5$

	T	Sd
	0,02	1,89
	0,04	1,91
	0,18	2,00
<b>Tb</b>	0,2	2,01
<b>Tc</b>	0,6	2,01
	0,7	1,73
	0,8	1,51
	1,9	0,64
<b>Td</b>	2	0,60
	2,05	0,58
	2,1	0,55
	3,95	0,15
	4	0,15



**Slika 6: Projektne spektri pospeškov (odziv  $Se/a_g$  glede na nihajni čas  $T$ )**

Tip tal C

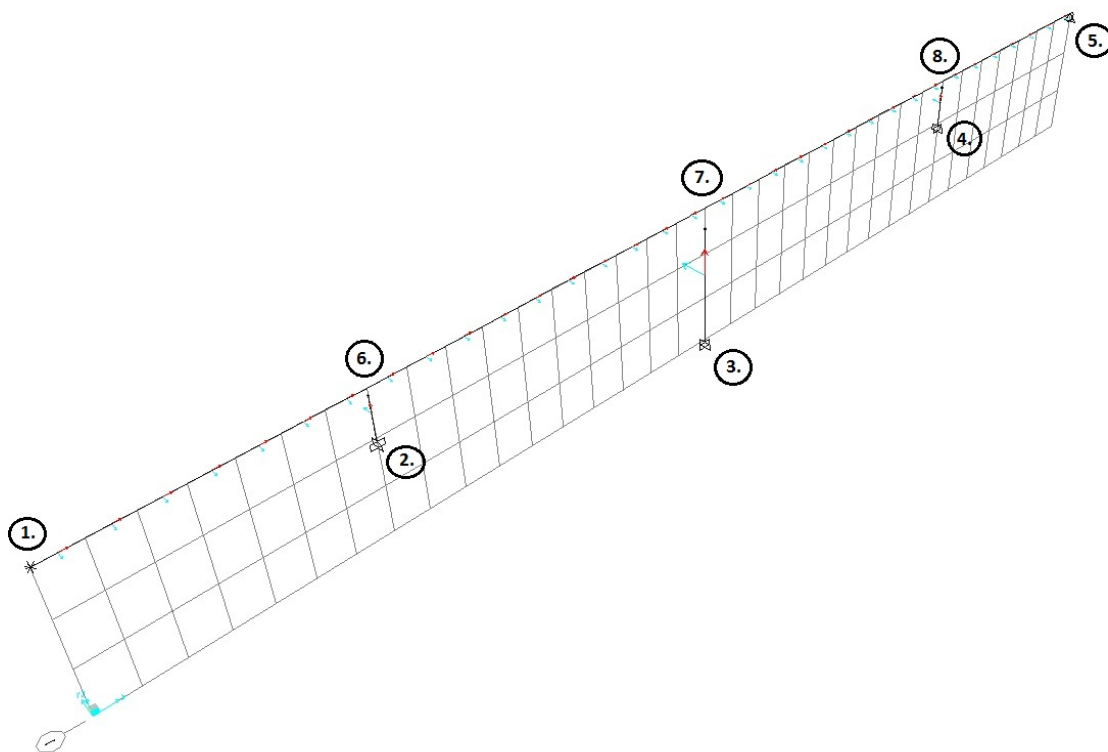
$T_B = 0,2$  s,  $T_C = 0,6$  s,  $T_D = 2,0$  s,  $a_g = 0,25$  g

### 3.4 Model konstrukcije

Model konstrukcije bo predstavljen na Mostu 131. Za lažje razumevanje je potrebno definirati usmerjenost globalnih osi. X os je usmerjena vzdolž mostu in z os je usmerjena navpično. Ker je koordinatni sistem desnosučni, je y os usmerjena v list.

Ne glede na dolžine stebrov so podpore v vseh kombinacijah vedno enake.

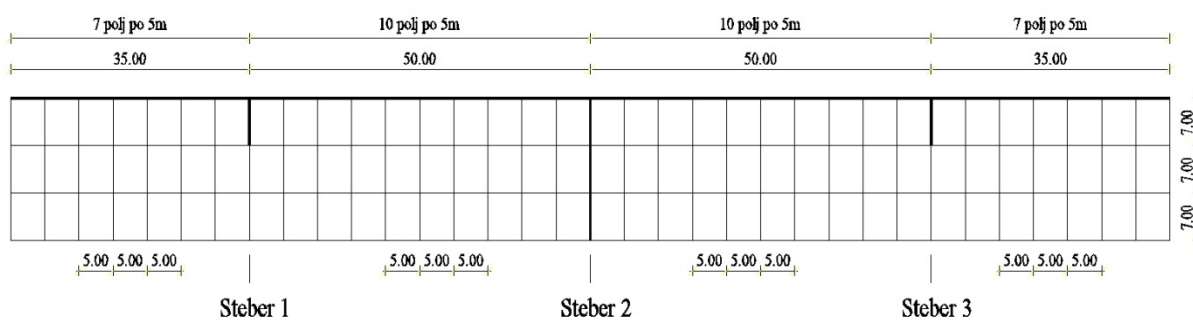
- 1. podpora – omogoča pomik v smeri x in zasuke okoli osi y in z, preprečuje pa pomike v smeri y in z
- 2., 3., 4. podpora – ne omogočajo nikakršnih pomikov ali zasukov, konstrukcija je vpeta
- 5. podpora – omogoča pomik v smeri x in zasuke okoli osi x, y in z, preprečuje pa pomike v smeri y in z
- 6., 7. in 8. povezava – dovoljuje zasuke okoli globalne osi x in y, preprečuje pa vse vrste pomikov in zasuk okoli osi z



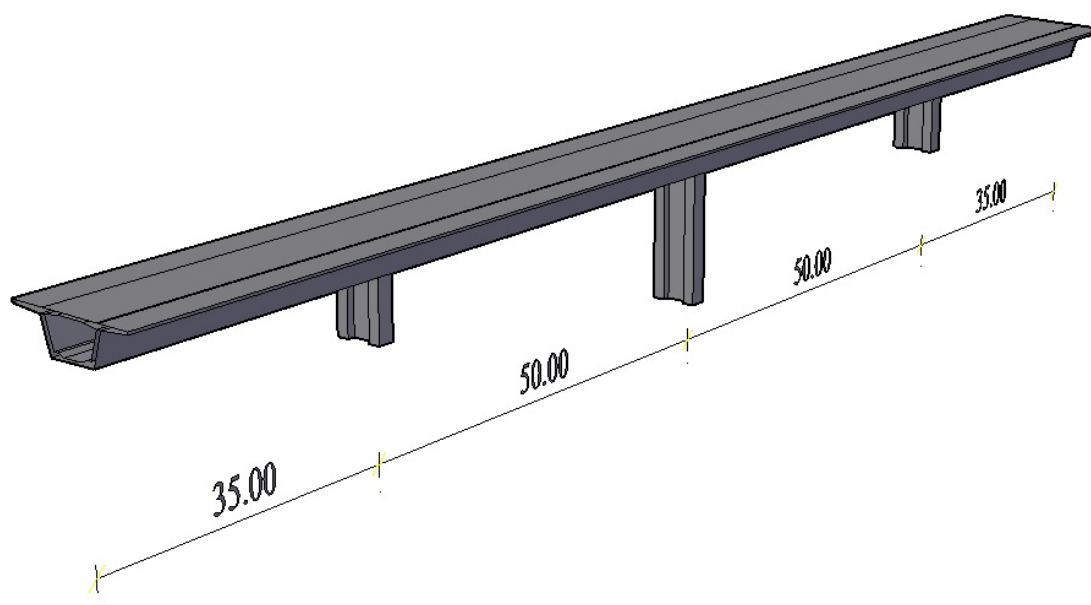
Slika 7: Linijski model mostu 131 v programu SAP 2000



Pri izdelavi modela smo upoštevali zahtevo programa SAP 2000 in rastrsko mrežo, na kateri je izrisan model konstrukcije, prilagodili na ta način, kot se bodo pozneje koncentrirale mase. Tako je mreža vzdolžno razdeljena na 34 polj po 5 m, navpično pa na 3 polja po 7 m. Slika 8 prikazuje osnovno rastrsko mrežo, ki smo jo uporabljali med celotno nalogo.



**Slika 8: Rastrska mreža**



**Slika 9: 3D model mostu 131, izdelan v programu AutoCAD**

## 4 POTRESNA ANALIZA IZBRANIH KONSTRUKCIJ

### 4.1 Opis postopka analize in dimenzioniranja

V tem poglavju je podrobneje predstavljen postopek analize in dimenzioniranja obravnavanih mostov, in sicer na primeru mostu 131.

Vsi izračuni se začnejo z izdelavo ustreznega spektra pospeškov, ki je odvisen od dolžine stebrov, regularnosti mostu in tipa tal, ki smo ga izbrali. Zato se faktor obnašanja, glede na stopnjo iteracije, spreminja od primera do primera. Dodati je potrebno še opombo, da se za vzdolžno in prečno smer faktor obnašanja ne določa enotno, ampak ga vedno določamo za vsako smer posebej.

Naslednji podatki so bili uporabljeni za vse kombinacije mostov:

Tip tal C, za katerega so značilni spodnji parametri.

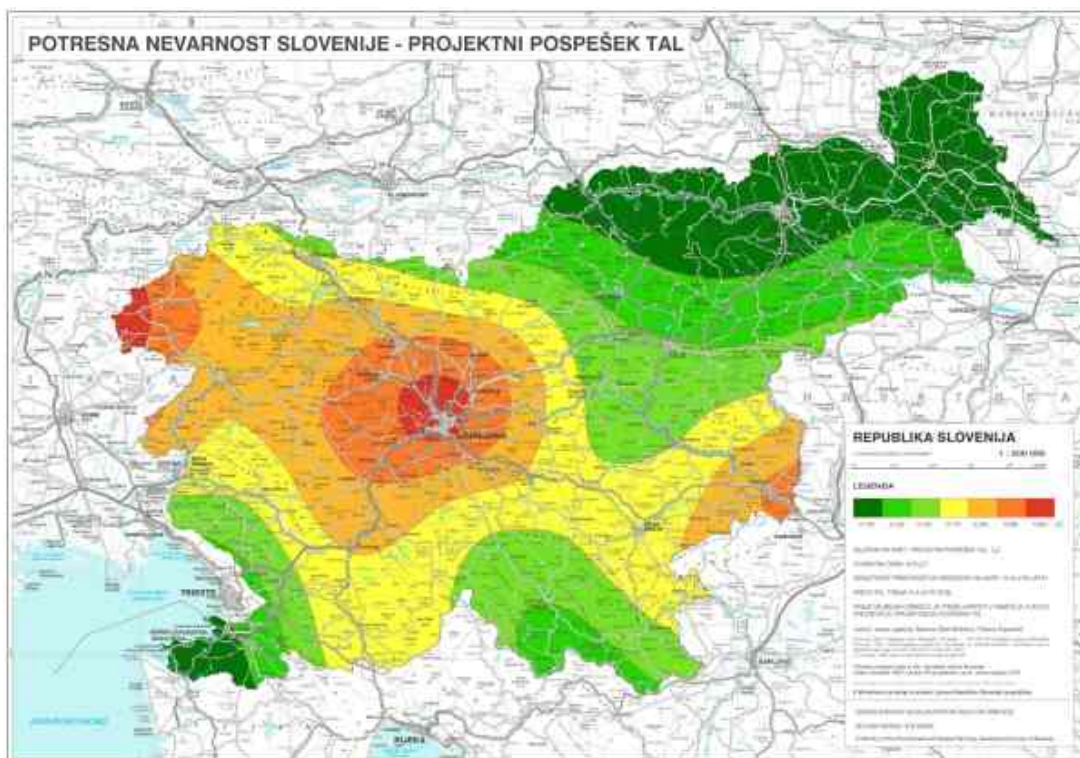
#### Preglednica 5: Podatki za tip tal C

S	Tb	Tc	Td
0,15	0,2	0,6	2

Ker želimo simulirati, kako se konstrukcija obnaša v prostoru Slovenije, je potrebno upoštevati nacionalne dodatke. Za uspešno določitev spektra pospeškov je potrebno izbrati ag (tako imenovan projektni pospešek tal), ki ga določa graf projektnih pospeškov, dostopen na ARSO.

V našem primeru smo izbrali:

ag = 0,25·g ..... za primer lokacije v okolici Ljubljane

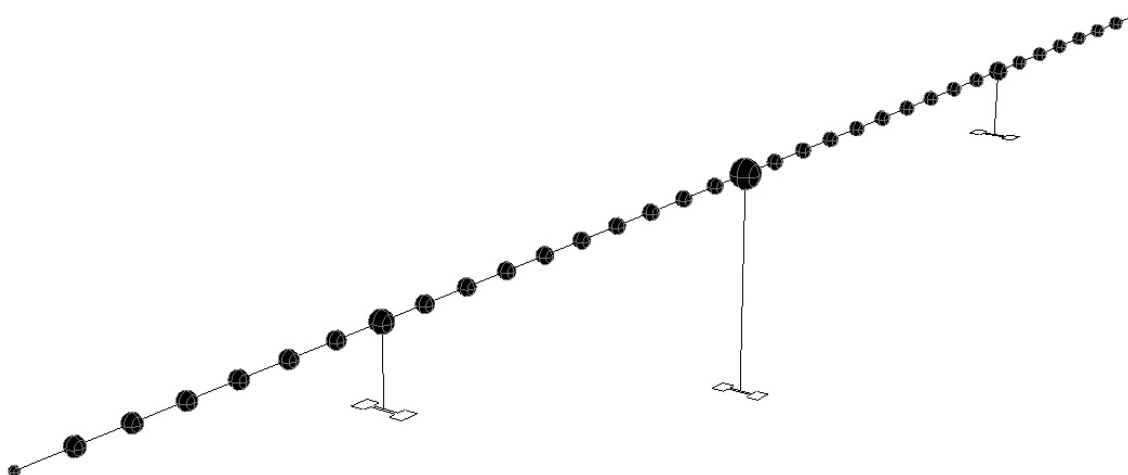


**Slika 10: Karta projektnih pospeškov tal za posamezno lokacijo (ARSO)**

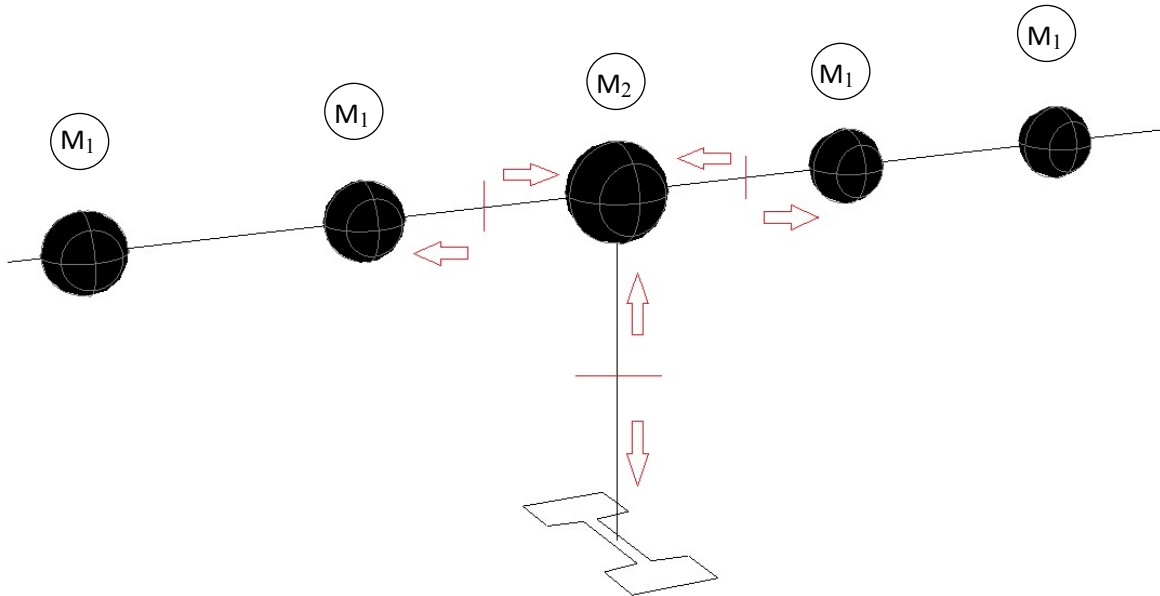
Vrednosti porazdeljenih obtežb, ki smo jih upoštevali v obravnavanih mostovih, so naslednje:

- Steber:  $131,25 \text{ kN/m}$  ali  $13,38 \text{ t/m}$
- Preklada:  $289,1 \text{ kN/m}$  ali  $29,47 \text{ t/m}$

Maso smo modelirali tako, kot je prikazano na slikah 11 in 12.



**Slika 11: Shema porazdelitve mas na primeru mostu 131**



**Slika 12: Podrobna shema porazdelitve mase preklade in stebra z dolžino 7 m**

*Predstavitev izračunov posameznih mas:*

$$M_1 = g_p \cdot l_p = 29,47t/m \cdot 2 \cdot 2,50m = 147,35t$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \text{mase stebra} + g_p \cdot l_p = \frac{1}{2} \cdot g_s \cdot l_s + g_p \cdot l_p \\ = \frac{1}{2} \cdot 13,38t/m \cdot 7m + 29,47t/m \cdot 2 \cdot 2,50m = 194,18t$$

Pri čemer je:

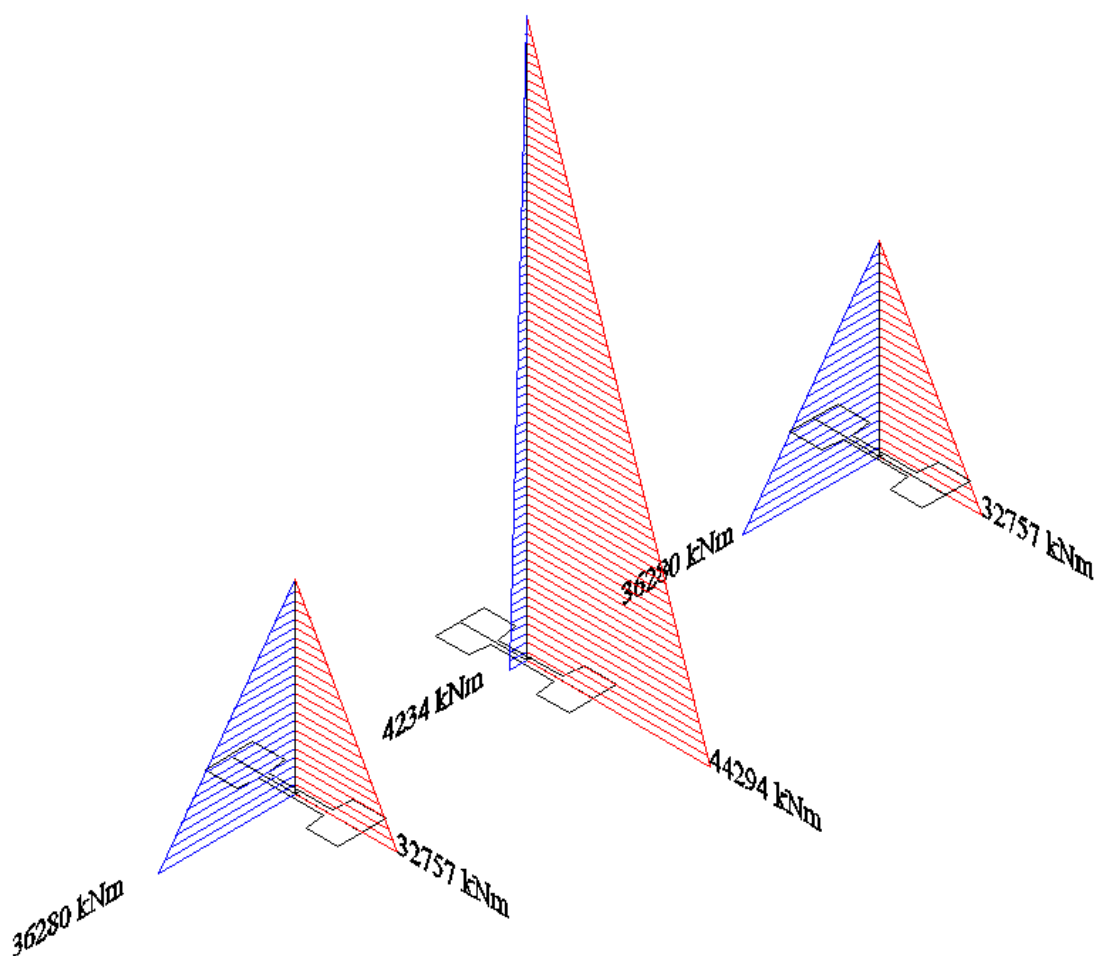
$g_p$  – masa prekladne konstrukcije na tekoči meter

$l_p$  – dolžina odseka prekladne konstrukcije, ki se koncentrira v eno točko

$g_s$  – masa stebra na tekoči meter

$l_s$  – celotna višina stebra

Po ustrezno izvedeni koncentraciji mas je potrebno ustvariti obtežne primere. Nato se izvede izračun, s pomočjo katerega smo pridobili podatke o notranjih silah, nihajnih oblikah in nihajnih časih. Slika 13 prikazuje upogibne momente za nerazpokano stanje mosta 131.



Slika 13: Upogibni momenti za vzdolžno in prečno smer (most 131 – nerazpokano stanje)

Vsi pridobljeni podatki se nato uporabijo za določitev obtežnih kombinacij. Ker smo v tej diplomski nalogi pozornost posvetili potresu in njegovemu vplivu na konstrukcijo, je osnovna obtežna kombinacija samo ena.

Obtežna kombinacija:  $K=1,0 \cdot G + 1,0 \cdot E$

G – vpliv stalne obtežbe konstrukcije. Sem sodijo lastna teža preklade, hodniki, robni venci, zaključne plasti asfaltbetona, hidroizolacija in teža ograje.

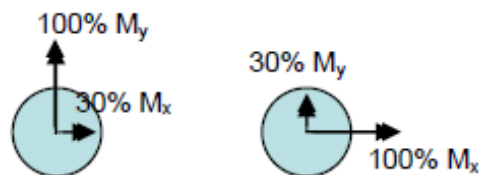
E – potresni vpliv

K – obtežna kombinacija

Ker smo iz programa pridobili notranje sile za posamezen vpliv in ne notranjih sil za obtežno kombinacijo, je potrebno kombinacije tvoriti posebej.

Na tem mestu je potrebno opozoriti na poglavje 4.3.3.5.1 standarda EC 8/1, ki opisuje način, kako se kombinirajo potresni vplivi v posameznih smereh.

Spodnja slika predstavlja kombinacijo učinkov potresnih vplivov. Tako prva kombinacija upošteva celoten vpliv potresa v vzdolžni smeri in 30 % vpliva potresa, ki deluje v prečni smeri, v drugi kombinaciji pa se upošteva celoten vpliv v prečni smeri in 30 % vpliva potresa, ki deluje v vzdolžni smeri.



Slika 14: Kombinaciji učinkov potresnih vplivov

### Preglednica 6: Obtežne kombinacije mosta 131

#### KOMBINACIJE

##### Vzdolžno celota, prečno 30%

		preč.	vzdolž.	vzdolž.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1 in 3	-14509	1404	5183	36280	9827,1
Steber 2	-17612	632,7	202	4234	13288,2

##### Prečno celota, vzdolžno 30%

		preč.	vzdolž.	vzdolž.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1 in 3	-14509	4680	1554,9	10884	32757
Steber 2	-17612	2109	60,6	1270,2	44294

Karakteristike prečnega prereza stebra:

$$A = 5,25 \text{ m}^2 \text{ (površina prečnega prereza stebra)}$$

$$I_x = 1,46 \text{ m}^4 \text{ (torzijski vztrajnostni moment)}$$

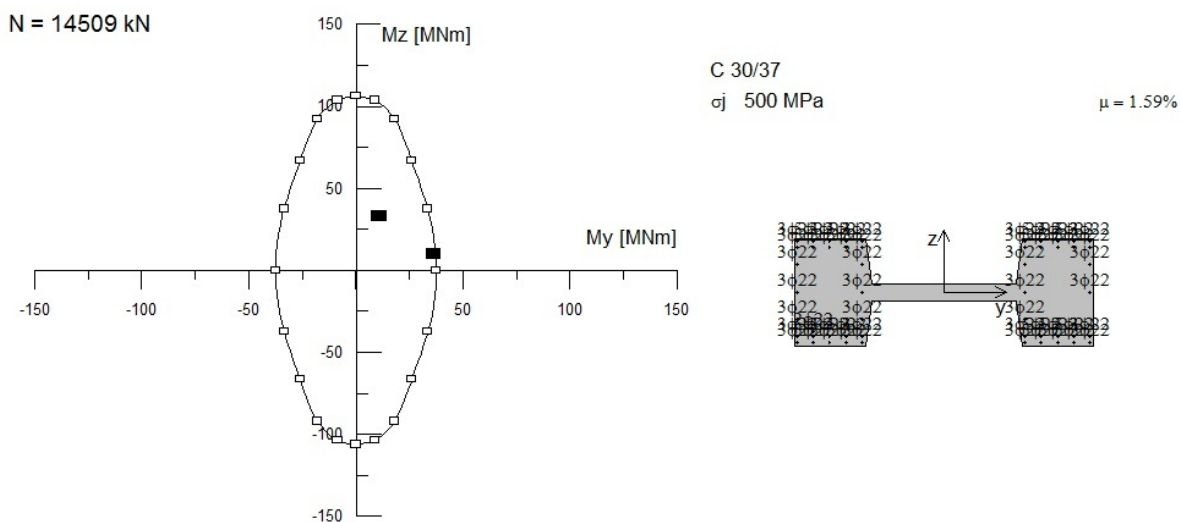
$$I_v = 1,20 \text{ m}^4 \text{ (vztrajnostni moment okoli šibke osi – vzdolžna smer mostu)}$$

$$I_p = 16,79 \text{ m}^4 \text{ (vztrajnostni moment okoli močnejše osi – prečna smer mostu)}$$

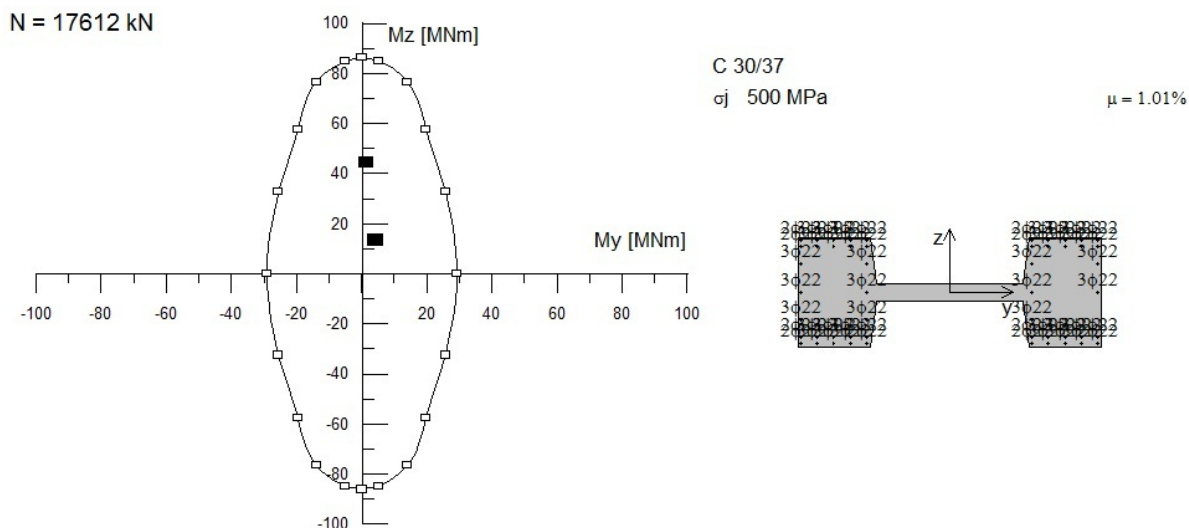
Trenutno imamo vse potrebne podatke za prvo dimenzioniranje armature.

Dimenzioniranje poteka v programu DIAS-P. Bistvo uporabe programa je v tem, da pridobimo podatek o količini potrebne armature za podane obtežne kombinacije.

Steber smo armirali z minimalno (1 %) vzdolžno armaturo v vseh primerih, kjer so to dopuščale obremenitve. V obravnavanem primeru je tako armiran steber v osi 2, stebra v osi 1 in 3 pa smo armirali z močnejšo armaturo, ki znaša 1,59 % ploščine prečnega prereza stebra.

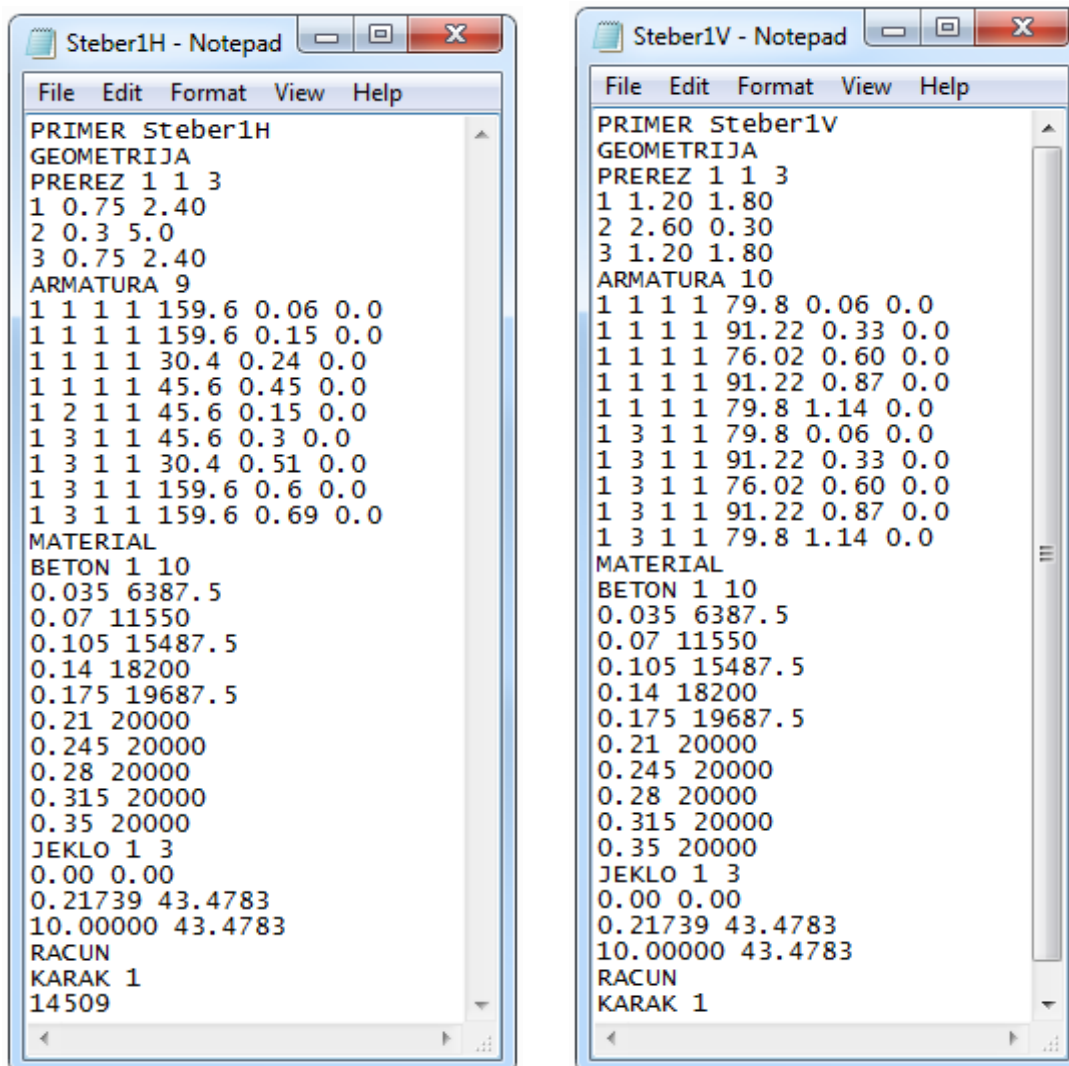


Slika 15: Interakcijski diagram stebra 1 in 3 v mostu 131



Slika 16: Interakcijski diagram stebra 2 v mostu 131

Nadaljnje podatke za uspešno analizo konstrukcije pridobimo s pomočjo programa DIAS-B. Pogoji za njegovo uporabo je predhodno natančno določena pozicija in količina armaturnih palic, kar smo že storili s programom DIAS-P.



**Slika 17: Vhodni podatki za program DIAS-B – most 131, steber 1 in 3 (Leva slika predstavlja vhodne podatke za vzdolžno smer, medtem ko desna slika predstavlja podatke v prečni smeri)**



Izpis na slikah 18 in 19, pridobljeni s pomočjo specialnega programa DIAS-B, ki omogoča izračun efektivnega vztrajnostnega momenta, zajemajo podatke o dejanskih mejnih momentih in ukrivljenosti, podatke o točki (moment in ukrivljenost), pri kateri steče prva vrsta armaturnih palic in tabelarni izpis, ki je podlaga za izdelavo grafa.

Kot je bilo že navedeno, je potrebno za vsak steber izvesti dva izračuna, saj program ne omogoča pridobitve podatkov za obe smeri v enem samem izračunu.

```
=====
FAGG          P R O G R A M    D I A S          STRAN  4
PRIMER Steber1H          *          15. 3.2011
=====
```

OSNA SILA : 14509.000

KARAKTERISTIKE PREREZA NA ZANETKU TELENJA ARMATURE

1. STRAN

ELASTI^NI ZASUK : .002164  
ELASTI^NI MOMENT : 32428.890  
DEJANSKA OSNA SILA : 14508.960

2. STRAN

ELASTI^NI ZASUK : .002164  
ELASTI^NI MOMENT : -32428.890  
DEJANSKA OSNA SILA : 14508.960

MEJNE KARAKTERISTIKE PREREZA

1. STRAN

MEJNI ZASUK : .007305  
MEJNI MOMENT : 37619.570  
DEJANSKA OSNA SILA : 14508.940

2. STRAN

MEJNI ZASUK : .007305  
MEJNI MOMENT : -37619.570  
DEJANSKA OSNA SILA : 14508.940

**Slika 18: Izpis momentov in ukrivljenosti za mejno stanje in stanje, ko steče prva vrsta armaturnih palic – most 131, steber 1 in 3 vzdolžna smer**

FAGG P R O G R A M D I A S				STRAN 5
PRIMER Steber1H				15. 3.2011
KARAKTERISTIKE PREREZA ZA VMESNA STANJA				
1. STRAN	eps-rob	N	M	FI
eps-rob	eps-rob	[KN]	[KNm]	[rad]
za{. sl.	jedra			
.500	.000	14508.980	10408.240	.000457
.600	.000	14508.900	12575.000	.000602
.700	.000	14508.940	14725.020	.000753
.800	.000	14508.980	16838.630	.000909
.900	.000	14508.970	18908.770	.001066
1.000	.000	14508.960	20962.210	.001226
1.100	.000	14508.950	23000.650	.001386
1.200	.000	14508.930	24992.320	.001546
1.300	.000	14508.920	26944.640	.001706
1.400	.000	14508.950	28871.510	.001865
1.500	.000	14508.990	30751.500	.002022
1.600	.000	14508.940	32541.480	.002179
1.700	.000	14508.950	33834.550	.002367
1.800	.000	14508.920	34507.570	.002604
1.900	.000	14508.960	35046.930	.002854
2.000	.000	14508.960	35549.490	.003109
2.100	.000	14509.000	35856.910	.003393
2.200	.000	14508.950	36145.230	.003684
2.300	.000	14508.910	36420.210	.003980
2.400	.000	14508.980	36684.070	.004283
2.500	.000	14508.950	36874.290	.004564
2.600	.000	14508.980	37018.700	.004831
2.700	.000	14508.920	37159.480	.005100
2.800	.000	14508.950	37296.430	.005369
2.900	.000	14508.930	37431.070	.005642
3.000	.000	14508.950	37494.450	.005943
3.100	.000	14508.910	37555.480	.006250
3.200	.000	14508.970	37580.040	.006521
3.300	.000	14508.990	37594.210	.006782
3.400	.000	14508.970	37607.260	.007043
3.500	.000	14508.930	37619.560	.007305

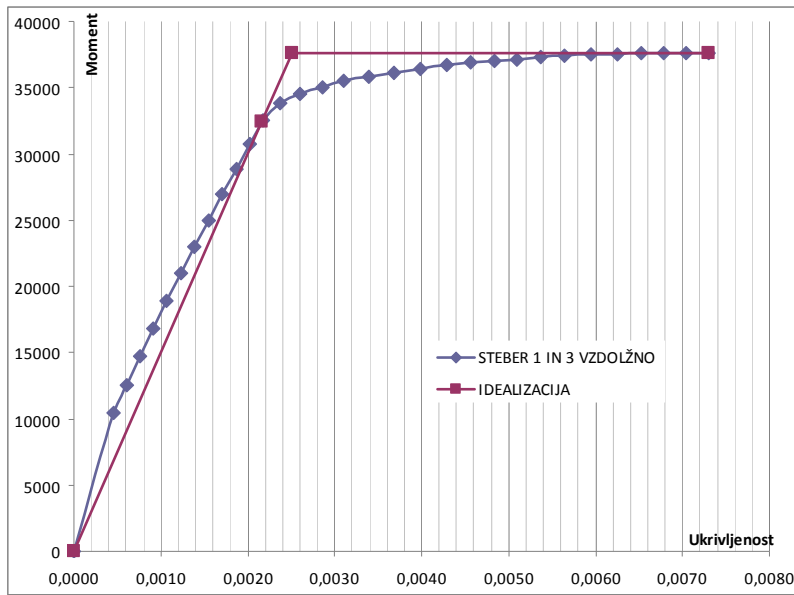
**Slika 19: Podatki za izdelavo grafa moment/ukrivljenost – most 131, steber 1 in 3 vzdolžna smer**

S pomočjo orodja EXCEL in tabelarično razvrščenih podatkov o momentu in ukrivljenosti se izdelava graf, ki prikazuje omenjeno razmerje, nato pa še idealizacijo izdelanega grafa.

Naklon idealizacije opisuje togost prereza v obravnavani smeri.

Pri tem moramo upoštevati:

- Linearni del idealizacije mora sekati točko 1<sup>st</sup> yield oziroma točko, v kateri steče prva vrsta palic. (Točka se pridobi iz rezultatov programa DIAS-B.)
- Preko pravila enakosti površin se določi točka, v kateri graf preide iz linearne v konstantno obliko.



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,54$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 227,47  
 Površina idealizacije: 227,47  
 Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA	
M	Ukrievjenost
0	0,000000
32429	0,002164
37595	0,002509
37595	0,007305

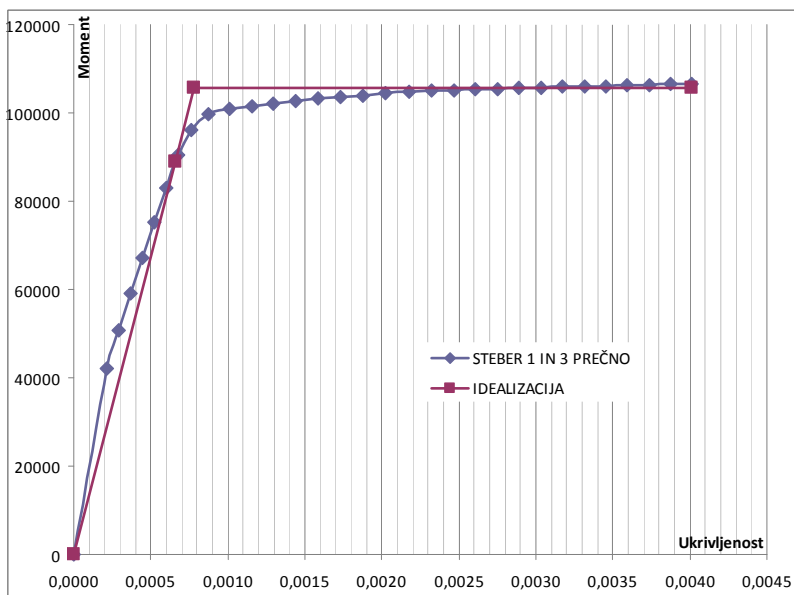
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff}$  17982749 kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,45**

**Dod. C7**  
**1,87**

Slika 20: Graf moment/ukrievjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 4,91$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 382,58  
 Površina idealizacije: 382,58  
 Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA	
M	Ukrievjenost
0	0,000000
88908	0,000658
105558	0,000781
105558	0,004015

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff}$  162141502 kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:**  
**0,29**

**Dod. C7**  
**1,62**

Slika 21: Graf moment/ukrievjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber 1, vpliv potresa v prečni smeri)

Trenutno lahko povzamemo, da smo na podlagi določene armature določili efektivni vztrajnostni moment stebra. Najprej smo s programom DIAS-B določili zvezo med momentom in ukrivljenostjo. Efektivni vztrajnostni moment pa smo ocenili po naslednji enačbi:

$$I_{eff} = \frac{\nu \cdot M_{Rd}}{\phi_y \cdot E_c}$$

$$faktor\ razpokanost = \frac{I_{eff}}{I}$$

pri čemer je:

$I$  – vztrajnostni moment stebra

$I_{eff}$  – efektivni vztrajnostni moment stebra

$\nu$  – korekcijski koeficient, katerega vrednost zavzema 1,20

$M_{Rd}$  – projektna upogibna nosilnost

$\Phi_y$  – ukrivljenost v trenutku, ko steče upogibna armatura (vrednost je bila določena s pomočjo diagrama moment/ukrivljenost)

$E_c$  – modul elastičnosti betona

Za zaključek se izračunata še faktor razpokanosti in potencialni faktor, ki bi se lahko dodal v standard EC8-2 ANNEX C. Faktor bi se uporabljal za prerez, kakršen je uporabljen v tej diplomski nalogi.

V tej fazi izračuna je potrebno preveriti regularnost mostu in preračunati nove faktorje obnašanja. Za uspešen izračun je potrebno najprej izračunati moment, pri katerem steber razpoka (moment se zaradi lažjega načina določanje razpokanosti poveča za 10 %). Preveri se, če so momenti, pridobljeni preko SAP 2000, večji oziroma manjši od momenta, pri katerem steber razpoka. S tem se opredeli, ali prerez razpoka ali ne.

V nadaljevanju se preveri upoštevanje posameznega stebra v kontroli regularnosti. Če prečna sila v posameznem stebri preseže 20 % skupne prečne sile v določeni smeri, se obravnavani steber upošteva v kontroli regularnosti. Kontrole, pri katerih se izkaže, da je most v določeni smeri neregularen, zahtevajo ponoven izračun faktorja obnašanja.

STEBRI - Momenti kNm			
	1	2	3
N=	-14509	-17612	-14509
Mv=	36280	4234	36280
Mp=	32757	44294	32757
Wv=	1,33	m3	
Wp=	6,72	m3	
Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8314	9181	8314
Mcr,p=	41851	46218	41851

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:  
*Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$*   
 *$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$*   
 *$A = 5,25\text{ m}^2$*   
 *$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$*   
 *$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$*

Določitev razpokanosti			
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Ne	Ne	Ne

→

1. vzdolžno:  $I_{\text{eff}}=0,45xI_{\text{NERAZPOKANO}}$   
 1. prečno: NE razpoka  
 2. vzdolžno: NE razpoka  
 2. prečno: NE razpoka  
 3. vzdolžno:  $I_{\text{eff}}=0,45xI_{\text{NERAZPOKANO}}$   
 3. prečno: NE razpoka

#### Kontrola prečnih sil za račun ri.

STEBER - Q v kN			
	1	2	3
Qv=	5183	202	5183
Qp=	4680	2109	4680
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Da	Ne	Da

q vzd.= 3,5      q preč.= 2,39

STEBER - ri				STEBRI - Mrd (idealizacija)			
	1	2	3		1	2	3
rv i=	3,4		3,4	Vzd.	37620	28984	37620
rp i=	1,0		1,0	Preč.	106537	86335	106537

Vzd.    max ri=    **3,4**      min ri=    **3,4**  
 Preč.    max ri=    **1,0**      min ri=    **1,0**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd.	1,0
Preč.	1,0

#### Regularnost!

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

#### Novi faktor qr!!!

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	

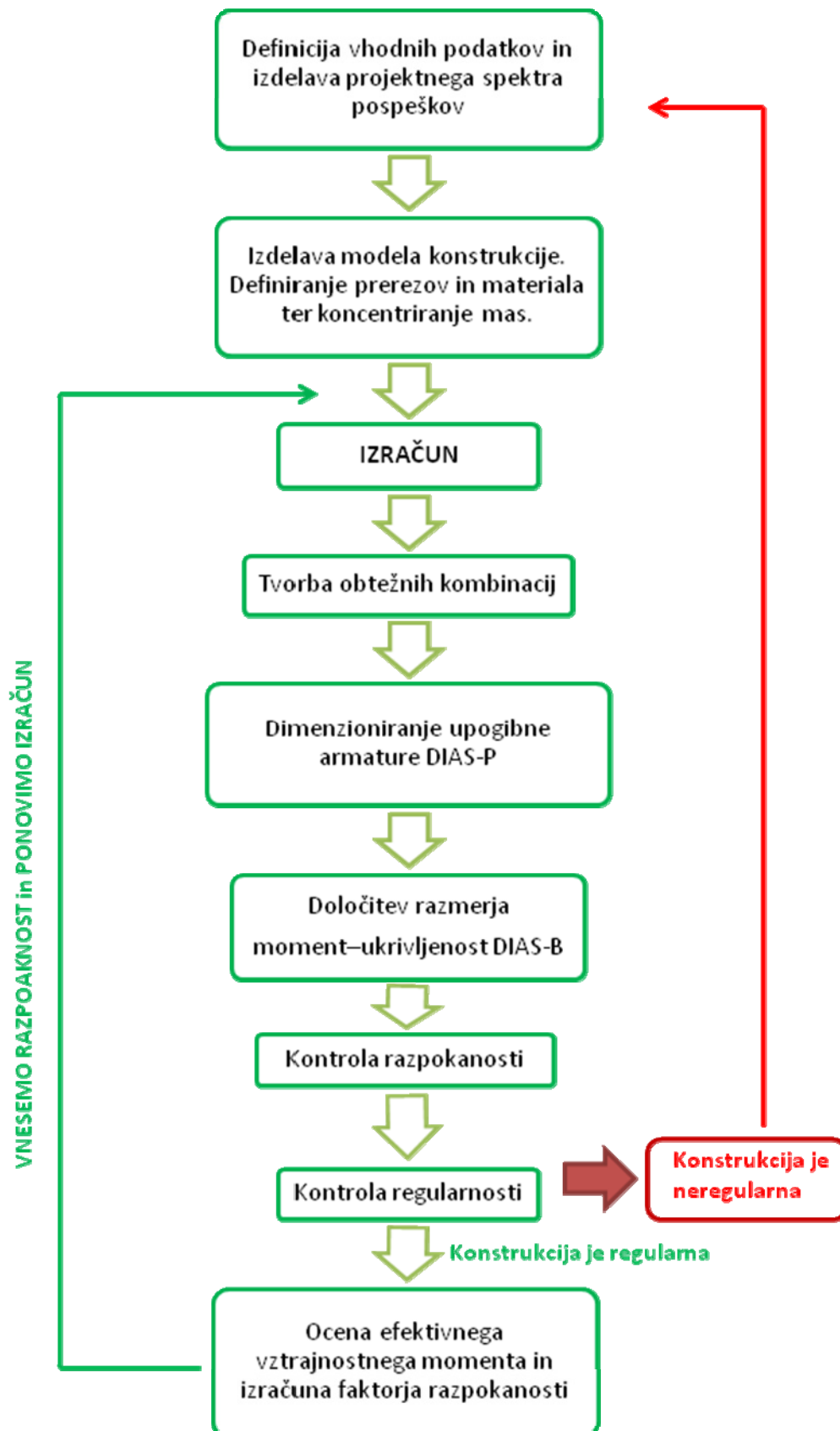
Slika 22: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 131

Postopek, ki je opisan do sedaj, predstavlja osnovni izračun, na podlagi katerega se nato začnejo izvajati iteracije.

Pri naslednji iteraciji se pridobljeni faktorji razpokanosti vstavijo v program SAP 2000. Izračun se izvede ponovno in se ponavlja toliko časa, dokler se spreminjanje faktorja razpokanosti ne umiri. Temu rečemo iteracijski postopek določanja faktorja razpokanosti.

**OPOMBA:**

Če se z izračunom, ki je na sliki 22, dokaže, da je most neregularen, je potrebno reducirati faktor obnašanja v določeni smeri. Izračuna se nov projektni spekter pospeškov, ki se nato vstavi v SAP 2000.



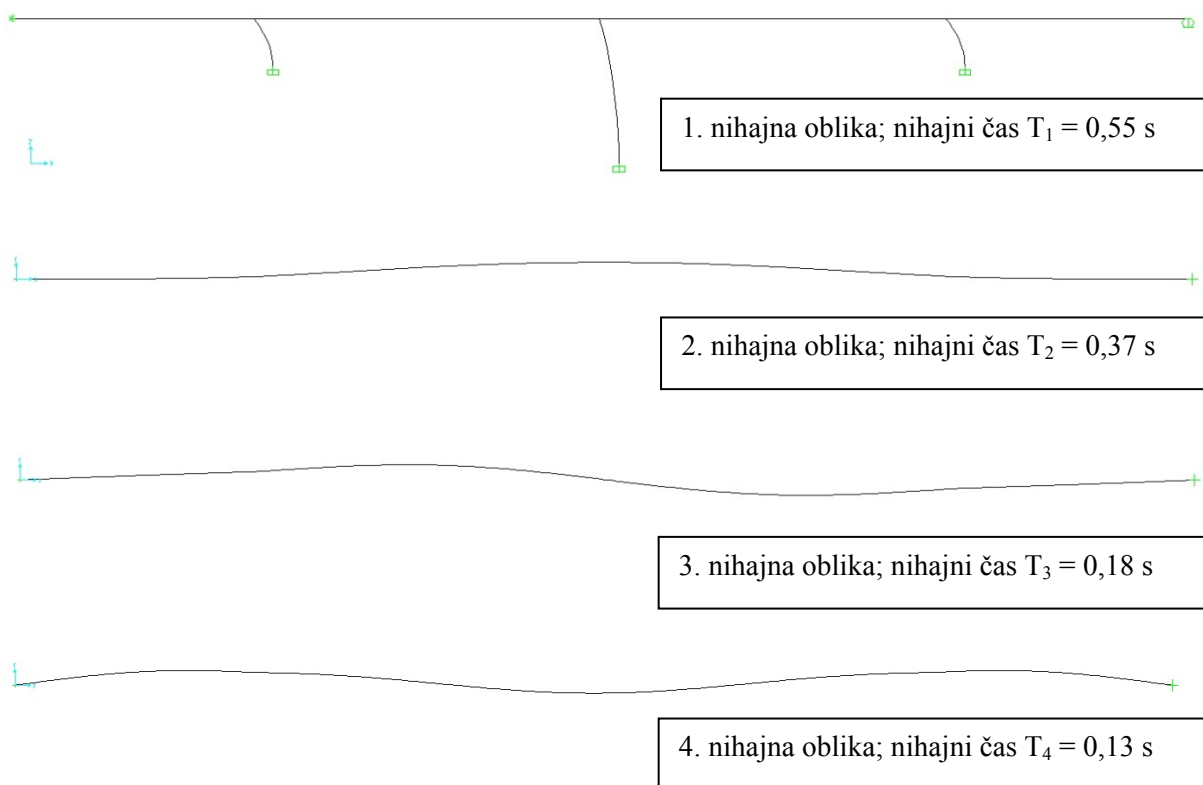
Slika 23: Proces reševanja

## 4.2 Mostna konstrukcija 131

### 4.2.1 Most 131 – nerazpokani prerezi

Sledijo izračuni za nerazpokano stanje prečnega prereza stebra mostne konstrukcije 131.

Spodnje slike prikazujejo vse pomembne nihajne oblike konstrukcije in ustrezne nihajne čase.



Slika 24: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 131

### Preglednica 7: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,554025	0,99998	0	0,99998	0	0	0,99998	0	0,99998
2	0,374775	0	0,56399	0,99998	0,56399	0,56399	0	0,56399	0,99998
3	0,181236	0	0	0,99998	0,56399	0	0	0,56399	0,99998
4	0,129499	0	0,37862	0,99998	0,94262	0,37862	0	0,94262	0,99998

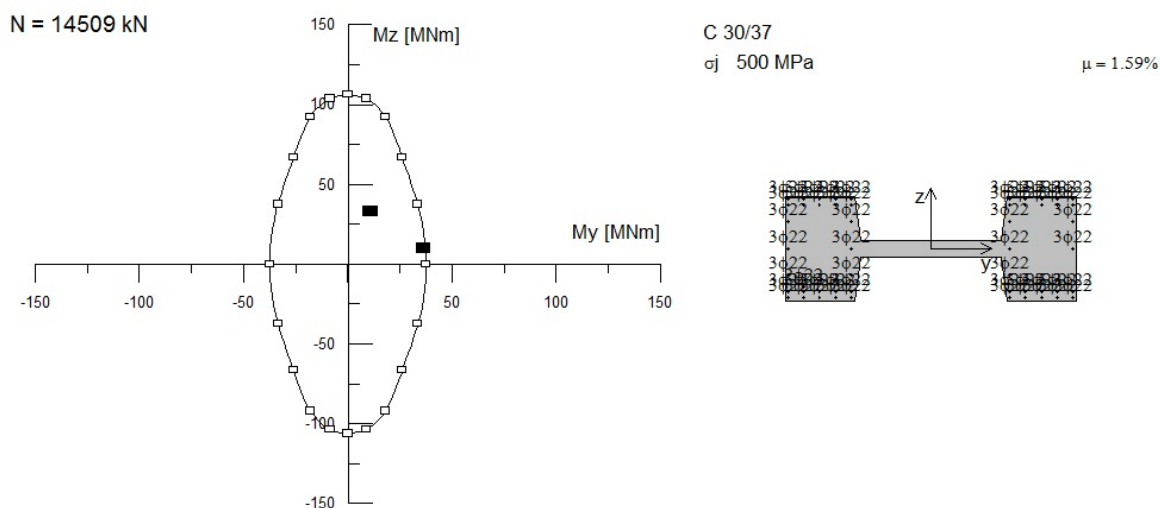
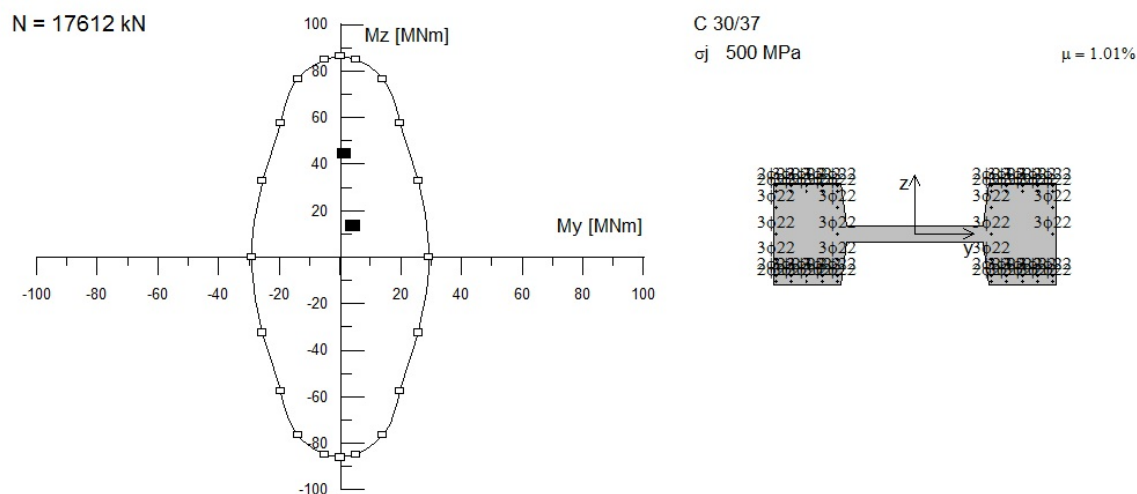


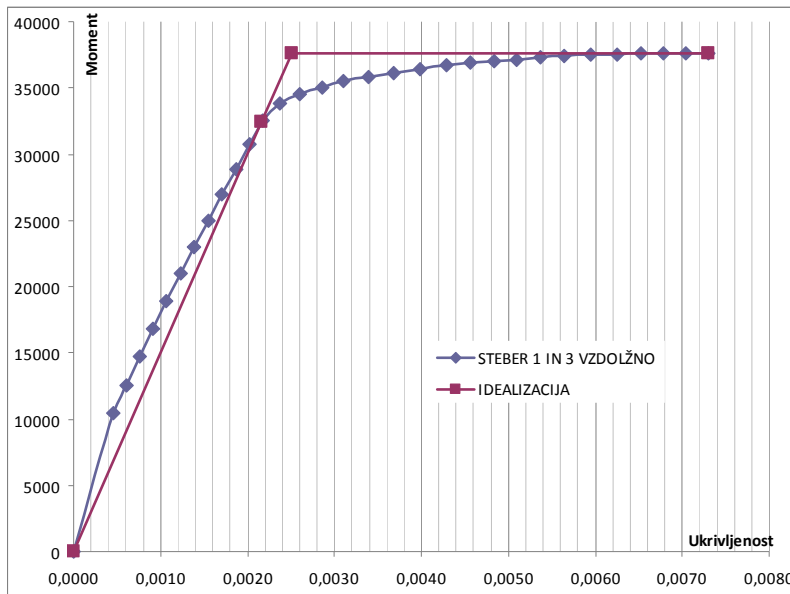
**Preglednica 8: Obtežne kombinacije za most 131****KOMBINACIJE****Vzdolžno celota, prečno 30%**

	preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]
Steber 1 in 3	-14509	1404	5183	36280
Steber 2	-17612	632,7	202	4234

**Prečno celota, vzdolžno 30%**

	preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]
Steber 1 in 3	-14509	4680	1554,9	10884
Steber 2	-17612	2109	60,6	1270,2

**Slika 25: Interakcijski diagram stebra 1 in 3 v mostu 131****Slika 26: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 131**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,54$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 227,47  
 Površina idealizacije: 227,47  
 Upošteavamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	32429	0,002164
	37595	0,002509
	37595	0,007305

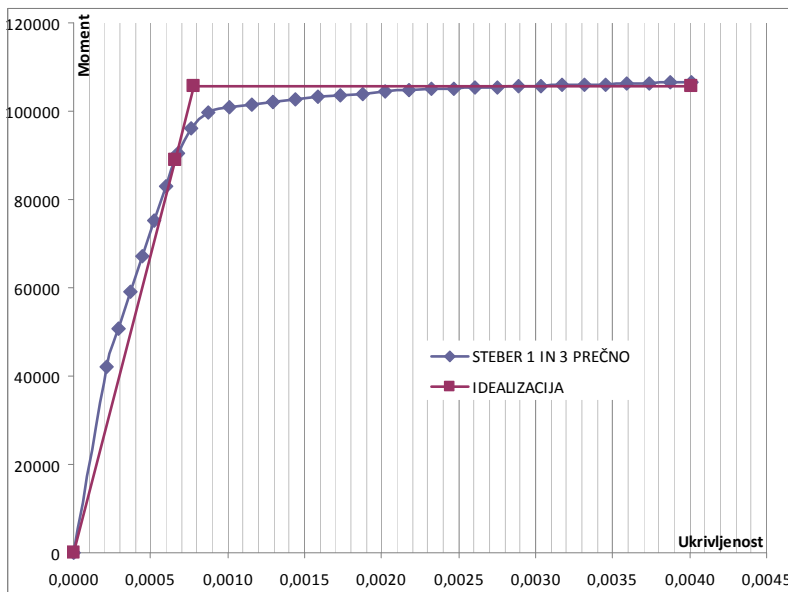
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 17982749$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,45**

S500 **Dod. C7**  
**1,87**

**Slika 27: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 4,91$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 382,58  
 Površina idealizacije: 382,58  
 Upošteavamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	88908	0,000658
	105558	0,000781
	105558	0,004015

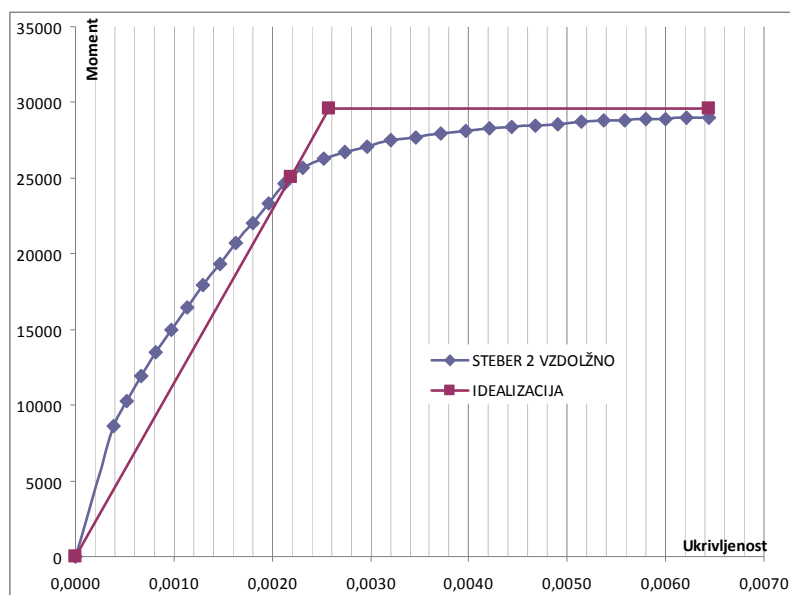
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 162141502$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,29**

S500 **Dod. C7**  
**1,62**

**Slika 28: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37

Ec= 33000000 N/m<sup>2</sup>Iy= 1,20 m<sup>4</sup>I<sub>eff,y</sub>= 0,42 m<sup>4</sup>

Površina grafa: 152,25

Površina idealizacije: 152,25

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukriivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	25084	0,002190
	29559	0,002581
	29559	0,006441

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

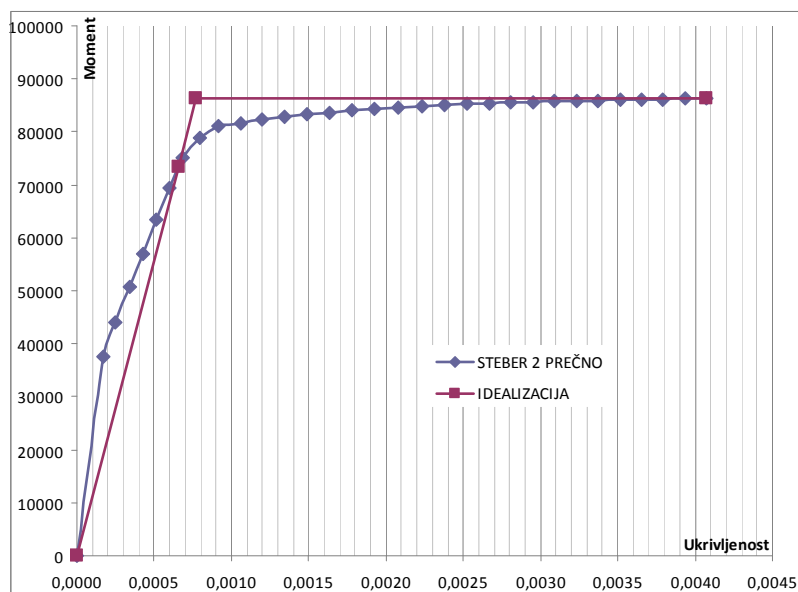
E<sub>c</sub>leff 13744603 kNm<sup>2</sup>

Faktor razpokanosti
<b>0,35</b>

Dod. C7
<b>1,93</b>

S500

Slika 29: Graf moment/ukriivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37

Ec= 33000000 N/m<sup>2</sup>Iz= 16,7938 m<sup>4</sup>I<sub>eff,z</sub>= 4,07 m<sup>4</sup>

Površina grafa: 318,06

Površina idealizacije: 318,06

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukriivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	73421	0,000656
	86302	0,000771
	86302	0,004071

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

E<sub>c</sub>leff 134307274 kNm<sup>2</sup>

Faktor razpokanosti
<b>0,24</b>

Dod. C7
<b>1,60</b>

S500

Slika 30: Graf moment/ukriivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)

**Preglednica 9: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 131**

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-14509	-17612	-14509
Mv=	36280	4234	36280
Mp=	32757	44294	32757

Wv= 1,33 m<sup>3</sup>

Wp= 6,72 m<sup>3</sup>

Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8314	9181	8314
Mcr,p=	41851	46218	41851

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

	Določitev razpokanosti		
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Ne	Ne	Ne

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,45xI_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno: NE razpoka

2. prečno: NE razpoka

3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,45xI_{NERAZPOKANO}$

3. prečno: NE razpoka

**Kontrola prečnih sil za račun ri.**

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	5183	202	5183
Qp=	4680	2109	4680
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Da	Ne	Da

q vzd.=	3,5	q preč.=	2,39
---------	-----	----------	------

	STEBER - ri		
	1	2	3
rv i=	3,4		3,4
rp i=	1,0		1,0

	STEBRI - Mrd (idealizacija)		
	1	2	3
Vzd.	37620	28984	37620
Preč.	106537	86335	106537

Vzd. max ri= **3,4** min ri= **3,4**

Preč. max ri= **1,0** min ri= **1,0**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd.	1,0
Preč.	1,0

**Regularnost!**

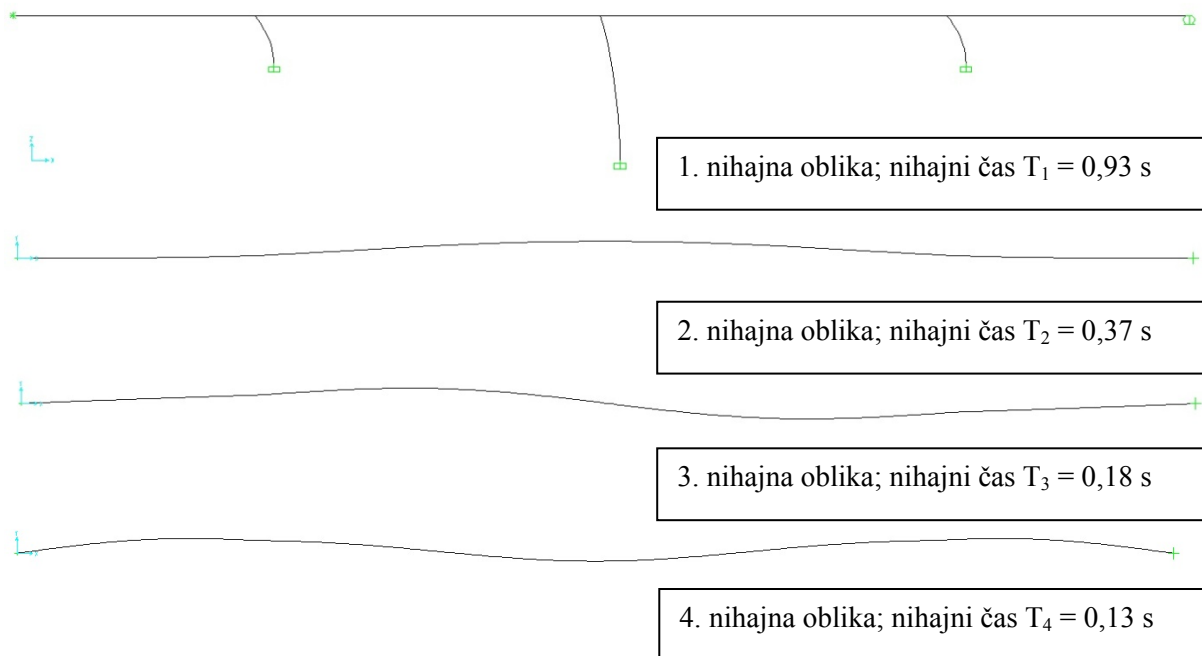
Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

**Novi faktor qr!!!**

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	

#### 4.2.2 Most 131 – končna iteracija



Slika 31: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 131 – končna iteracija

#### Preglednica 10: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,930836	1	0	1	0	0	1	0	1
2	0,374775	0	0,56399	1	0,56399	0,56399	0	0,56399	1
3	0,181236	0	0	1	0,56399	0	0	0,56399	1
4	0,129499	0	0,37862	1	0,94262	0,37862	0	0,94262	1

**Preglednica 11: Obtežne kombinacije za most 131 – končna iteracija**

**KOMBINACIJE**

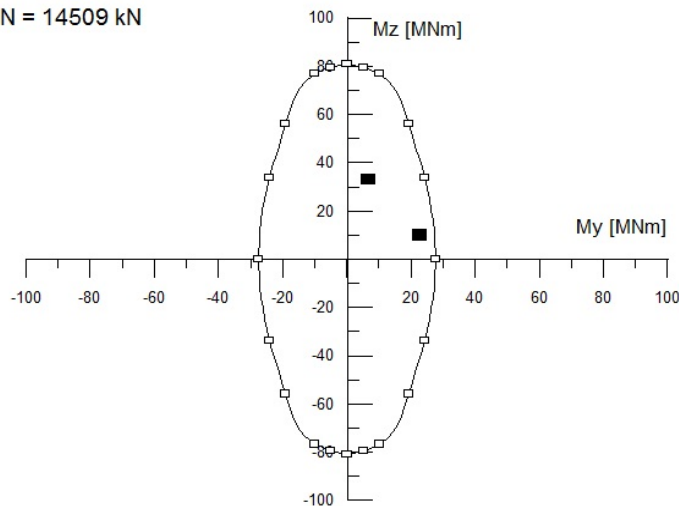
**Vzdolžno celota, prečno 30%**

		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1 in 3	-14509	1404	3231	22616	9827,1
Steber 2	-17612	632,7	366	7684	13288,2

**Prečno celota, vzdolžno 30%**

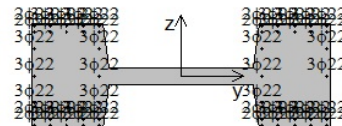
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1 in 3	-14509	4680	969,3	6784,8	32757
Steber 2	-17612	2109	109,8	2305,2	44294

N = 14509 kN



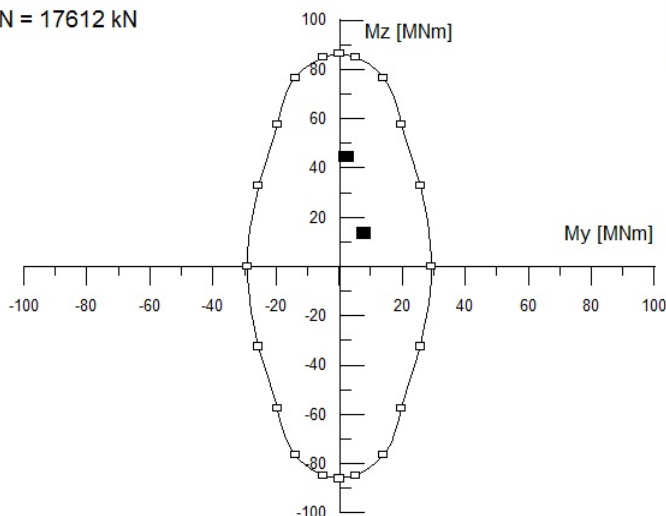
C 30/37  
 $\sigma_j$  500 MPa

$\mu = 1.01\%$



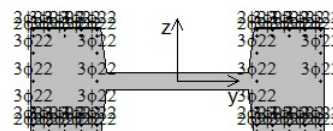
**Slika 32: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 131**

N = 17612 kN

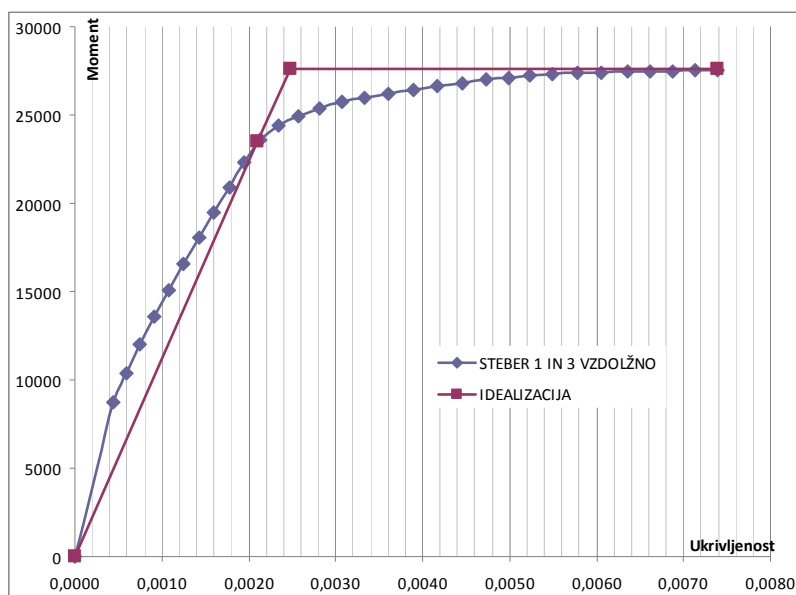


C 30/37  
 $\sigma_j$  500 MPa

$\mu = 1.01\%$



**Slika 33: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 131**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 170,14  
 Površina idealizacije: 170,14  
 Upoštevamo enakost površin!

## IDEALIZACIJA

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	23483	0,002105
	27643	0,002478
	27643	0,007394

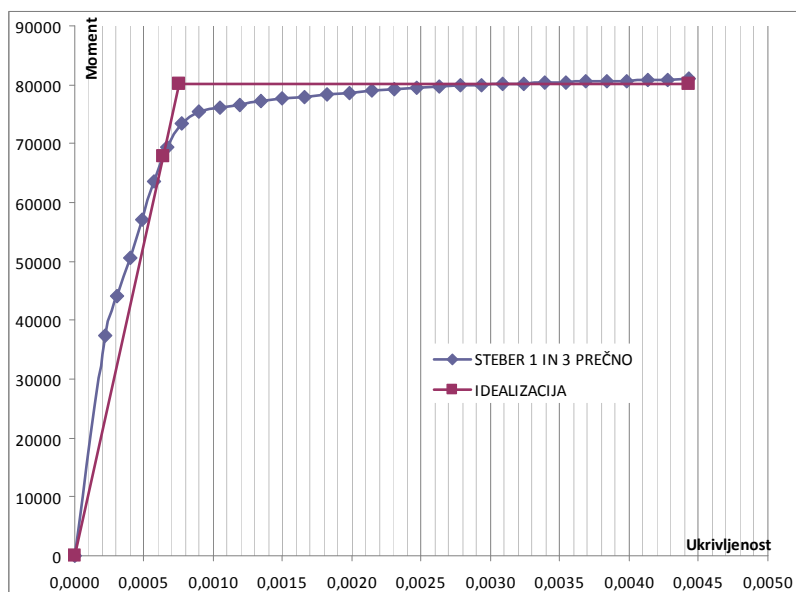
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 13387040$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

**Dod. C7**  
S500 **1,85**

Slika 34: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 3,88$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 324,66  
 Površina idealizacije: 324,66  
 Upoštevamo enakost površin!

## IDEALIZACIJA

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	67881	0,000637
	80165	0,000752
	80165	0,004426

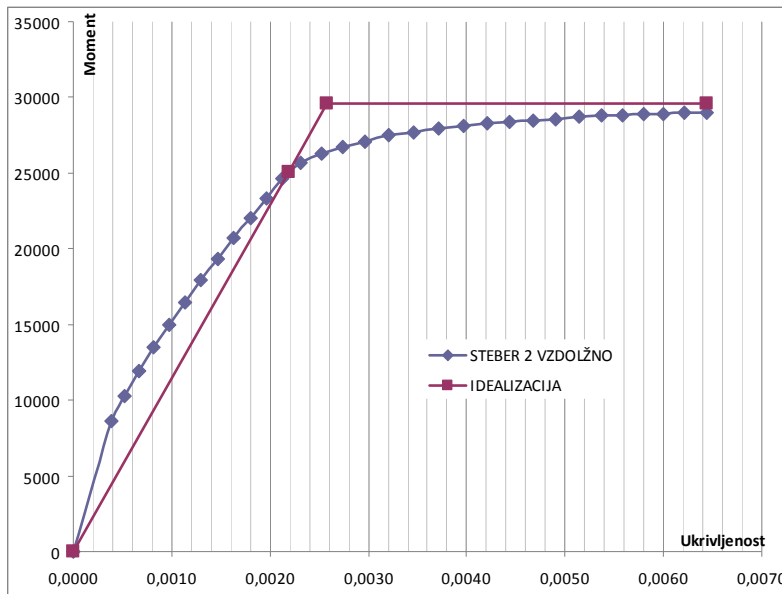
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 127876295$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,23**

**Dod. C7**  
S500 **1,56**

Slika 35: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri)



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $l_{eff,y} = 0,42$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 152,25  
 Površina idealizacije: 152,25  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	25084	0,002190
	29559	0,002581
	29559	0,006441

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

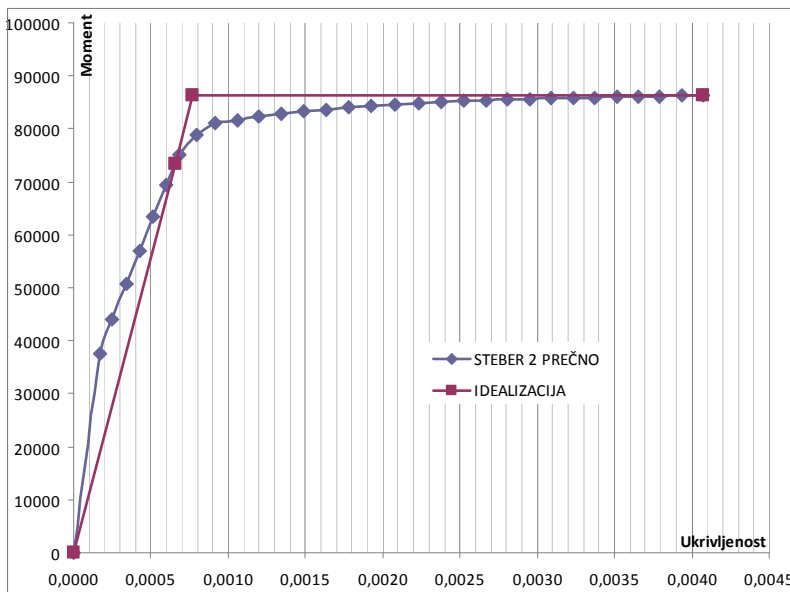
$E_c J_{eff} = 13744603$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,35**

**Dod. C7**  
**1,93**

S500

**Slika 36: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $l_{eff,z} = 4,07$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 318,06  
 Površina idealizacije: 318,06  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	73421	0,000656
	86302	0,000771
	86302	0,004071

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 134307274$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,24**

**Dod. C7**  
**1,60**

S500

**Slika 37: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 131, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**



### Preglednica 12: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 131 – končna iteracija

STEBRI - Momenti kNm			
	1	2	3
N=	-14509	-17612	-14509
Mv=	22616	7684	22616
Mp=	32757	44294	32757
Wv=	1,33	m3	
Wp=	6,72	m3	
Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8314	9181	8314
Mcr,p=	41851	46218	41851

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

Določitev razpokanosti			
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Ne	Ne	Ne

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34I_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno: NE razpoka

2. prečno: NE razpoka

3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34I_{NERAZPOKANO}$

3. prečno: NE razpoka

#### Kontrola prečnih sil za račun ri.

STEBER - Q v kN			
	1	2	3
Qv=	3231	366	3231
Qp=	4680	2109	4680
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Da	Ne	Da

q vzd.=	3,5	q preč.=	2,39
---------	-----	----------	------

STEBER - ri				STEBRI - Mrd (idealizacija)			
	1	2	3		1	2	3
rv i=	2,9		2,9	Vzd.	27511	28984	27511
rp i=	1,0		1,0	Preč.	80938	86335	80938

Vzd. max ri= **2,9** min ri= **2,9**

Preč. max ri= **1,0** min ri= **1,0**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \quad \begin{array}{l} \text{Vzd.} \quad 1,0 \\ \text{Preč.} \quad 1,0 \end{array}$$

#### Regularnost!

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

#### Novi faktor qr!!!

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	

### 4.2.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 131

**Preglednica 13: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 131**

Smer potresnega vpliva		Posamezna višina stebra					
		Steber 1 [ 7m ]		Steber 2 [ 21m ]		Steber 3 [ 7m ]	
		VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.
Iteracije	Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,45	1,00	1,00	1,00	0,45	1,00
		1,87	1,62	1,93	1,60	1,87	1,62
		1,59%		1,01%		1,59%	
	1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,34	1,00	1,00	1,00	0,34	1,00
		1,85	1,56	1,93	1,60	1,85	1,56
		1,01%		1,01%		1,01%	
	2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,34	1,00	1,00	1,00	0,34	1,00
		1,85	1,56	1,93	1,60	1,85	1,56
		1,01%		1,01%		1,01%	

	razpokanost prereza
	EC 8-2, ANNEX C, faktor C.7
	procent armiranja

#### OPOMBE IN UGOTOVITVE:

V računskem primeru, ki prikazuje obnašanje nerazpokanega prereza stebra med potresom, ugotovimo, da sta zaradi togosti najbolj kritična krajna stebra (stebra z višino 7 m). Delež armature v prerezu – za omenjena stebra – znaša 1,59 % površine prečnega prereza stebra. Sredinski steber, katerega višina znaša 21 m, je armiran z minimalno armaturo, ki jo predpisuje standard EC 8.

Po drugi iteraciji ugotovimo, da lahko odstotek armiranja v vseh treh stebrih znižamo na minimalni 1 % površine prečnega prereza stebra. Tako smo v krajnih stebrih znižali količino armature, pri čemer sredinski steber postane bolj obremenjen in izkoriščen. Splošna izkoriščenost vseh stebrov se uravnesi.

*Izračun prihranka armature v krajnih stebrih mosta 131:*

$$A = 5,25m^2$$

$$A_{jeklo}^N = 5,25 \cdot 100 \cdot 100cm^2 \cdot 0,0159 = 834,75cm^2$$

$$A_{jeklo}^{2i} = 5,25 \cdot 100 \cdot 100cm^2 \cdot 0,0101 = 530,25cm^2$$

$$A_{jeklo}^R = 834,75cm^2 - 530,25cm^2 = 304,50cm^2$$

$$\rho_{jekla} = 7850kg / m^3$$

$$M_{jekla}^R = A_{jeklo}^R \cdot \rho_{jekla} \cdot L = 304,5cm^2 \cdot \frac{7850kg}{1000 \cdot 1000cm^3} \cdot 700cm = 1673,22kg$$

*kjer so:*

*A – površina prečnega prereza stebra*

*A<sub>jeklo</sub><sup>N</sup> – površina vzdolžne armature nerazpokanega prereza*

*A<sub>jeklo</sub><sup>2i</sup> – površina vzdolžne armature po drugi iteraciji*

*A<sub>jeklo</sub><sup>R</sup> – razlika površine armature*

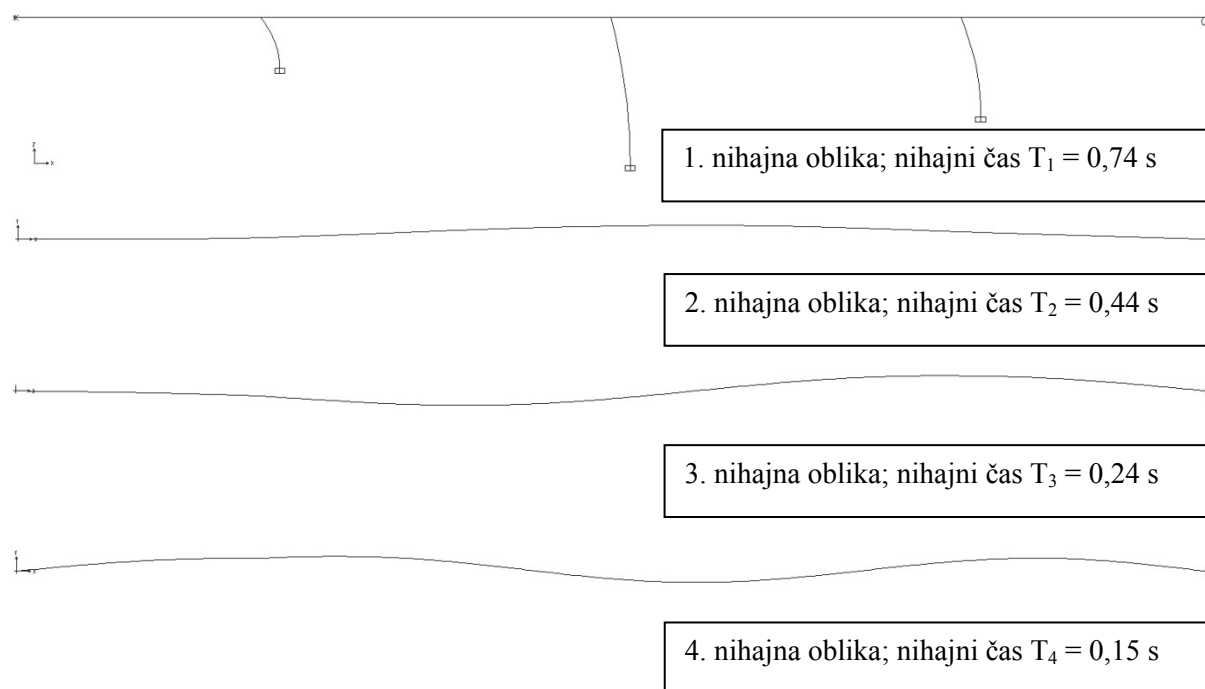
*ρ<sub>jekla</sub> – gostota jekla*

*M<sub>jekla</sub><sup>R</sup> – masa prihranjene vzdolžne armature*

Zgornji izračun prikazuje količino privarčevane armature v stebrih z višino 7 m. Glede na današnje cene armature, ki znašajo okoli 0,75 €/kg, lahko celotni materialni prihranek za konkretno obravnavani primer ovrednotimo na okvirnih 2.500 €. Pri tem je potrebno upoštevati, da v izračunu prihranka niso vključena prekrivanja armaturnih palic, strošek projektiranja armature, transport materiala, cena vgradnje ...

### 4.3 Mostna konstrukcija 132

#### 4.3.1 Most 132 – nerazpokani prerezi



Slika 38: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 132

Preglednica 14: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

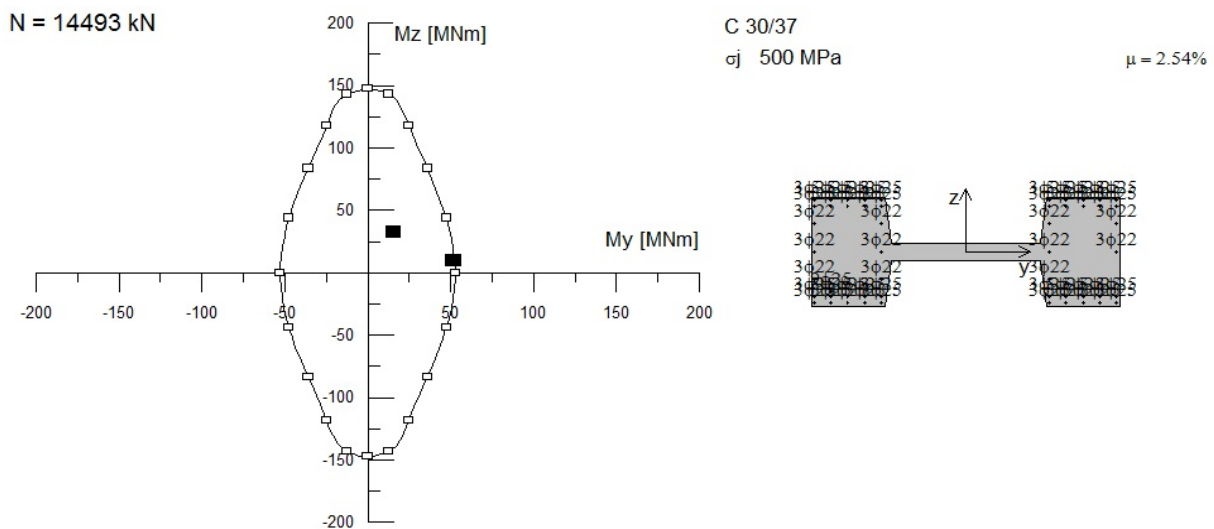
TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,740362	0,9997	0	0,9997	0	0	0,9997	0	0,9997
2	0,438262	0	0,66463	0,9997	0,66463	0,66463	0	0,66463	0,9997
3	0,236435	0	0,0002	0,9997	0,66482	0,0002	0	0,66482	0,9997
4	0,146229	0	0,2376	0,9997	0,90243	0,2376	0	0,90243	0,9997

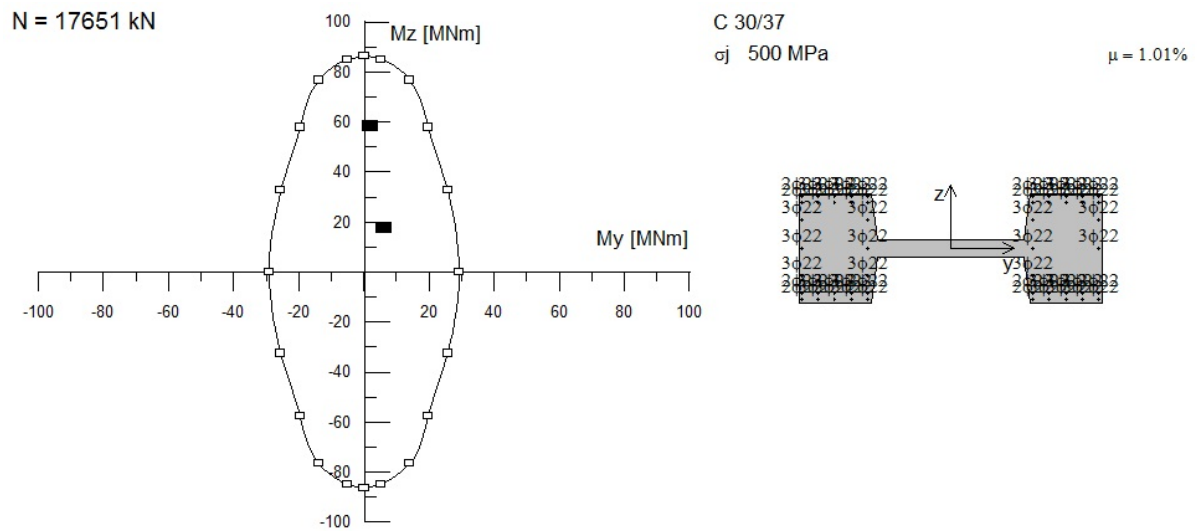
**Preglednica 15: Obtežne kombinacije za most 132****KOMBINACIJE****Vzdolžno celota, prečno 30%**

	preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	Mz [kNm]
Steber 1	-14493	1392,6	7389	51726
Steber 2	-17651	832,8	292	6131
Steber 3	-15376	1344,3	994	13913

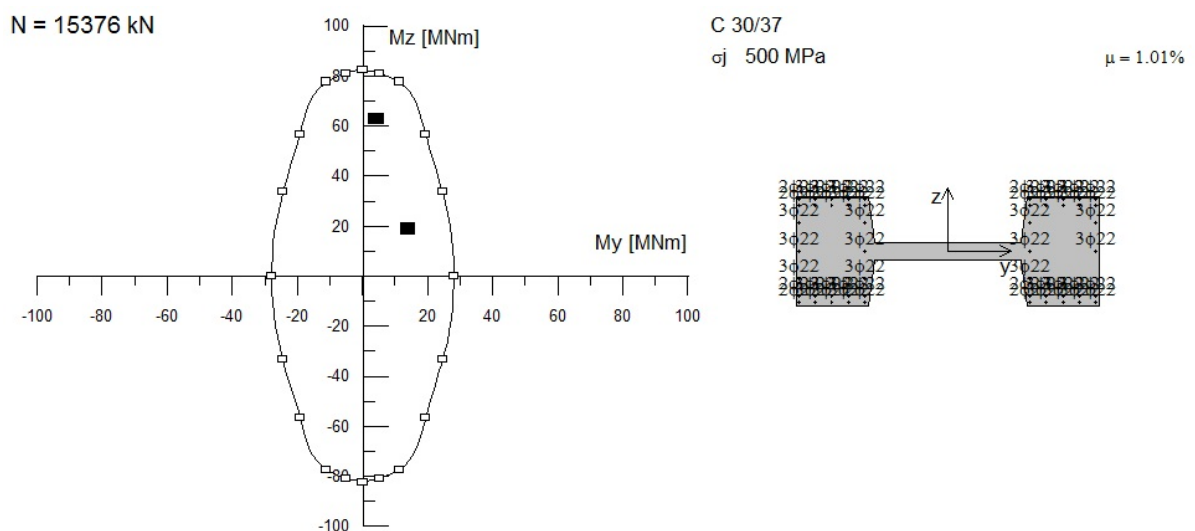
**Prečno celota, vzdolžno 30%**

	preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	Mz [kNm]
Steber 1	-14493	4642	2216,7	15517,8
Steber 2	-17651	2776	87,6	1839,3
Steber 3	-15376	4481	298,2	4173,9

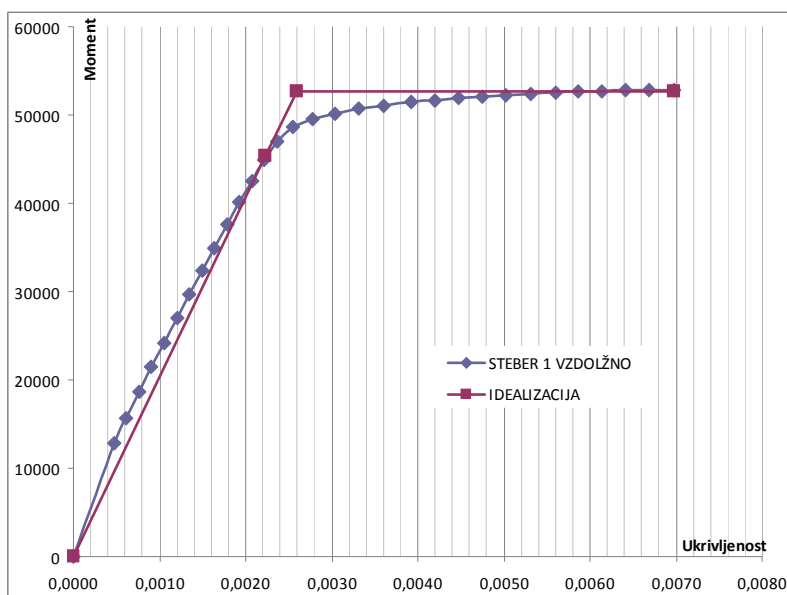
**Slika 39: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 132**



**Slika 40: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 132**



**Slika 41: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 132**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,74$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 298,89  
 Površina idealizacije: 298,89  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	45335	0,002236
	52679	0,002598
	52679	0,006973

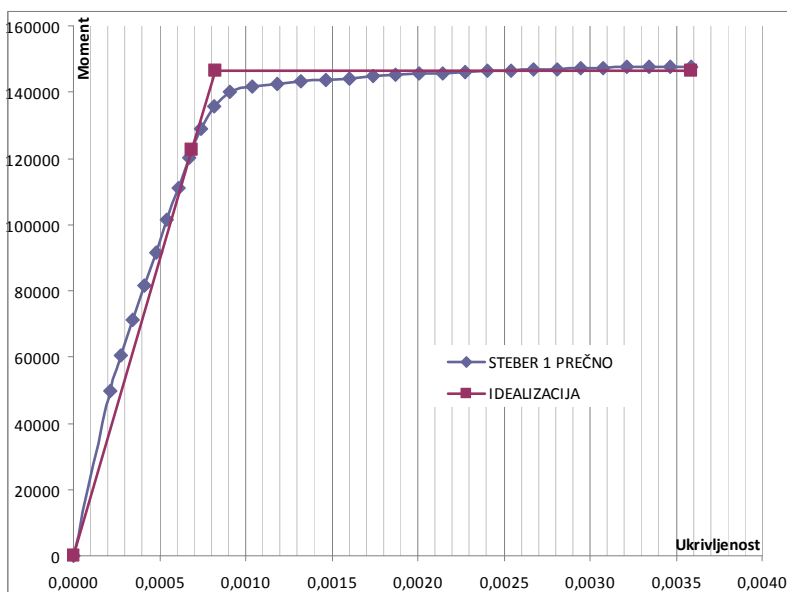
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_{cleff} = 24329930$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,61**

S500 **Dod. C7**  
**1,94**

**Slika 42: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 6,48$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 465,83  
 Površina idealizacije: 465,83  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	122556	0,000688
	146654	0,000823
	146654	0,003588

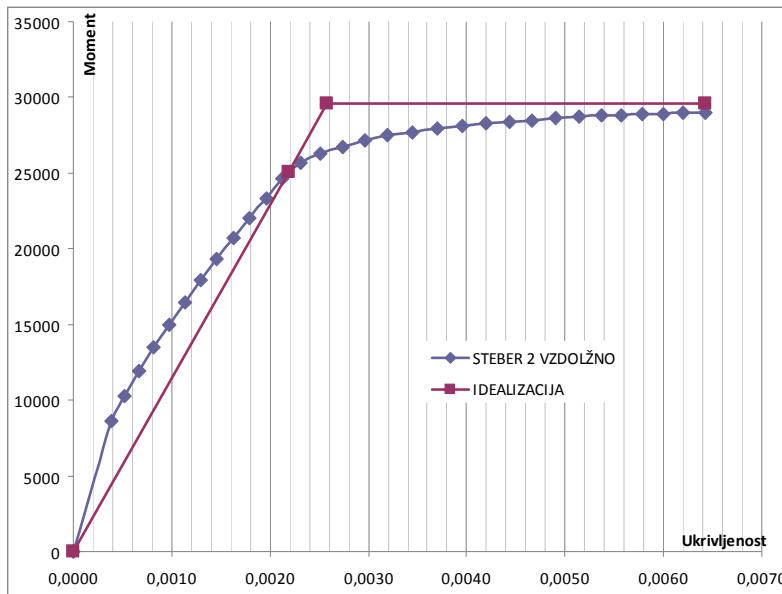
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_{cleff} = 213759942$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,39**

S500 **Dod. C7**  
**1,71**

**Slika 43: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37  
 Ec= 33000000 N/m2  
 Iy= 1,20 m4  
 Ieff,y= 0,42 m4  
 Površina grafa: 152,03  
 Površina idealizacije: 152,03  
 Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	25104	0,002191
	29584	0,002582
	29584	0,006430

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

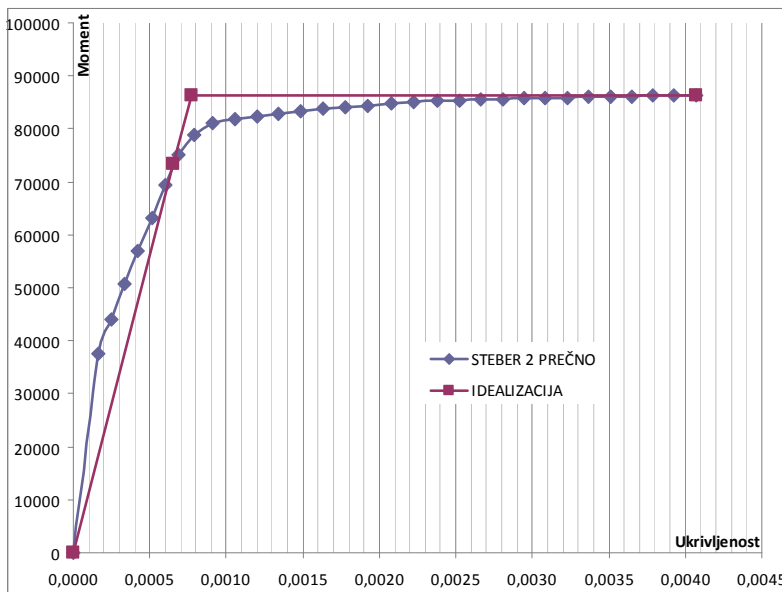
Ecleff 13749103 kNm2

**Faktor razpokanosti**  
**0,35**

**Dod. C7**  
**1,93**

S500

Slika 44: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37  
 Ec= 33000000 N/m2  
 Iy= 16,7938 m4  
 Ieff,y= 4,07 m4  
 Površina grafa: 318,00  
 Površina idealizacije: 318,00  
 Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	73491	0,000656
	86379	0,000771
	86379	0,004067

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

Ecleff 134433915 kNm2

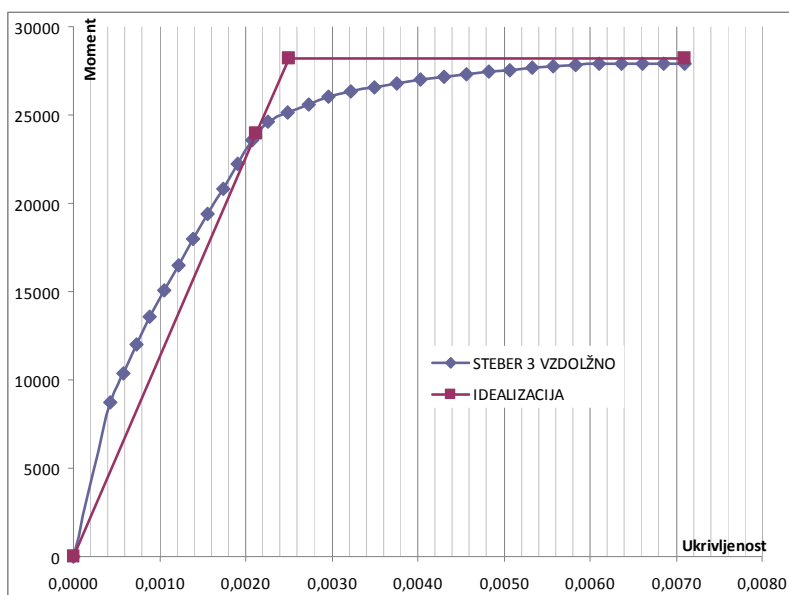
**Faktor razpokanosti**  
**0,24**

**Dod. C7**  
**1,60**

S500

Slika 45: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)





**C 30/37**  
 Ec= 33000000 N/m2  
 Iy= 1,20 m4  
 Ieff,y= 0,41 m4  
 Površina grafa: 164,88  
 Površina idealizacije: 164,88  
 Upošteavamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

M	Ukriivljenost
0	0,000000
23938	0,002129
28181	0,002506
28181	0,007104

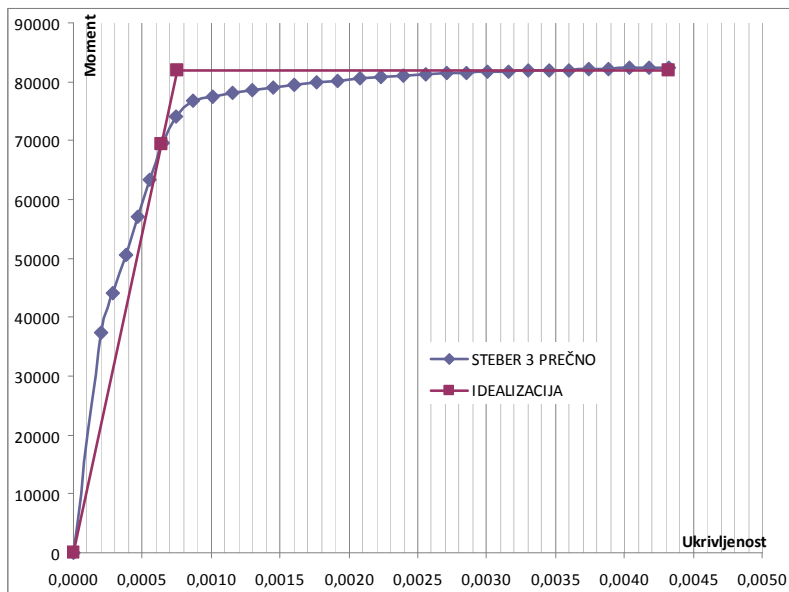
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

Ecleff 13492644 kNm2

**Faktor razpokanosti 0,34**

S500 **Dod. C7 1,87**

Slika 46: Graf moment/ukriivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



**C 30/37**  
 Ec= 33000000 N/m2  
 Iy= 16,7938 m4  
 Ieff,y= 3,93 m4  
 Površina grafa: 322,96  
 Površina idealizacije: 322,96  
 Upošteavamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

M	Ukriivljenost
0	0,000000
69432	0,000642
81877	0,000757
81877	0,004323

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

Ecleff 129780336 kNm2

**Faktor razpokanosti 0,23**

S500 **Dod. C7 1,57**

Slika 47: Graf moment/ukriivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri)

**Preglednica 16: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 132**

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-14493	-17651	-15376
Mv=	51726	6131	13913
Mp=	32494	58304	62735

Wv= 1,33 m<sup>3</sup>  
 Wp= 6,72 m<sup>3</sup>

Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8309	9192	8556
Mcr,p=	41828	46273	43071

+10%  
 1,1  
 1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:  
*Beton C30/37, f<sub>ck</sub> = 30MPa*  
*f<sub>ctm</sub> = 2,9 MPa*  
*A = 5,25 m<sup>2</sup>*  
*I<sub>p</sub> = 16,79 m<sup>4</sup>; I<sub>v</sub> = 1,20 m<sup>2</sup>*  
*h<sub>p</sub> = 5,0 m; h<sub>v</sub> = 1,8 m*

Določitev razpokanosti			
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Ne	Da	Da



1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,61xI_{NERAZPOKANO}$   
 1. prečno: **NE razpoka**  
 2. vzdolžno: **NE razpoka**  
 2. prečno:  $I_{eff}=0,24xI_{NERAZPOKANO}$   
 3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$   
 3. prečno:  $I_{eff}=0,23xI_{NERAZPOKANO}$

**Kontrola prečnih sil za račun ri.**

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	7389	292	994
Qp=	4642	2776	4481
Vzd.	<b>Da</b>	<b>Ne</b>	<b>Ne</b>
Preč.	<b>Da</b>	<b>Da</b>	<b>Da</b>

	q vzd.=	q preč.=	STEBER - ri		
	3,5	2,39	1	2	3
rv i=	<b>3,4</b>				
rp i=	<b>1,0</b>		<b>1,6</b>		<b>1,8</b>

	STEBRI - Mrd (idealizacija)		
	1	2	3
Vzd.	52834	29001	27938
Preč.	147764	86403	82455

Vzd. max ri= **3,4** min ri= **3,4**  
 Preč. max ri= **1,8** min ri= **1,0**

$$\rho = \frac{r_{max}}{r_{min}} \quad \begin{array}{l} \text{Vzd.} \quad 1,0 \\ \text{Preč.} \quad 1,8 \end{array}$$

**Regularnost!**

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!  
 Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

**Novi faktor qr!!!**

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	

### 4.3.2 Most 132 – končna iteracija



Slika 48: Slike reprezentativnih nihajnih oblik za most 132 – končna iteracija

### Preglednica 17: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1,068326	0,99997	0	0,99997	0	0	0,99997	0	0,99997
2	0,473872	0	0,75216	0,99997	0,75216	0,75216	0	0,75216	0,99997
3	0,278733	0	0,00017	0,99997	0,75233	0,00017	0	0,75233	0,99997
4	0,178105	0	0,17833	0,99997	0,93066	0,17833	0	0,93066	0,99997

**Preglednica 18: Obtežne kombinacije za most 132 – končna iteracija**

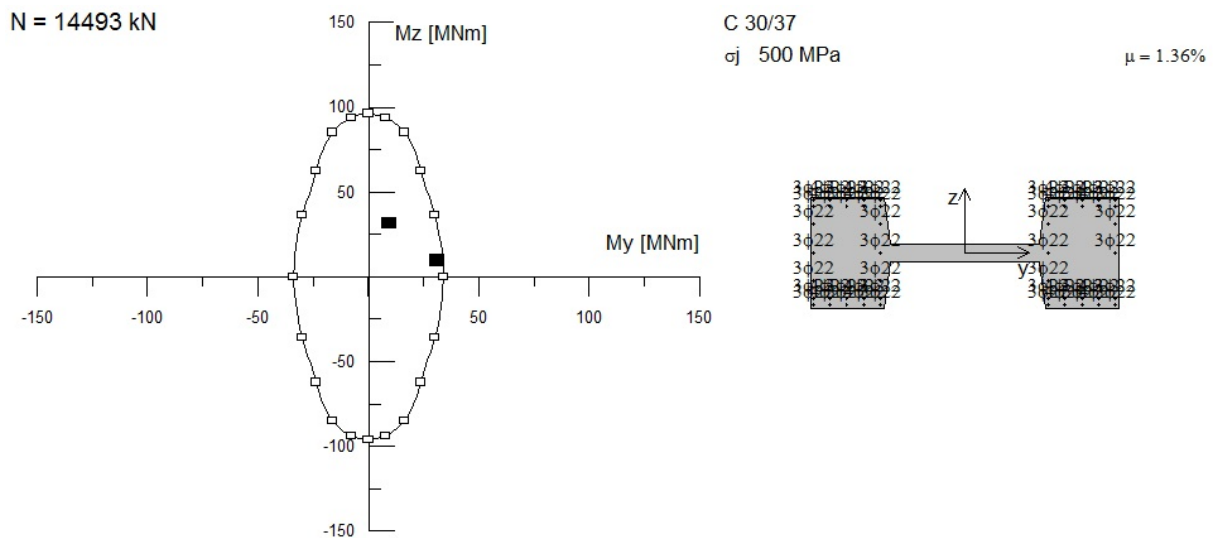
**KOMBINACIJE**

**Vzdolžno celota, prečno 30%**

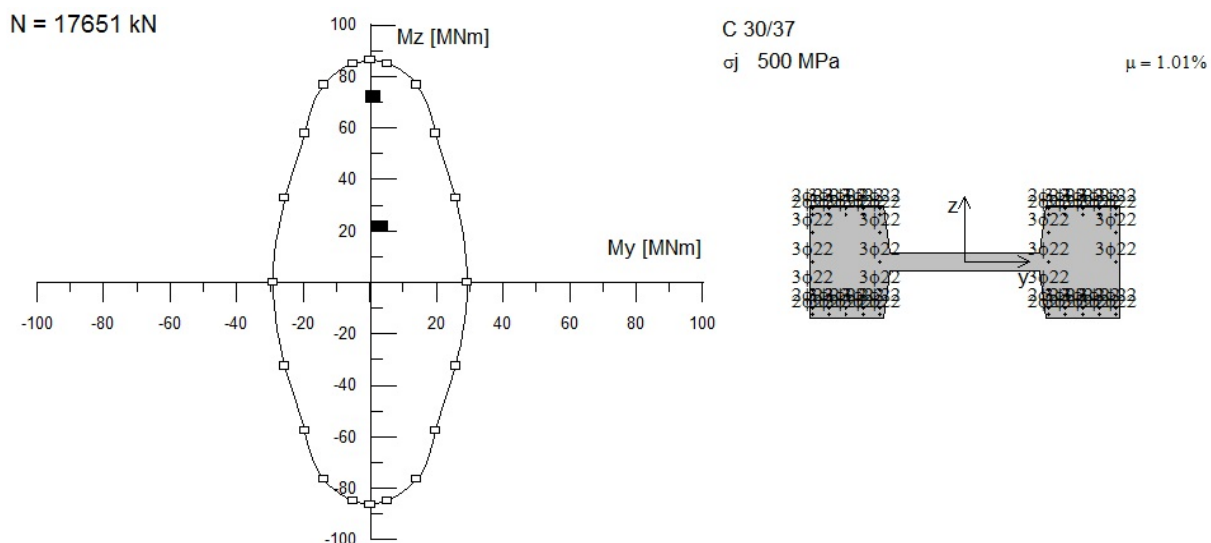
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-14493	1346,4	4439	31074	9425,4
Steber 2	-17651	1027,2	147	3084	21571,2
Steber 3	-15376	1352,1	1413	19786	18927,9

**Prečno celota, vzdolžno 30%**

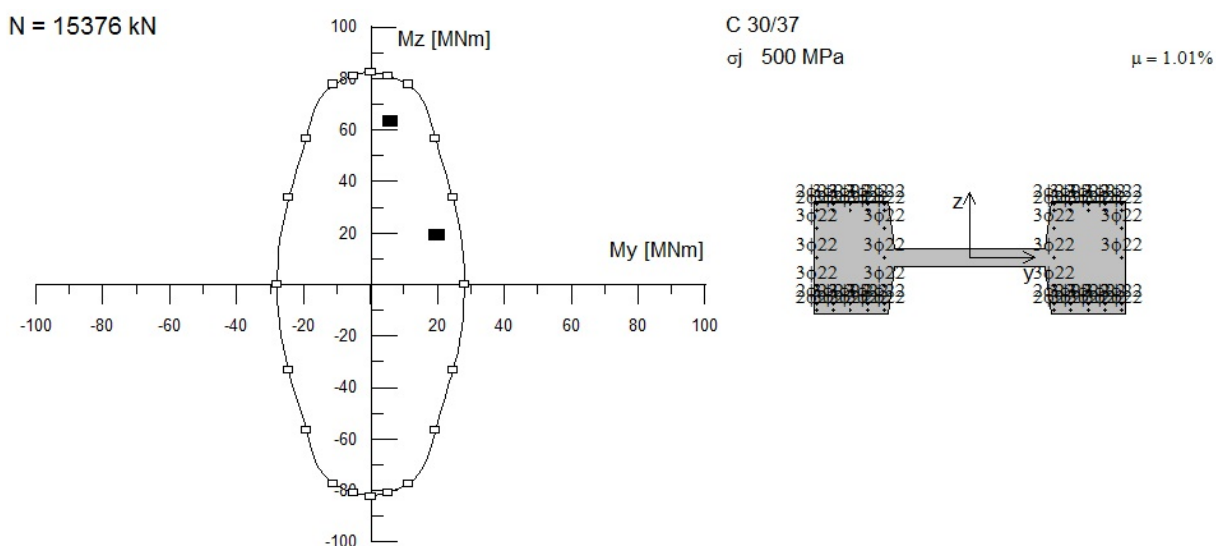
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-14493	4488	1331,7	9322,2	31418
Steber 2	-17651	3424	44,1	925,2	71904
Steber 3	-15376	4507	423,9	5935,8	63093



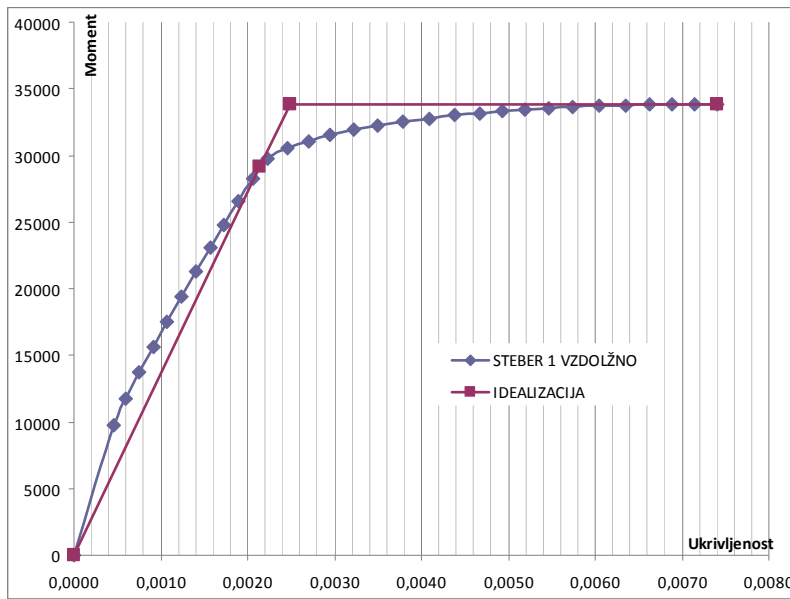
**Slika 49: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 132**



Slika 50: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 132



Slika 51: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 132



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,49$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 208,26  
 Površina idealizacije: 208,26  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	29149	0,002142
	33823	0,002485
	33823	0,007400

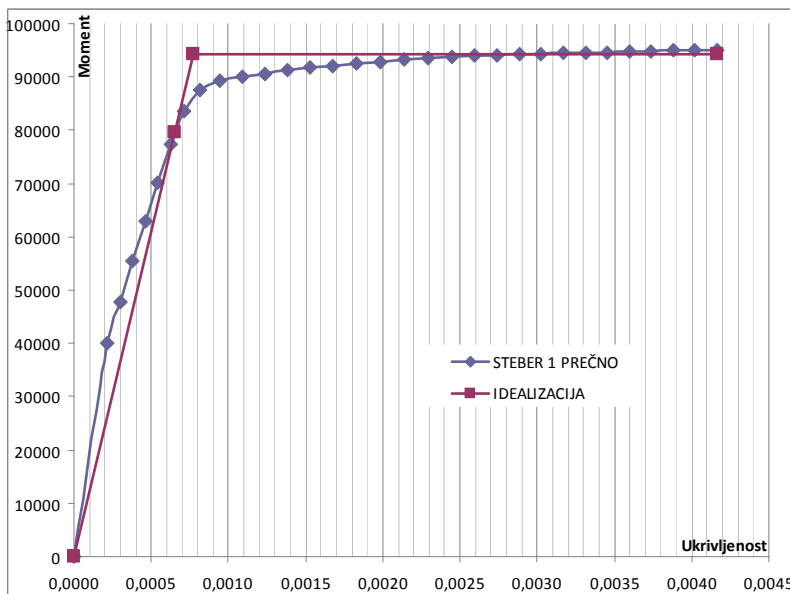
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 16329966$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:**  
**0,41**

S500 **Dod. C7**  
**1,86**

**Slika 52: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 4,46$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 356,05  
 Površina idealizacije: 356,05  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	79514	0,000649
	94232	0,000769
	94232	0,004163

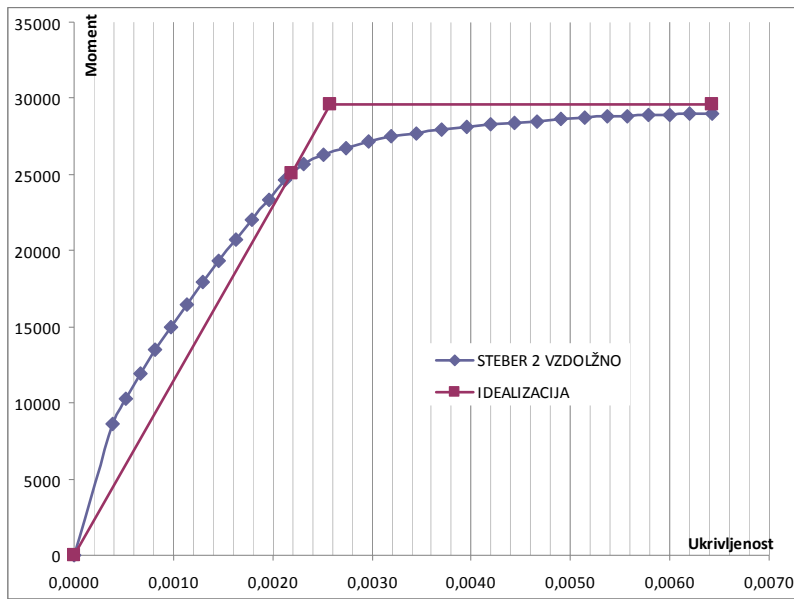
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 147021263$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:**  
**0,27**

S500 **Dod. C7**  
**1,59**

**Slika 53: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,42$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 152,03  
 Površina idealizacije: 152,03  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	25104	0,002191
	29584	0,002582
	29584	0,006430

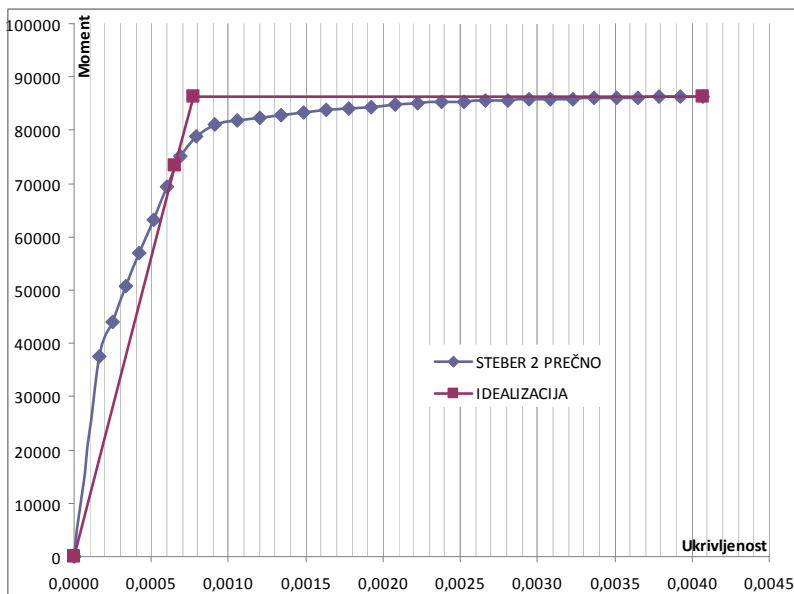
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_{c,eff} = 13749103$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:  
0,35**

S500 **Dod. C7  
1,93**

**Slika 54: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 4,07$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 318,00  
 Površina idealizacije: 318,00  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	73491	0,000656
	86379	0,000771
	86379	0,004067

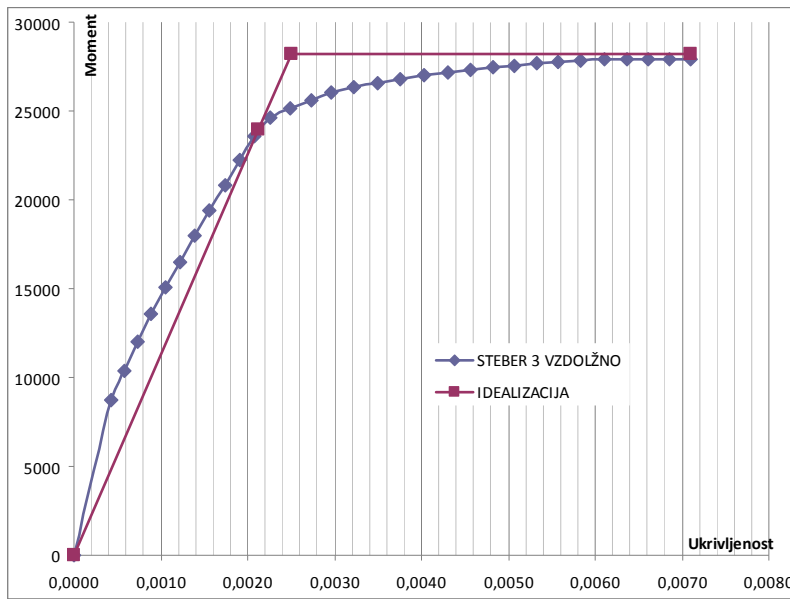
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_{c,eff} = 134433915$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:  
0,24**

S500 **Dod. C7  
1,60**

**Slika 55: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 164,88  
 Površina idealizacije: 164,88  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	23938	0,002129
	28181	0,002506
	28181	0,007104

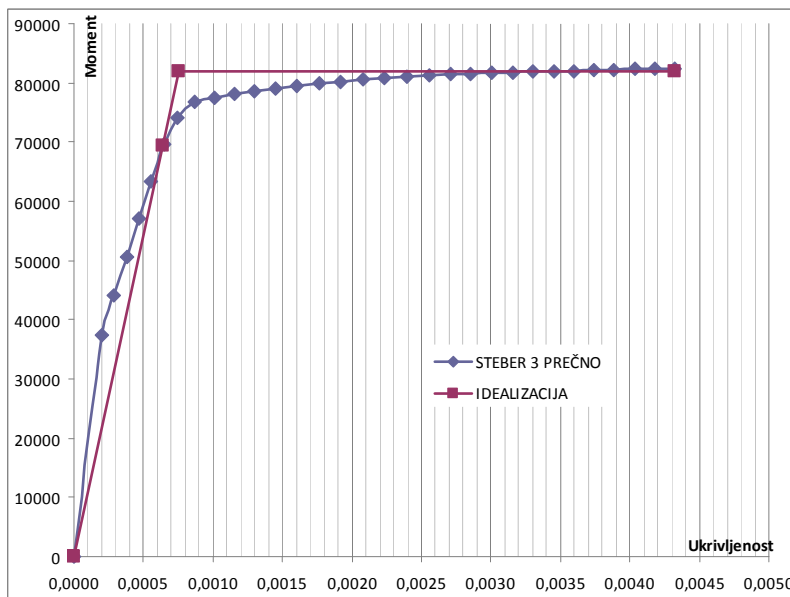
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 13492644$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:  
0,34**

S500 **Dod. C7  
1,87**

**Slika 56: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 3,93$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 322,96  
 Površina idealizacije: 322,96  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	69432	0,000642
	81877	0,000757
	81877	0,004323

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 129780336$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:  
0,23**

S500 **Dod. C7  
1,57**

**Slika 57: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 132, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri)**



### Preglednica 19: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 132 – končna iteracija

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-14493	-17651	-15376
Mv=	31074	3084	19786
Mp=	31418	71904	63093

Wv= 1,33 m3  
Wp= 6,72 m3

	Moment, pri katerem steber razpoka kNm		
	1	2	3
Mcr,v=	8309	9192	8556
Mcr,p=	41828	46273	43071

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

	Določitev razpokanosti		
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Ne	Da	Da

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,41xI_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno: NE razpoka

2. prečno:  $I_{eff}=0,24xI_{NERAZPOKANO}$

3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

3. prečno:  $I_{eff}=0,23xI_{NERAZPOKANO}$

Kontrola prečnih sil za račun ri.

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	4439	147	1413
Qp=	4488	3424	4507
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Da	Da	Da

q vzd.= 3,5      q preč.= 2,39

	STEBER - ri				STEBRI - Mrd (idealizacija)		
	1	2	3		1	2	3
rv i=	3,2		2,5	Vzd.	33813	29001	27938
rp i=	1,0	2,0	1,8	Preč.	95120	86403	82455

Vzd. max ri= 3,2      min ri= 2,5  
Preč. max ri= 2,0      min ri= 1,0

$\rho = \frac{r_{max}}{r_{min}}$	Vzd.	1,3
	Preč.	2,0

#### Regularnost!

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

#### Novi faktor qr!!!

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	

### 4.3.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 132

**Preglednica 20: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 132**

		Posamezna višina stebra					
		Steber 1 [ 7m ]		Steber 2 [ 21m ]		Steber 3 [ 14m ]	
Smer potresnega vpliva		VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.
Iteracije	Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,61	1,00	1,00	0,24	0,34	0,23
		1,94	1,71	1,93	1,60	1,87	1,57
		2,54%		1,01%		1,01%	
	1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,51	0,32	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,87	1,64	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,83%		1,01%		1,01%	
	2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,44	1,00	1,00	0,24	0,34	0,23
		1,86	1,61	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,48%		1,01%		1,01%	
	3. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,44	0,28	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,86	1,61	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,48%		1,01%		1,01%	
	4. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,40	0,26	1,00	0,24	0,34	0,23
		1,85	1,59	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,30%		1,01%		1,01%	
	5. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,41	0,27	0,35	1,00	1,00	1,00
		1,86	1,59	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,36%		1,01%		1,01%	
6. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,41	1,00	1,00	0,24	0,34	0,23	
	1,86	1,59	1,93	1,60	1,87	1,57	
	1,36%		1,01%		1,01%		

	razpokanost prereza
	EC 8-2, ANNEX C, faktor C.7
	procent armiranja

#### OPOMBE IN UGOTOVITVE:

Obravnavana kombinacija dolžin stebrov nam med postopkom iteracij prikaže vrsto različnih rezultatov. Ker je izbrana konstrukcija v vseh iteracijah regularna, faktorja obnašanja  $q_v=3,5$  in  $q_p=2,39$  ohranjata svoje vrednosti.

Po končani analizi in postopku iteracije smo ugotovili, da se odstotek armiranja stebra v osi 1 (višina 7 m) zniža z 2,54 % na 1,36 % površine prečnega prereza stebra. Tako smo preko upoštevanja razpokanih prerezov armaturo preplovlili (znižali za 1,18 %) in zagotovili večjo

izkoriščenost stebrov, saj se je vpliv potresa zaradi znižanja odstotka armature prerazporedil na stebra z dolžino 21 m in 14 m. Reduciranje vzdolžne armature zniža togost stebra.

Stebra v osi 2 in 3 (višini 21 m in 14 m) se armira z minimalno vzdolžno armaturo oziroma 1 % površine prečnega prereza stebra.

*Izračun prihranka armature stebra v osi 1 za most 132:*

$$A = 5,25m^2$$

$$A_{jeklo}^N = 5,25 \cdot 100 \cdot 100cm^2 \cdot 0,0254 = 1333,50cm^2$$

$$A_{jeklo}^{7i} = 5,25 \cdot 100 \cdot 100cm^2 \cdot 0,0136 = 714cm^2$$

$$A_{jeklo}^R = 1333,50cm^2 - 714cm^2 = 619,50cm^2$$

$$\rho_{jekla} = 7850kg / m^3$$

$$M_{jekla}^R = A_{jeklo}^R \cdot \rho_{jekla} \cdot L = 619,50cm^2 \cdot \frac{7850kg}{1000 \cdot 1000cm^3} \cdot 700cm = 3404,15kg$$

*kjer so:*

*A – površina prečnega prereza stebra*

*A<sub>jeklo</sub><sup>N</sup> – površina vzdolžne armature nerazpokanega prereza*

*A<sub>jeklo</sub><sup>2i</sup> – površina vzdolžne armature po drugi iteraciji*

*A<sub>jeklo</sub><sup>R</sup> – razlika površine armature*

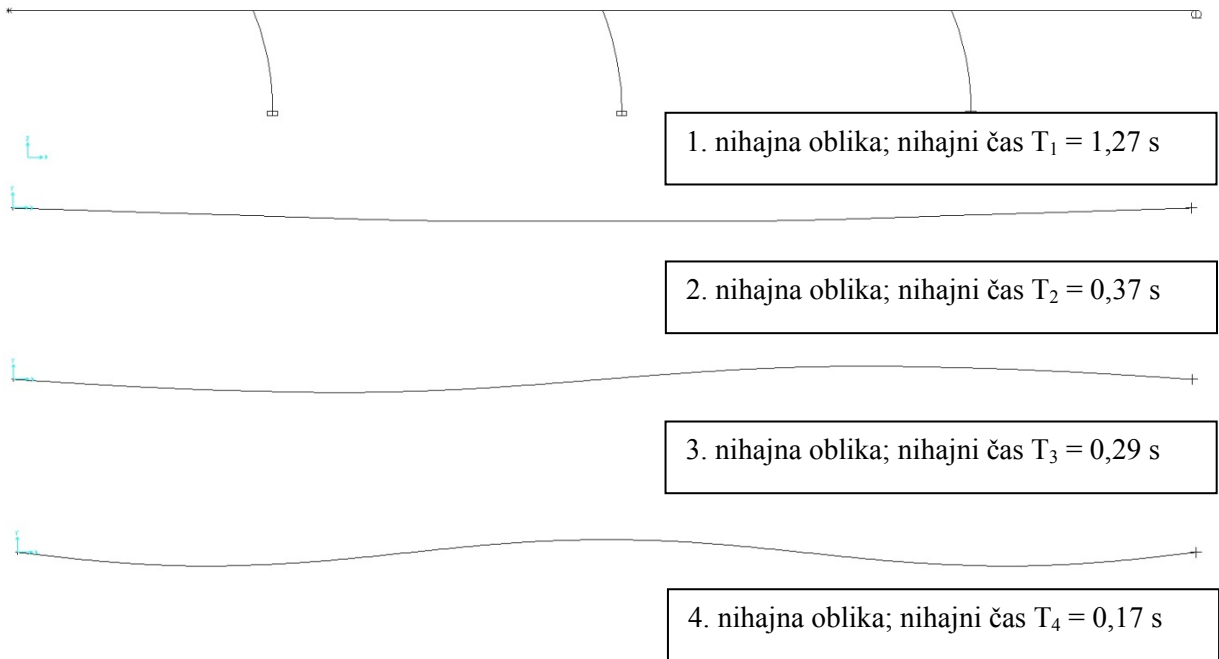
*ρ<sub>jekla</sub> – gostota jekla*

*M<sub>jekla</sub><sup>R</sup> – masa prihranjene vzdolžne armature*

Zgornji izračun prikazuje količino privarčevane armature stebra v osi 1. Če upoštevamo, da cena armature znaša 0,75 €/kg, lahko materialni prihranek armature stebra v osi 1 ovrednotimo na 2.600 €. Pri tem je potrebno upoštevati, da v izračunu prihranka niso vključena prekrivanja armaturnih palic, strošek projektiranja armature, transport materiala, cena vgradnje ...

## 4.4 Mostna konstrukcija 222

### 4.4.1 Most 222 – nerazpokani prerezi



Slika 58: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 222

Preglednica 21: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1,274444	1	0	1	0	0	1	0	1
2	0,370271	0	0,82344	1	0,82344	0,82344	0	0,82344	1
3	0,288205	0	0	1	0,82344	0	0	0,82344	1
4	0,174691	0	0,10422	1	0,92766	0,10422	0	0,92766	1

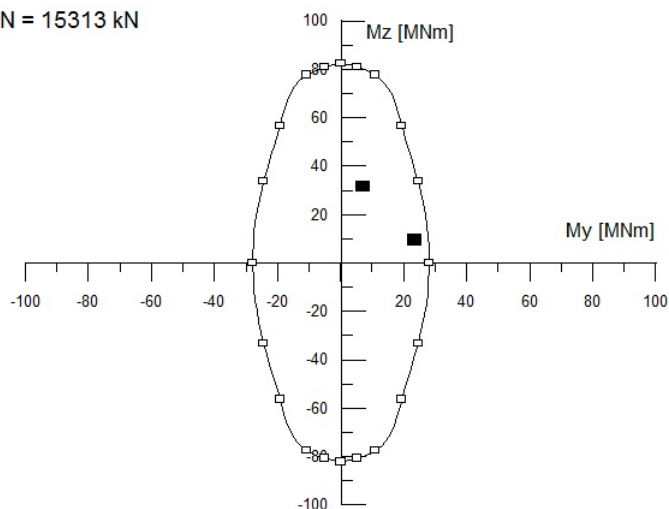
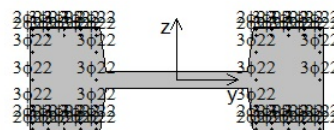
**Preglednica 22: Obtežne kombinacije za most 222****KOMBINACIJE****Vzdolžno celota, prečno 30%**

		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15313	671,7	1675	23456	9403,5
Steber 2	-16831	1144,2	1675	23448	16017,3
Steber 3	-15313	671,7	1675	23456	9403,5

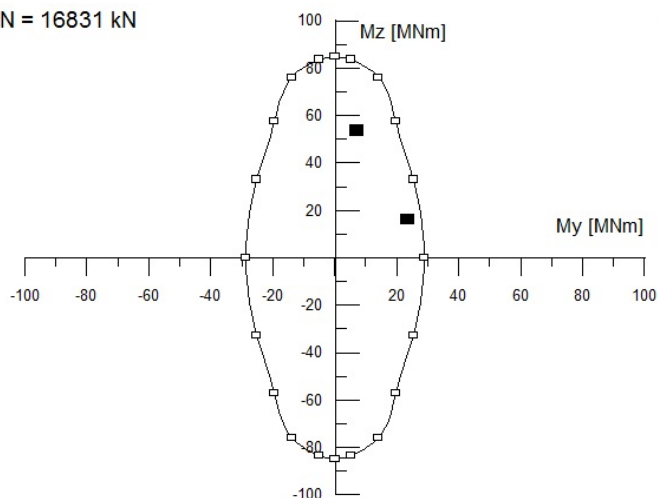
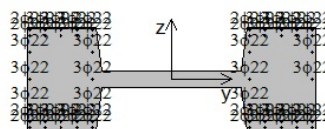
**Prečno celota, vzdolžno 30%**

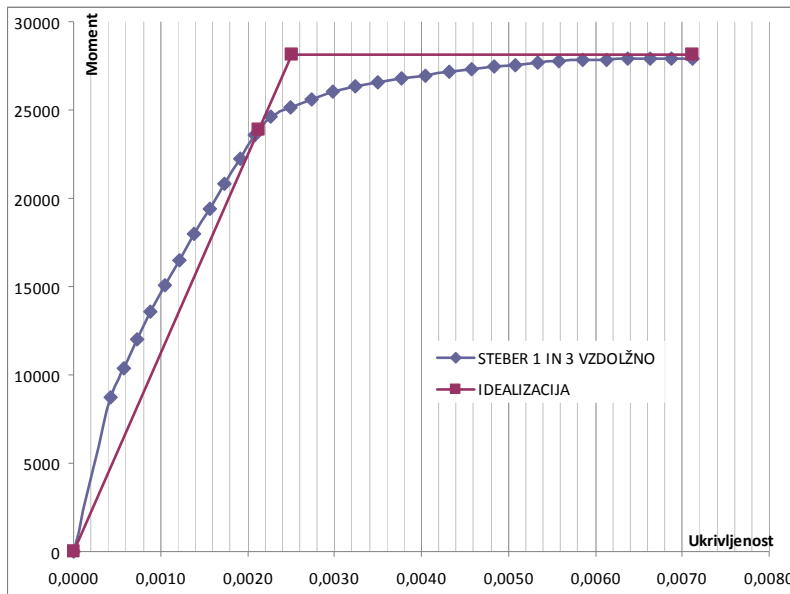
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15313	2239	502,5	7036,8	31345
Steber 2	-16831	3814	502,5	7034,4	53391
Steber 3	-15313	2239	502,5	7036,8	31345

N = 15313 kN

C 30/37  
 $\sigma_j$  500 MPa $\mu = 1.01\%$ **Slika 59: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 222**

N = 16831 kN

C 30/37  
 $\sigma_j$  500 MPa $\mu = 1.01\%$ **Slika 60: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 222**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $l_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 165,28  
 Površina idealizacije: 165,28  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	23905	0,002127
	28142	0,002504
	28142	0,007125

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

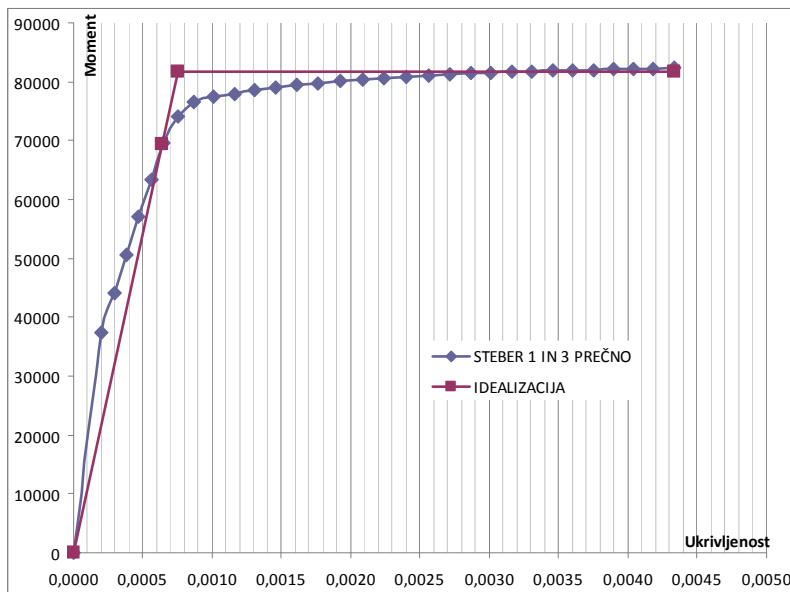
$E_c J_{eff} = 13486810$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

**Dod. C7**  
**1,87**

S500

**Slika 61: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $l_{eff,z} = 3,93$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 323,07  
 Površina idealizacije: 323,07  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	69320	0,000641
	81747	0,000756
	81747	0,004330

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

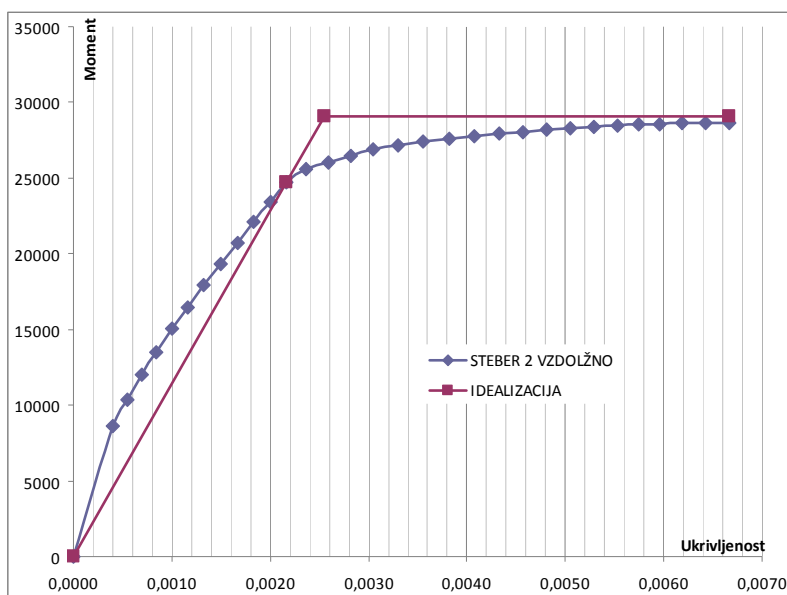
$E_c J_{eff} = 129771819$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,23**

**Dod. C7**  
**1,57**

S500

**Slika 62: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 156,54  
 Površina idealizacije: 156,54  
 Upoštevamo enakost površin!

## IDEALIZACIJA

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	24688	0,002169
	29085	0,002555
	29085	0,006660

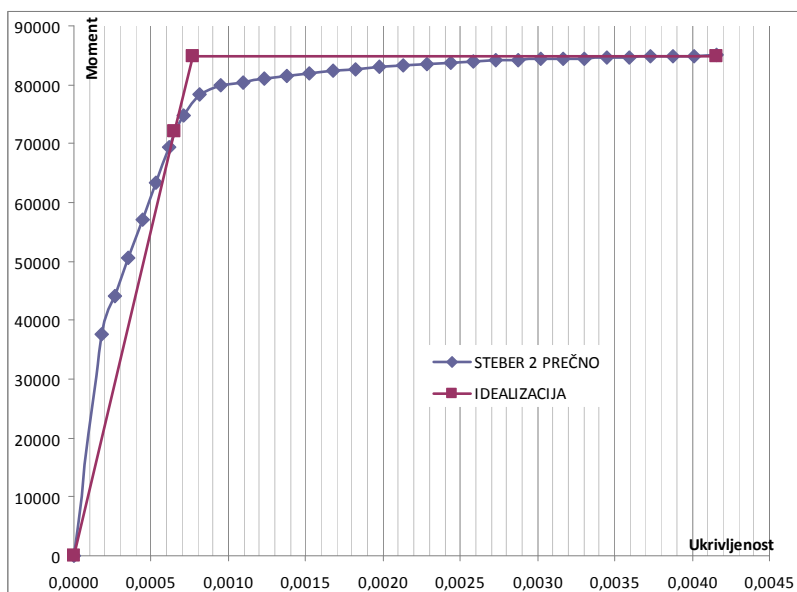
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 13658871$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

**Dod. C7**  
S500 **1,91**

Slika 63: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steb v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 4,02$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 319,85  
 Površina idealizacije: 319,85  
 Upoštevamo enakost površin!

## IDEALIZACIJA

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	72031	0,000651
	84750	0,000766
	84750	0,004157

$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 132776682$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,24**

**Dod. C7**  
S500 **1,59**

Slika 64: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steb v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)

**Preglednica 23: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 222**

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-15313	-16831	-15313
Mv=	23456	23448	23456
Mp=	31345	53391	31345

Wv= 1,33 m<sup>3</sup>  
Wp= 6,72 m<sup>3</sup>

Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8538	8963	8538
Mcr,p=	42982	45119	42982

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4; I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}; h_v = 1,8\text{ m}$

	Določitev razpokanosti		
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Da	Da
Preč.	Ne	Da	Ne

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

2. prečno:  $I_{eff}=0,24xI_{NERAZPOKANO}$

3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

3. prečno: NE razpoka

**Kontrola prečnih sil za račun ri.**

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	1675	1675	1675
Qp=	2239	3814	2239
Vzd.	Da	Da	Da
Preč.	Da	Da	Da

q= 3,5

	STEBER - ri		
	1	2	3
rv i=	2,9	2,9	2,9
rp i=	1,3	2,2	1,3

	STEBRI - Mrd (idealizacija)		
	1	2	3
Vzd.	27907	28628	27907
Preč.	82345	84985	82345

Vzd. max ri= 2,9 min ri= 2,9  
Preč. max ri= 2,2 min ri= 1,3

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd.	1,0
Preč.	1,7

**Regularnost!**

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

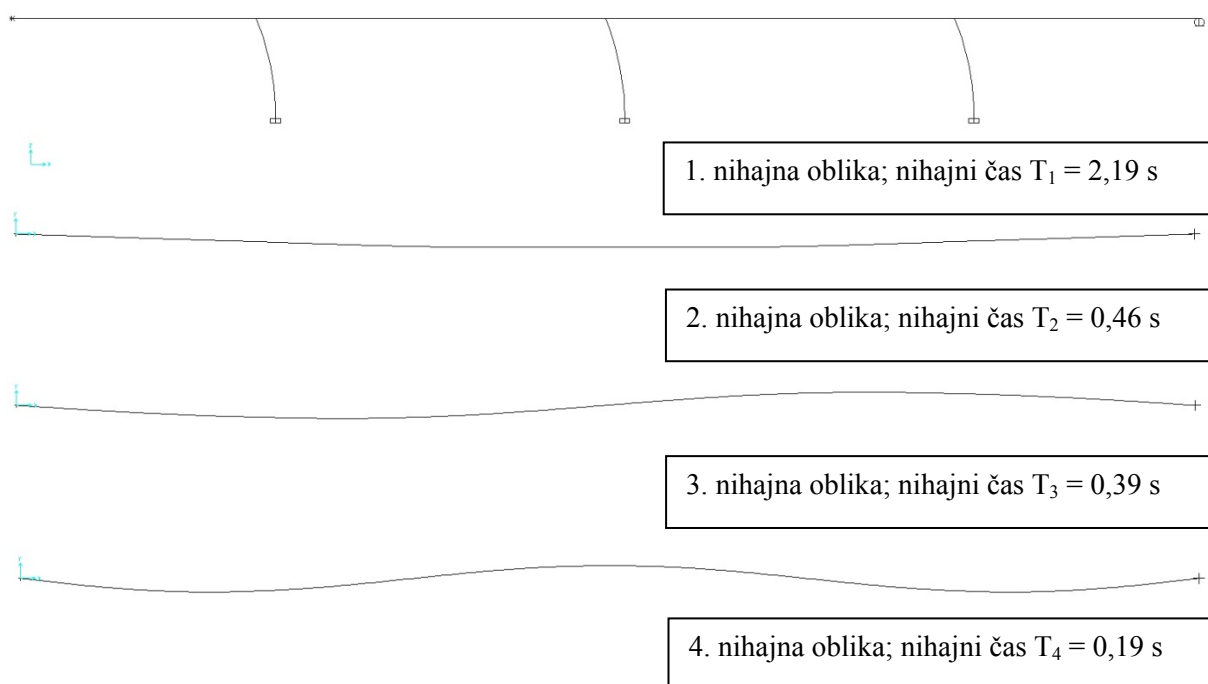
Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

**Novi faktor qr!!!**

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	3,5	



#### 4.4.2 Most 222 – končna iteracija



Slika 65: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 222 – končna iteracija

Preglednica 24: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	2,185213	1	0	1	0	0	1	0	1
2	0,463267	0	0,89095	1	0,89095	0,89095	0	0,89095	1
3	0,39303	0	0	1	0,89095	0	0	0,89095	1
4	0,189691	0	0,03308	1	0,92402	0,03308	0	0,92402	1

**Preglednica 25: Obtežne kombinacije za most 222 – končna iteracija**

**KOMBINACIJE**

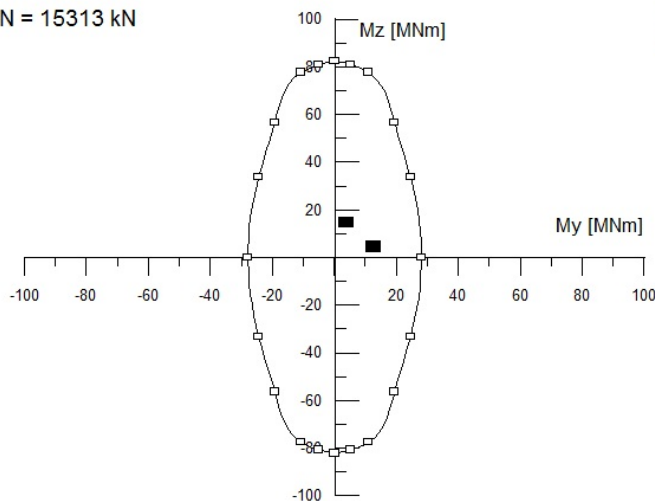
**Vzdolžno celota, prečno 30%**

		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15313	312,3	893	12509	4374
Steber 2	-16831	1580,4	893	12507	22126,2
Steber 3	-15313	312,3	893	12509	4374

**Prečno celota, vzdolžno 30%**

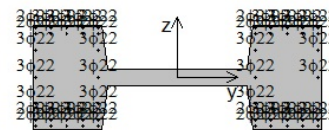
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15313	1041	267,9	3752,7	14580
Steber 2	-16831	5268	267,9	3752,1	73754
Steber 3	-15313	1041	267,9	3752,7	14580

N = 15313 kN



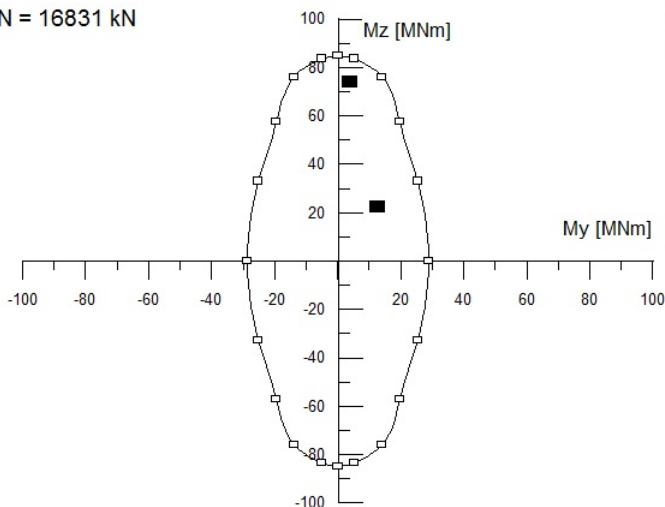
C 30/37  
 c<sub>fj</sub> 500 MPa

$\mu = 1.01\%$



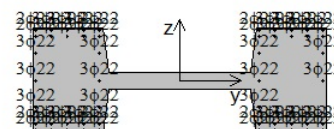
**Slika 66: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 222**

N = 16831 kN

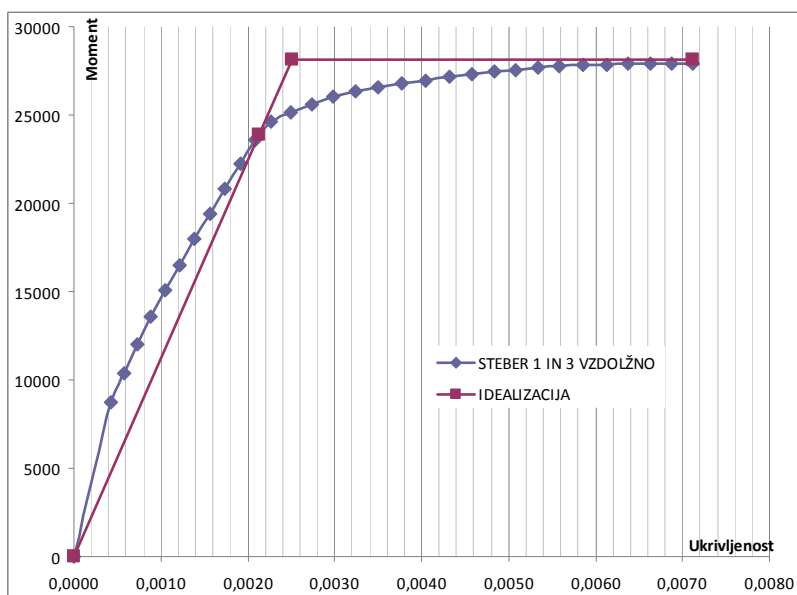


C 30/37  
 c<sub>fj</sub> 500 MPa

$\mu = 1.01\%$



**Slika 67: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 222**



C 30/37

Ec= 33000000 N/m2

Iy= 1,20 m4

Ieff,y= 0,41 m4

Površina grafa: 165,28

Površina idealizacije: 165,28

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	23905	0,002127
	28142	0,002504
	28142	0,007125

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

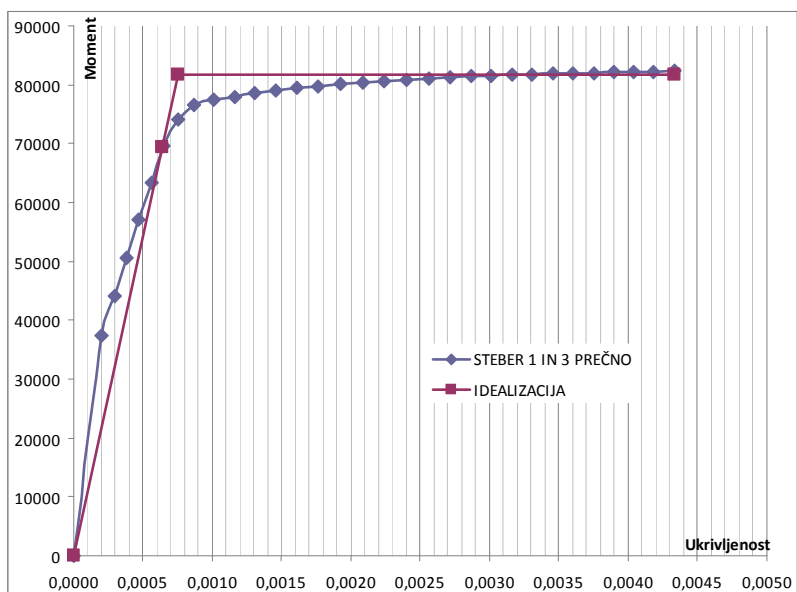
Ecleff 13486810 kNm2

Faktor razpokanosti	0,34
---------------------	------

Dod. C7	1,87
---------	------

S500

Slika 68: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37

Ec= 33000000 N/m2

Iz= 16,7938 m4

Ieff,z= 3,93 m4

Površina grafa: 323,07

Površina idealizacije: 323,07

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	69320	0,000641
	81747	0,000756
	81747	0,004330

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

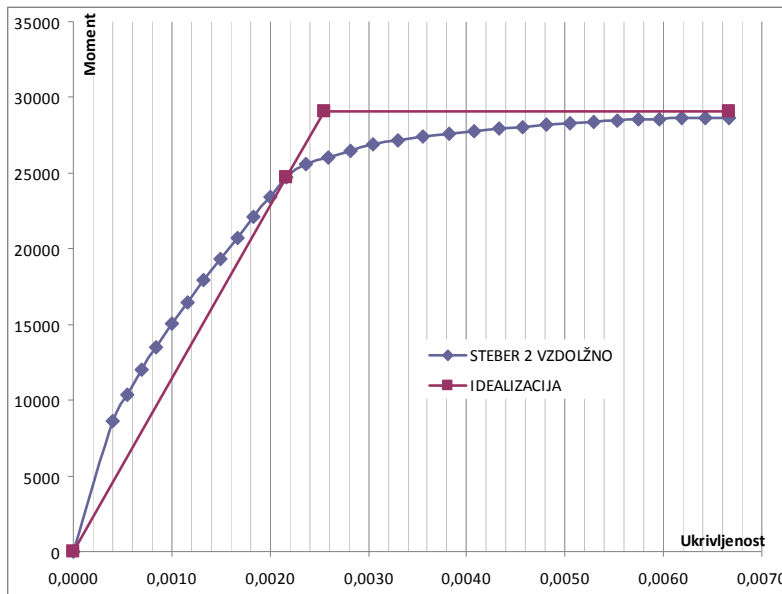
Ecleff 129771819 kNm2

Faktor razpokanosti	0,23
---------------------	------

Dod. C7	1,57
---------	------

S500

Slika 69: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri)



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 156,54  
 Površina idealizacije: 156,54  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

M	Ukrivljenost
0	0,000000
24688	0,002169
29085	0,002555
29085	0,006660

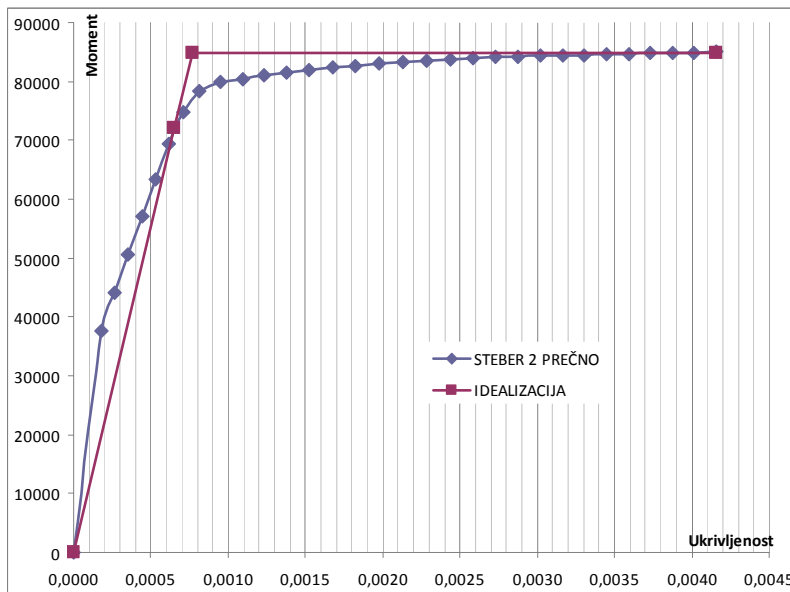
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

E<sub>c</sub>leff 13658871 kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

**Dod. C7**  
**1,91**

**Slika 70: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 4,02$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 319,85  
 Površina idealizacije: 319,85  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

M	Ukrivljenost
0	0,000000
72031	0,000651
84750	0,000766
84750	0,004157

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

E<sub>c</sub>leff 132776682 kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,24**

**Dod. C7**  
**1,59**

**Slika 71: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 222, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**

**Preglednica 26: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 222 – končna iteracija**

STEBRI - Momenti kNm			
	1	2	3
N=	-15313	-16831	-15313
Mv=	12509	12507	12509
Mp=	14580	73754	14580
Wv=	1,33	m3	
Wp=	6,72	m3	
Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8538	8963	8538
Mcr,p=	42982	45119	42982

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4; I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}; h_v = 1,8\text{ m}$

Določitev razpokanosti			
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Da	Da
Preč.	Ne	Da	Ne

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

2. prečno:  $I_{eff}=0,24xI_{NERAZPOKANO}$

3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

3. prečno: NE razpoka

Kontrola prečnih sil za račun ri.

STEBER - Q v kN			
	1	2	3
Qv=	893	893	893
Qp=	1041	5268	1041
Vzd.	Da	Da	Da
Preč.	Ne	Da	Ne

q= 3,5		STEBER - ri			STEBRI - Mrd (idealizacija)			
		1	2	3	1	2	3	
rv i=		1,6	1,5	1,6	Vzd.	27907	28628	27907
rp i=			3,0		Preč.	82345	84985	82345

Vzd. max ri= **1,6** min ri= **1,5**  
Preč. max ri= **3,0** min ri= **3,0**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd. 1,0  
Preč. 1,0

**Regularnost!**

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

**Novi faktor qr!!!**

Vzd.	3,5	
Preč.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$

#### 4.4.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 222

**Preglednica 27: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 222**

		Posamezna višina stebra					
		Steber 1 [ 14m ]		Steber 2 [ 14m ]		Steber 3 [ 14m ]	
		Smer potresnega vpliva	VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.	VZD.
Iteracije	Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 3,5$	0,34	1,00	0,34	0,24	0,34	1,00
		1,87	1,57	1,91	1,59	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	
	1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 3,5$	0,34	0,23	0,34	1,00	0,34	0,23
		1,87	1,57	1,91	1,59	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	
	2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 3,5$	0,34	1,00	0,34	0,24	0,34	1,00
		1,87	1,57	1,91	1,59	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	

	razpokanost prereza
	EC 8-2, ANNEX C, faktor C.7
	procent armiranja

#### OPOMBE IN UGOTOVITVE:

Mostna konstrukcija, katere stebri so visoki 14 m, se izkaže kot najbolj preprosta. Faktorja obnašanja v vzdolžni in prečni smeri sta enaka in zavzmeta vrednost 3,5.

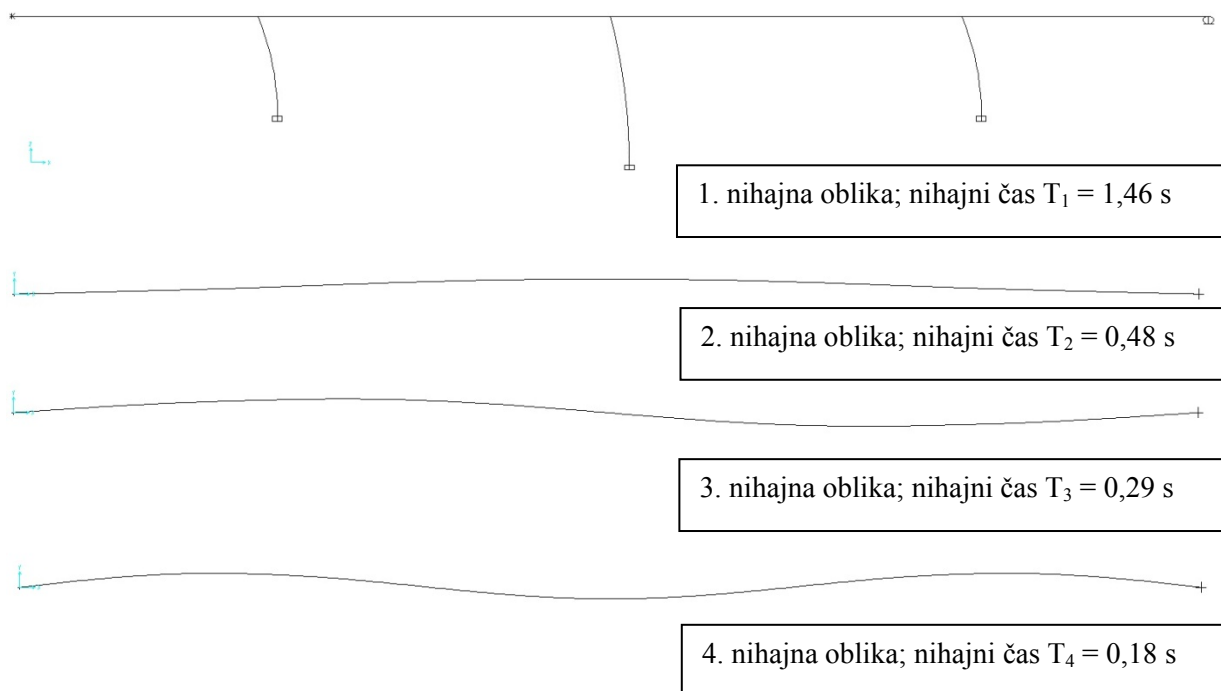
V fazi analize, ko upoštevamo nerazpokane prereze, smo vse stebre v konstrukciji armirali z minimalnim 1 % površine prečnega prereza stebra. Na tem mestu bi z analizo lahko zaključili, vendar nas je zanimalo obnašanje faktorja razpokanosti, zato smo izračun ponovili še dvakrat. Izkazalo se je, da je faktor razpokanosti v vzdolžni smeri mosta zaradi vzdolžne togosti prekladne konstrukcije za vse stebre enak, medtem ko je v prečni smeri različen. Način podpiranja krajnih opornikov je razlog za različnost vrednosti faktorja obnašanja. (Opornika omogočata vzdolžni pomik konstrukcije, preprečujeta pa prečne pomike, zato vrednost faktorja razpokanosti ni enaka.)

Iz interakcijskih diagramov končne iteracije smo ugotovili, da so prerezi, kljub minimalni armaturi, neizkoriščeni z izjemo prečne smeri stebra v osi 2.

Izračun prihranka armature ni potreben, saj je odstotek armiranja minimalen.

## 4.5 Mostna konstrukcija 232

### 4.5.1 Most 232 – nerazpokani prerezi



Slika 72: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 232

### Preglednica 28: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1,462648	1	0	1	0	0	1	0	1
2	0,483835	0	0,76359	1	0,76359	0,76359	0	0,76359	1
3	0,288292	0	0	1	0,76359	0	0	0,76359	1
4	0,182099	0	0,16712	1	0,93071	0,16712	0	0,93071	1

### Preglednica 29: Obtežne kombinacije za most 232

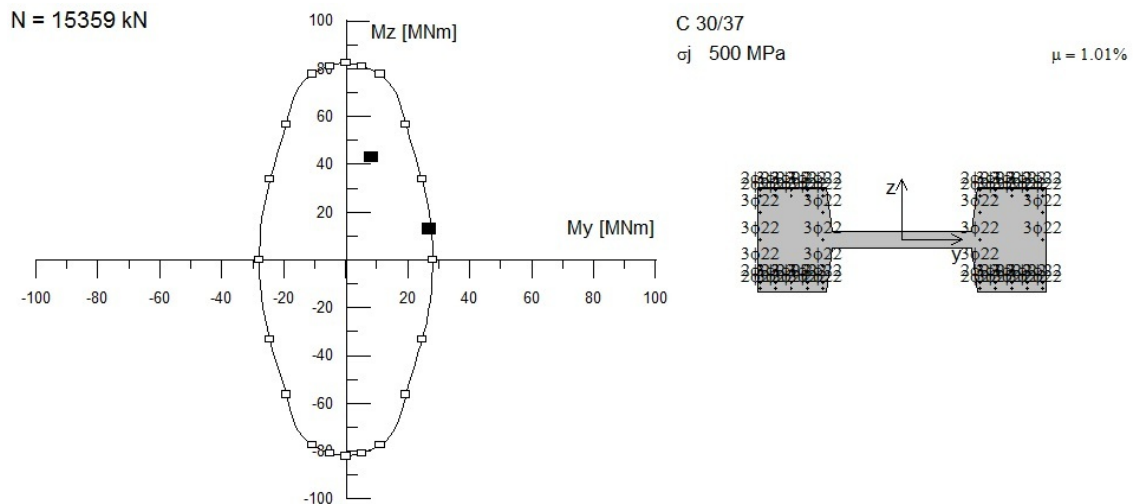
#### KOMBINACIJE

##### Vzdolžno celota, prečno 30%

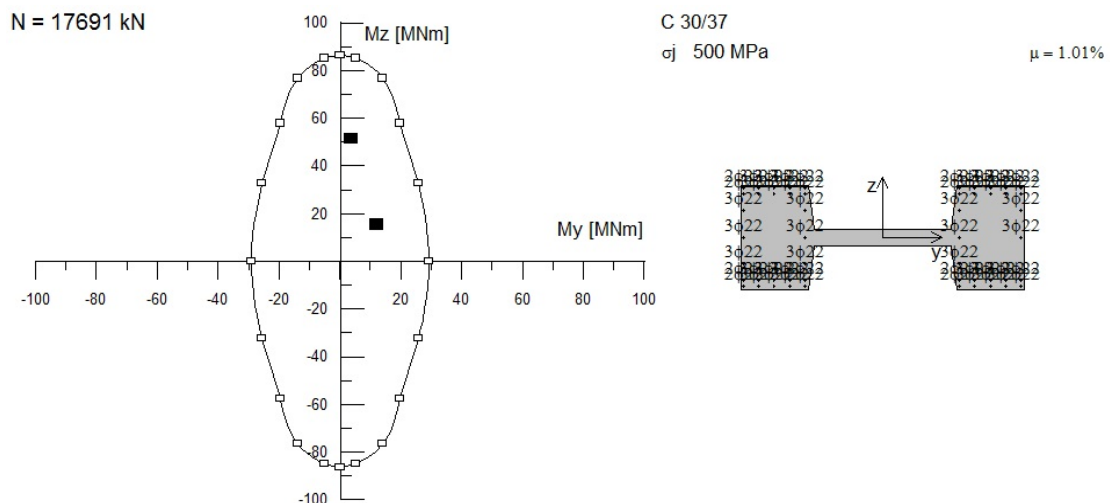
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15359	918,3	1922	26907	12856,8
Steber 2	-17691	732	573	12040	15374,1
Steber 3	-15359	918,3	1922	26907	12856,8

##### Prečno celota, vzdolžno 30%

		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15359	3061	576,6	8072,1	42856
Steber 2	-17691	2440	171,9	3612	51247
Steber 3	-15359	3061	576,6	8072,1	42856

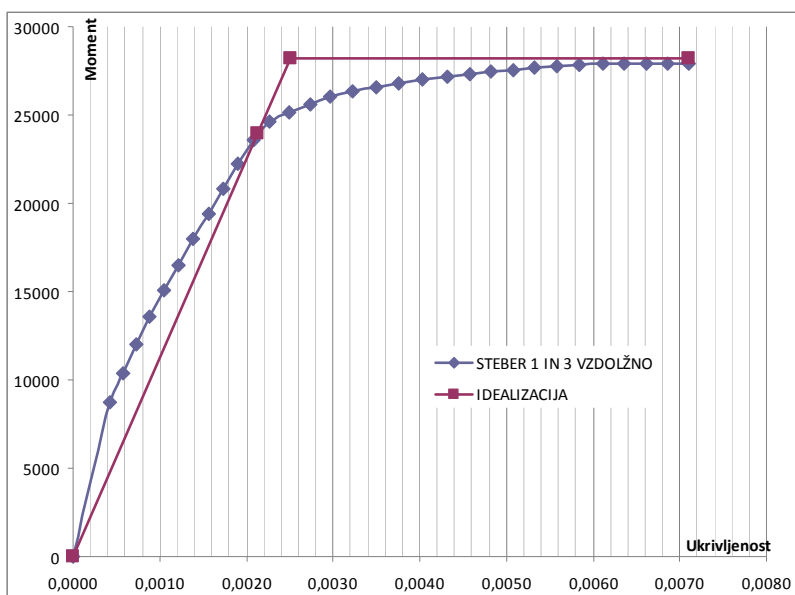


Slika 73: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 232



Slika 74: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 232





**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 165,02  
 Površina idealizacije: 165,02  
 Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA	
M	Ukrvljenost
0	0,000000
23933	0,002128
28173	0,002505
28173	0,007110

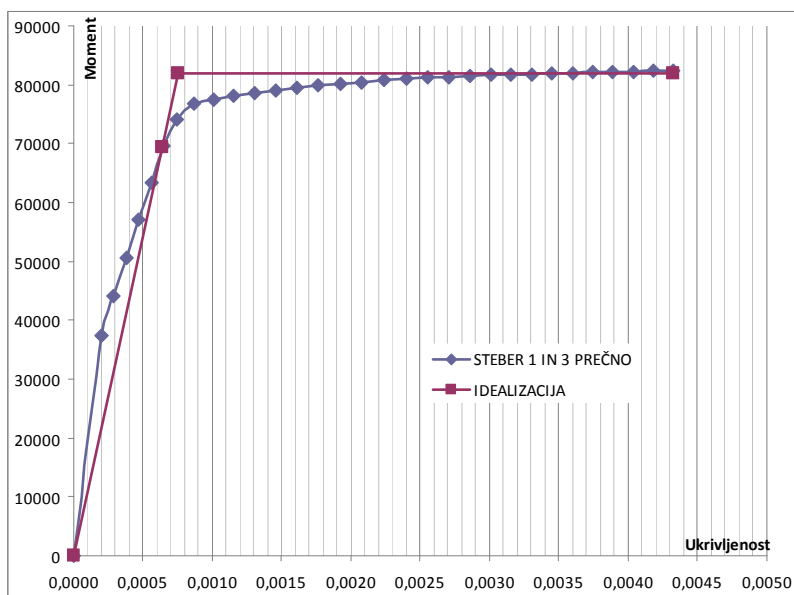
$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$   
 $E_{cleff} = 13496053$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

**Dod. C7**  
**1,87**

S500

**Slika 75: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 3,93$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 323,01  
 Površina idealizacije: 323,01  
 Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA	
M	Ukrvljenost
0	0,000000
69402	0,000642
81848	0,000757
81848	0,004325

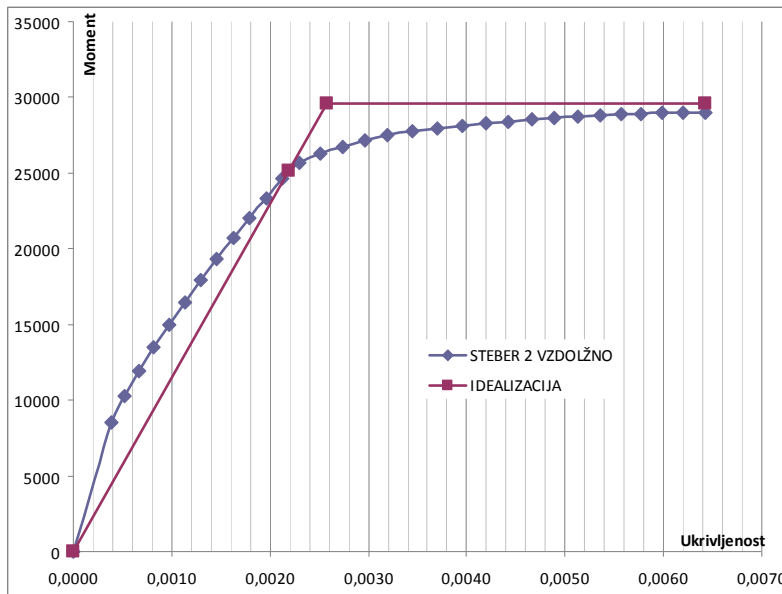
$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$   
 $E_{cleff} = 129723364$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,23**

**Dod. C7**  
**1,57**

S500

**Slika 76: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,42$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 151,83  
 Površina idealizacije: 151,83  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	25127	0,002193
	29616	0,002585
	29616	0,006419

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

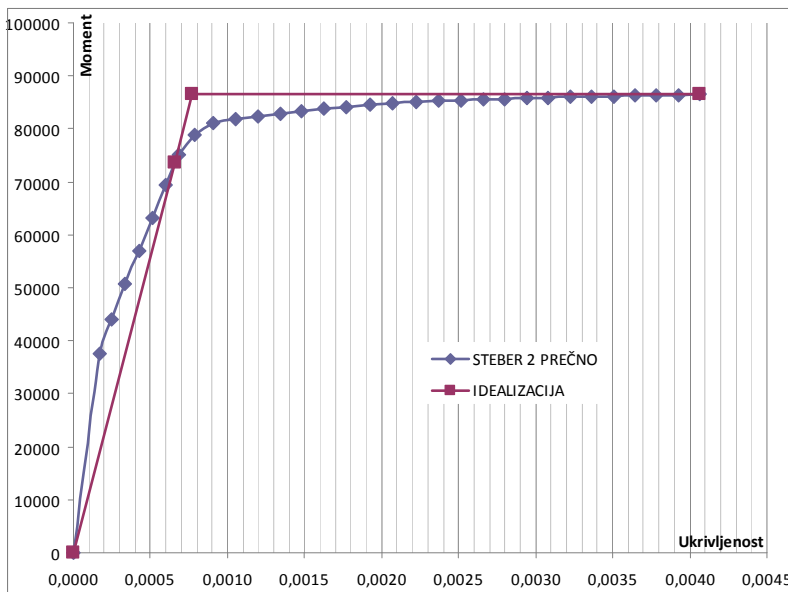
$E_c J_{eff} = 13749636$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,35**

**Dod. C7**  
**1,93**

S500

**Slika 77: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 4,08$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 317,91  
 Površina idealizacije: 317,91  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	73562	0,000656
	86447	0,000771
	86447	0,004063

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 134564049$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,24**

**Dod. C7**  
**1,60**

S500

**Slika 78: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**

### Preglednica 30: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 232

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-15359	-17691	-15359
Mv=	26907	12040	26907
Mp=	42856	51247	42856
Wv=	1,33	m3	
Wp=	6,72	m3	
Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8551	9203	8551
Mcr,p=	43047	46329	43047

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

	Določitev razpokanosti		
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Da	Da
Preč.	Ne	Da	Ne

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno:  $I_{eff}=0,35xI_{NERAZPOKANO}$

2. prečno:  $I_{eff}=0,24xI_{NERAZPOKANO}$

3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

3. prečno: NE razpoka

#### Kontrola prečnih sil za račun ri.

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	1922	573	1922
Qp=	3061	2440	3061
Vzd.	Da	Ne	Da
Preč.	Da	Da	Da

	q=	STEBER - ri				STEBRI - Mrd (idealizacija)		
	3,5	1	2	3		1	2	3
rv i=		3,4		3,4	Vzd.	27934	29023	27934
rp i=		1,8	2,1	1,8	Preč.	82425	86472	82425

Vzd. max ri= **3,4** min ri= **3,4**  
Preč. max ri= **2,1** min ri= **1,8**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd. 1,0  
Preč. 1,1

#### Regularnost!

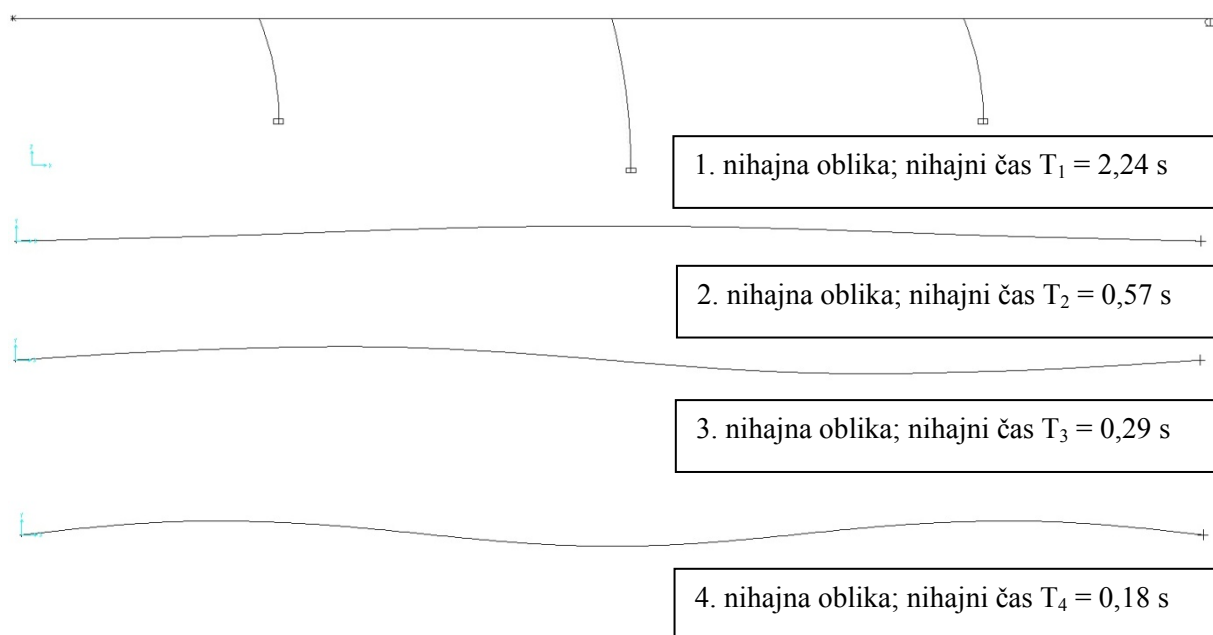
Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

#### Novi faktor qr!!!

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	3,5	

#### 4.5.2 Most 232 – končna iteracija



Slika 79: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 232 – končna iteracija

Preglednica 31: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	2,24157	1	0	1	0	0	1	0	1
2	0,565111	0	0,74128	1	0,74128	0,74128	0	0,74128	1
3	0,288292	0	0	1	0,74128	0	0	0,74128	1
4	0,184073	0	0,19037	1	0,93165	0,19037	0	0,93165	1

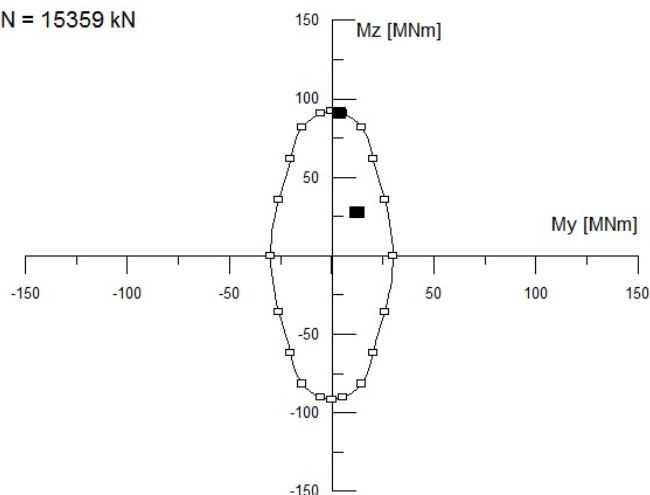
**Preglednica 32: Obtežne kombinacije za most 232 – končna iteracija****KOMBINACIJE****Vzdolžno celota, prečno 30% prečnega**

		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15359	1944,3	893	12506	27220,8
Steber 2	-17691	619,5	783	16437	13007,4
Steber 3	-15359	1944,3	893	12506	27220,8

**Prečno celota, vzdolžno 30% vzdolžnega**

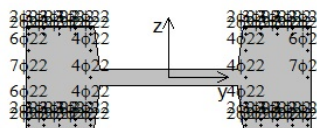
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-15359	6481	267,9	3751,8	90736
Steber 2	-17691	2065	234,9	4931,1	43358
Steber 3	-15359	6481	267,9	3751,8	90736

N = 15359 kN

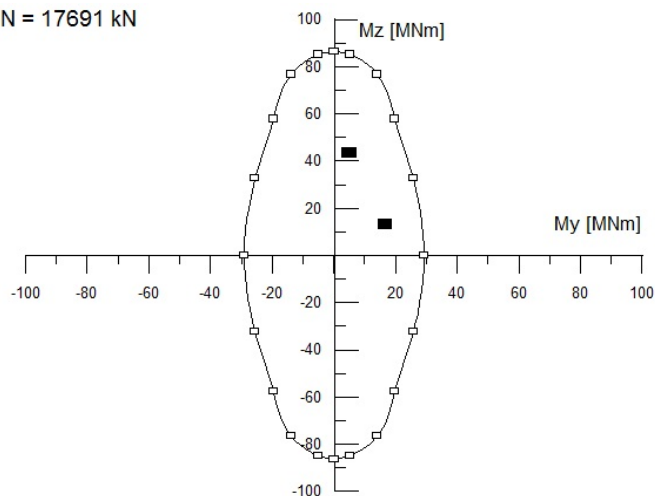


C 30/37

cj 500 MPa

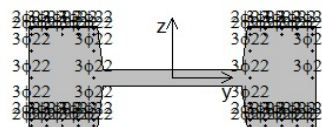
 $\mu = 1.20\%$ **Slika 80: Interakcijski diagram stebra v osi 1 in 3 v mostu 232**

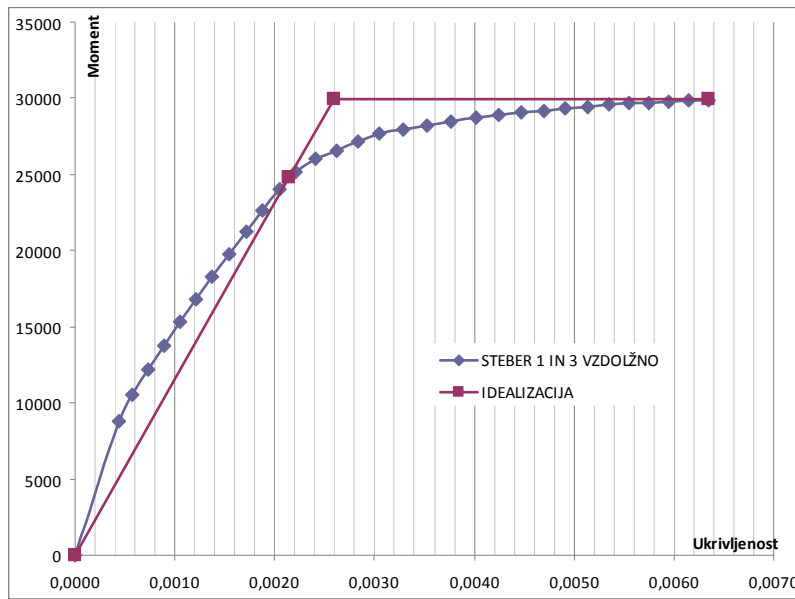
N = 17691 kN



C 30/37

cj 500 MPa

 $\mu = 1.01\%$ **Slika 81: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 232**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,42$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 151,44  
 Površina idealizacije: 151,44  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	24838	0,002148
	29954	0,002590
	29954	0,006351

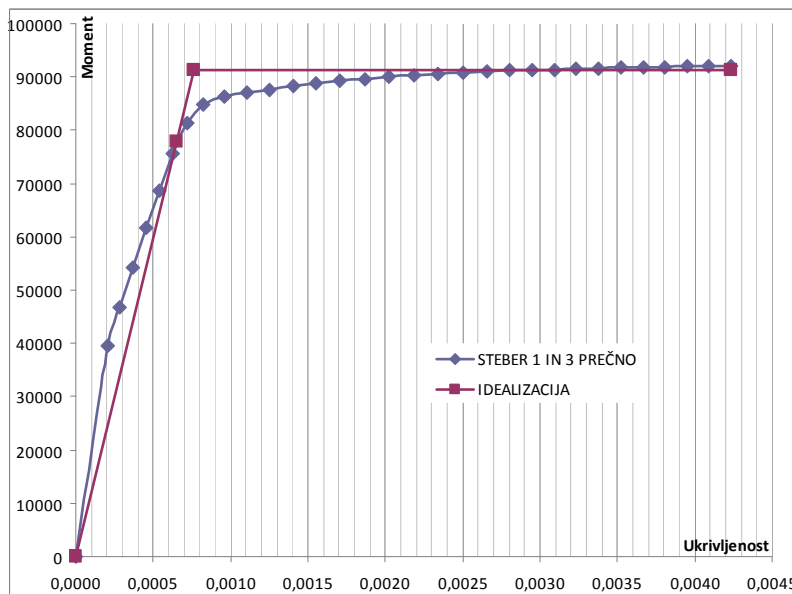
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_{c,eff} = 13875978$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,35**

S500 **Dod. C7**  
**1,93**

**Slika 82: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_z = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,z} = 4,37$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 352,02  
 Površina idealizacije: 352,02  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	77918	0,000649
	91376	0,000761
	91376	0,004233

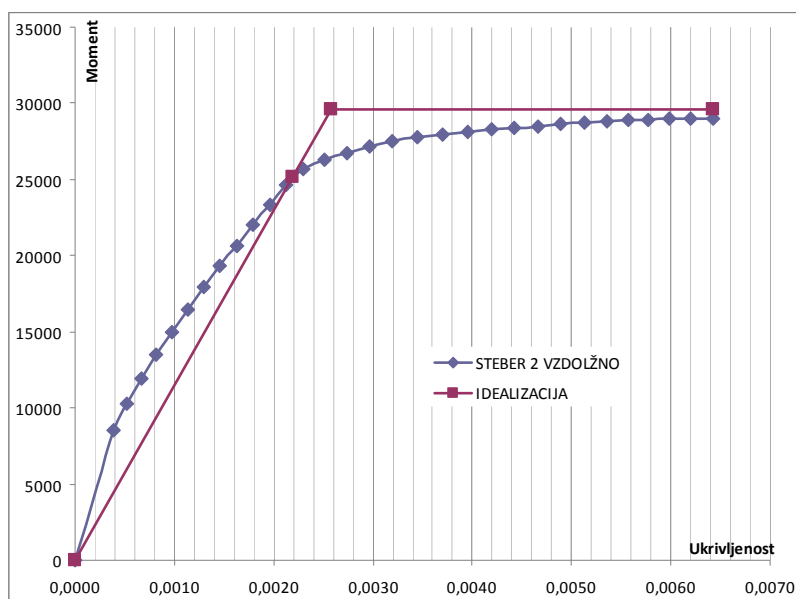
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_{c,eff} = 144069467$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,26**

S500 **Dod. C7**  
**1,58**

**Slika 83: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 1 in 3, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37

Ec= 33000000 N/m2

Iy= 1,20 m4

Ieff,y= 0,42 m4

Površina grafa: 151,81

Površina idealizacije: 151,81

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukrievjenost
	0	0,000000
1st. Yield	25124	0,002193
	29612	0,002585
	29612	0,006419

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

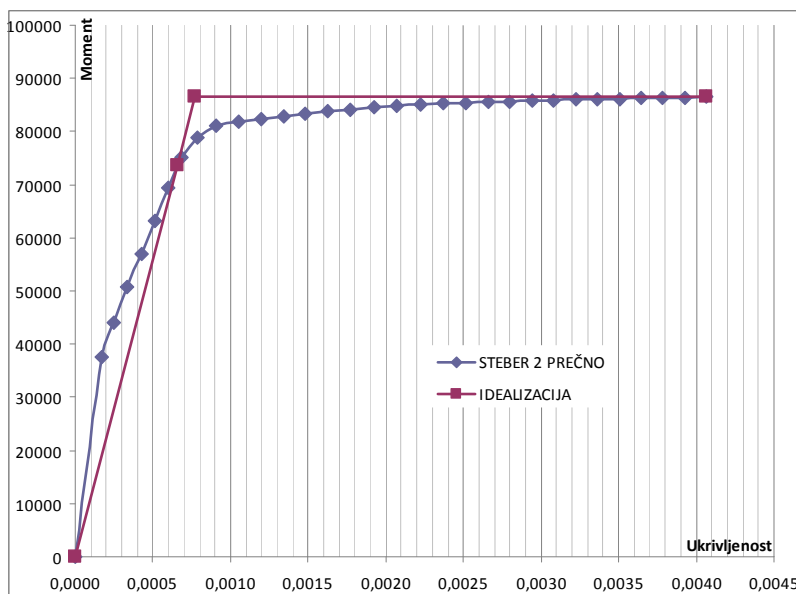
Ecleff 13747590 kNm2

<b>Faktor razpokanosti</b>
<b>0,35</b>

<b>Dod. C7</b>
<b>1,93</b>

S500

**Slika 84: Graf moment/ukrievjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



C 30/37

Ec= 33000000 N/m2

Iz= 16,7938 m4

Ieff,z= 4,08 m4

Površina grafa: 317,91

Površina idealizacije: 317,91

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukrievjenost
	0	0,000000
1st. Yield	73562	0,000656
	86448	0,000771
	86448	0,004063

$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

Ecleff 134564049 kNm2

<b>Faktor razpokanosti</b>
<b>0,24</b>

<b>Dod. C7</b>
<b>1,60</b>

S500

**Slika 85: Graf moment/ukrievjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 232, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**

**Preglednica 33: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 232 – končna iteracija**

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-15359	-17691	-15359
Mv=	12506	16437	12506
Mp=	90736	43358	90736

Wv= 1,33 m<sup>3</sup>  
Wp= 6,72 m<sup>3</sup>

Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8551	9203	8551
Mcr,p=	43047	46329	43047

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:  
 Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$   
 $f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$   
 $A = 5,25\text{ m}^2$   
 $I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$   
 $h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

	Določitev razpokanosti		
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Da	Da
Preč.	Da	Ne	Da

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,35xI_{NERAZPOKANO}$   
 1. prečno:  $I_{eff}=0,26xI_{NERAZPOKANO}$   
 2. vzdolžno:  $I_{eff}=0,35xI_{NERAZPOKANO}$   
 2. prečno: **NE razpoka**  
 3. vzdolžno:  $I_{eff}=0,35xI_{NERAZPOKANO}$   
 3. prečno:  $I_{eff}=0,26xI_{NERAZPOKANO}$

**Kontrola prečnih sil za račun ri.**

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	893	783	893
Qp=	6481	2065	6481
Vzd.	<b>Da</b>	<b>Da</b>	<b>Da</b>
Preč.	<b>Da</b>	<b>Ne</b>	<b>Da</b>

q vzd.=	3,5	q preč.=	2,07
STEBER - ri			
	1	2	3
rv i=	1,5	2,0	1,5
rp i=	2,0		2,0

STEBRI - Mrd (idealizacija)			
	1	2	3
Vzd.	29903	29019	29903
Preč.	92154	86472	92154

Vzd. max ri= **2,0** min ri= **1,5**  
 Preč. max ri= **2,0** min ri= **2,0**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd. 1,4  
Preč. 1,0

**Regularnost!**

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!  
 Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

**Novi faktor qr!!!**

Vzd. 3,5  
 Preč. 2,07  $q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$



## 4.5.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 232

Preglednica 34: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 232

		Posamezna višina stebra					
		Steber 1 [ 14m ]		Steber 2 [ 21m ]		Steber 3 [ 14m ]	
		VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.
Iteracije	Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 3,5$	0,34	1,00	0,35	0,24	0,34	1,00
		1,87	1,57	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	
	1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 3,5$	0,34	0,23	1,00	1,00	0,34	0,23
		1,87	1,57	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	
	2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 3,5$	0,34	1,00	0,35	0,24	0,34	1,00
		1,87	1,57	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	
	* Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 2,17$	0,35	0,24	0,35	0,24	0,35	0,24
		1,87	1,58	1,93	1,60	1,87	1,58
		1,07%		1,07%		1,07%	
	* 1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,17$	0,34	0,23	1,00	1,00	0,34	0,23
		1,87	1,57	1,93	1,60	1,87	1,57
		1,01%		1,01%		1,01%	
	* 2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,17$	0,34	1,00	0,53	0,36	0,34	1,00
		1,87	1,57	1,99	1,71	1,87	1,57
		1,01%		2,12%		1,01%	
	* 3. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,17$	0,35	0,25	1,00	1,00	0,35	0,25
		1,91	1,57	1,93	1,60	1,91	1,57
1,12%		1,01%		1,12%			
* 4. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,17$	0,34	1,00	0,52	0,34	0,34	1,00	
	1,87	1,57	1,96	1,69	1,87	1,57	
	1,01%		1,95%		1,01%		
** Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 2,07$	0,35	0,24	0,35	0,25	0,35	0,24	
	1,87	1,58	1,94	1,60	1,87	1,58	
	1,07%		1,04%		1,07%		
** 1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,07$	0,34	0,23	1,00	0,24	0,34	0,23	
	1,87	1,57	1,93	1,60	1,87	1,57	
	1,01%		1,01%		1,01%		
** 2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,07$	0,34	0,23	0,35	1,00	0,34	0,23	
	1,87	1,57	1,93	1,60	1,87	1,57	
	1,01%		1,01%		1,01%		
** 3. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,07$	0,34	1,00	1,00	0,36	0,34	1,00	
	1,87	1,57	1,99	1,71	1,87	1,57	
	1,01%		2,13%		1,01%		
** 4. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,07$	0,35	0,26	0,35	1,00	0,35	0,26	
	1,93	1,58	1,93	1,60	1,93	1,58	
	1,20%		1,01%		1,20%		

	razpokanost prereza
	EC 8-2, ANNEX C, faktor C.7
	procent armiranja

## OPOMBE IN UGOTOVITVE

Pred začetkom analiziranja mostne konstrukcije 232 smo pričakovali, da bo odziv konstrukcije regularen, vendar temu ni bilo tako. Konstrukcija je med analizo postala neregularna.

Faktorji obnašanja v prečni in vzdolžni smeri so prvotno znašali 3,5. Po uspešno izvedeni drugi iteraciji ugotovimo, da se v prečni smeri pojavi neregularnost, kar ima za posledico korigiranje faktorja obnašanja. Nov faktor za prečno smer tako zavzame vrednost 2,17.

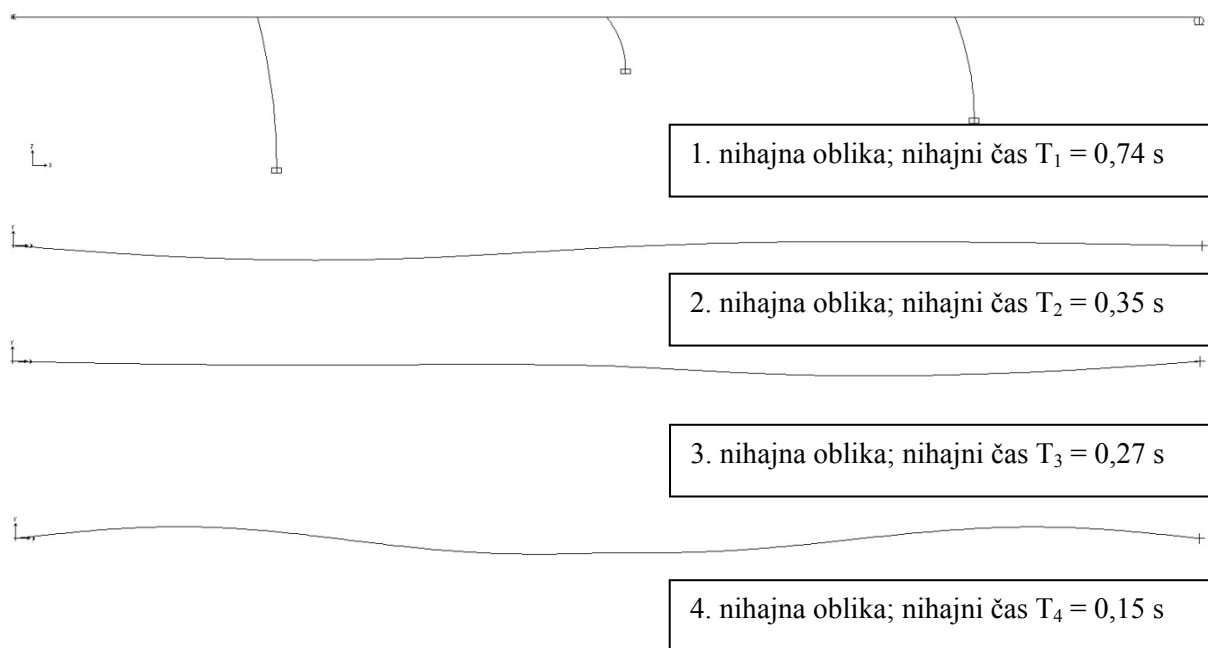
Zaradi spremembe vhodnih podatkov je potreben ponoven izračun. Med analizo pa je ponovno potrebno korigirati faktor obnašanja (nova vrednost za prečno smer je 2,07). Sledijo izračuni za nerazpokane prereze in štiri iteracije. Faktor obnašanja za prečno smer ohranja svojo vrednost.

Ob primerjavi med začetnim in končnim izračunom smo ugotovili, da se je količina vzdolžne armature v stebri v osi 2 povečala za več kot 100 %, medtem ko se je količina armature v krajnih stebrih povečala za 20 %. Vsi prerezi so delno izkoriščeni z izjemo stebra v osi 2, ki je v prečni smeri popolnoma izkoriščen.

Preko podatkov, pridobljenih z analizo, lahko povzamemo, da konstrukcija postane neregularna zaradi preobremenjenih stebrov na sredini razpona. Posledično je potrebno reducirati faktor obnašanja, notranje sile pa se povečajo. Armatura v najbolj obremenjenih prerezih se tako še poveča.

## 4.6 Mostna konstrukcija 312

### 4.6.1 Most 312 – nerazpokani prerezi



Slika 86: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 312

Preglednica 35: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
[ ]	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,736964	0,99996	0	0,99996	0	0	0,99996	0	0,99996
2	0,348972	0	0,22258	0,99996	0,22258	0,22258	0	0,22258	0,99996
3	0,269422	0	0,68229	0,99996	0,90487	0,68229	0	0,90487	0,99996
4	0,145872	0	0,00185	0,99996	0,90672	0,00185	0	0,90672	0,99996

**Preglednica 36: Obtežne kombinacije za most 312**

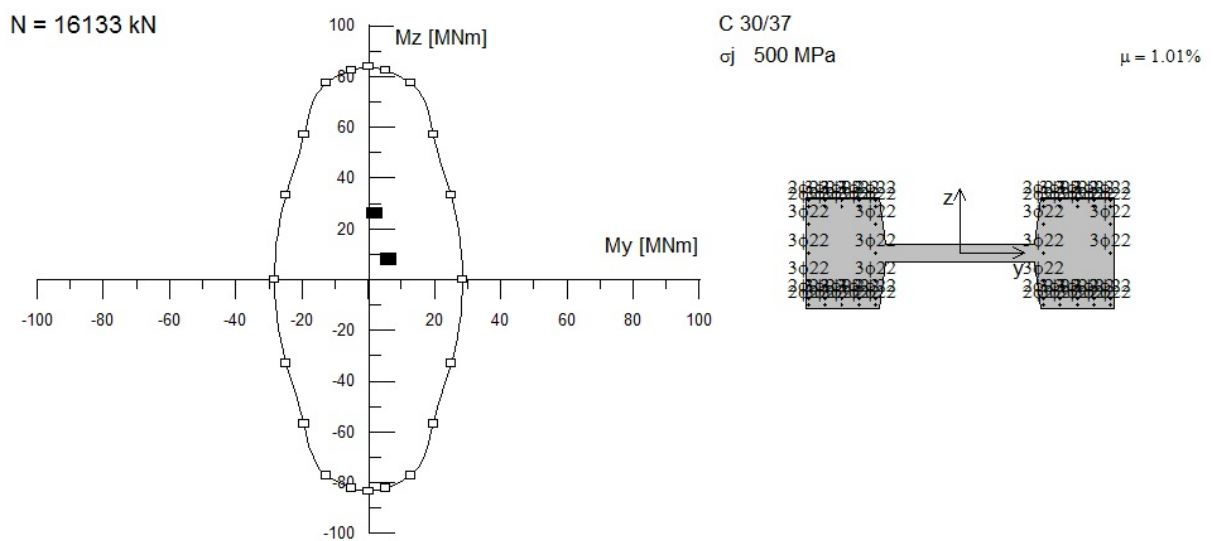
**KOMBINACIJE**

**Vzdolžno celota, prečno 30%**

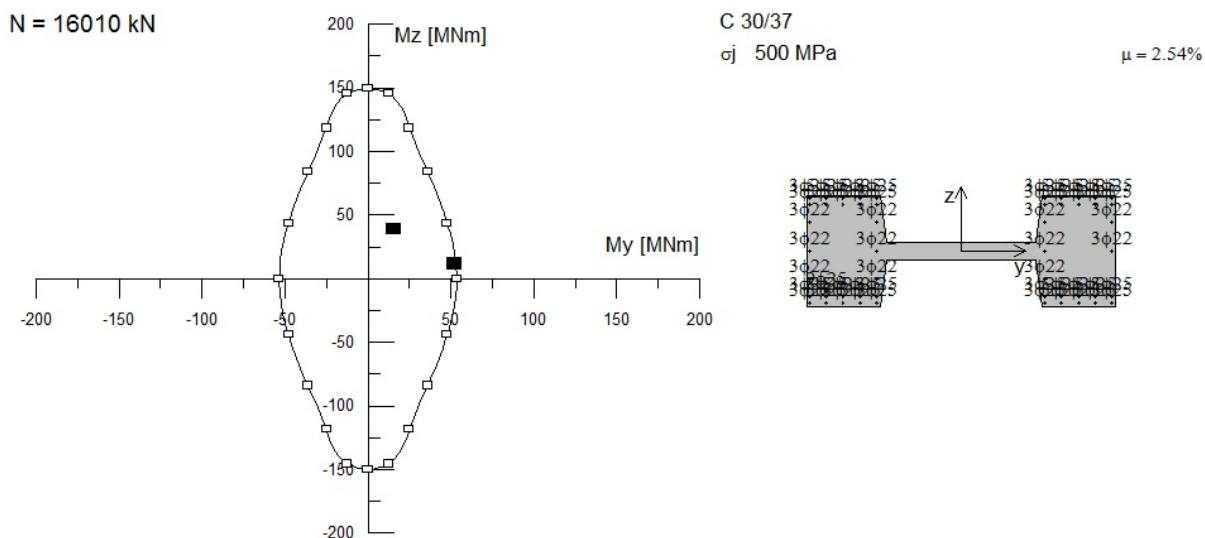
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-16133	372,3	291	6116	7817,1
Steber 2	-16010	1666,5	7452	52167	11665,8
Steber 3	-15252	993,6	973	13615	13911,6

**Prečno celota, vzdolžno 30%**

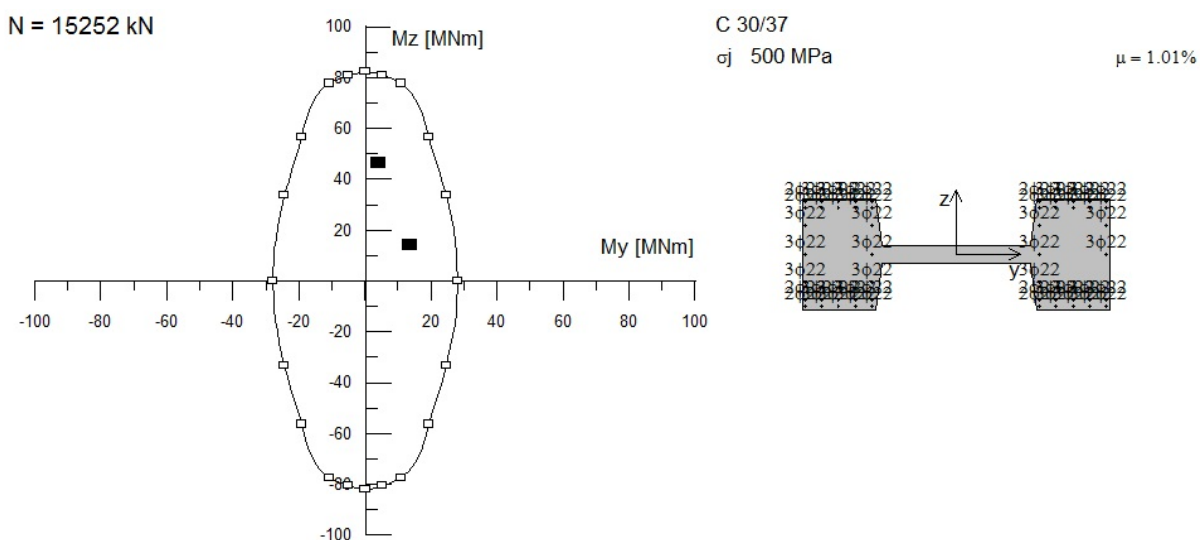
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-16133	1241	87,3	1834,8	26057
Steber 2	-16010	5555	2235,6	15650,1	38886
Steber 3	-15252	3312	291,9	4084,5	46372



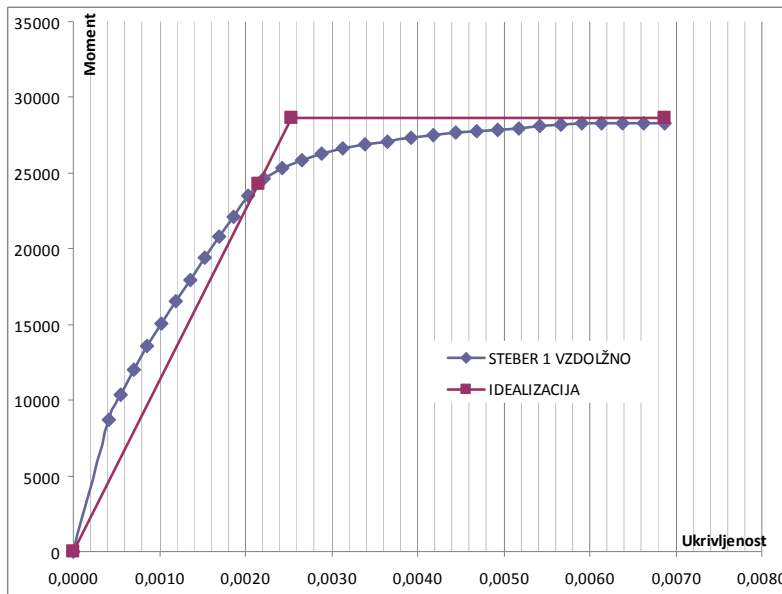
**Slika 87: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 312**



**Slika 88: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 312**



**Slika 89: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 312**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 160,47  
 Površina idealizacije: 160,47  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	24331	0,002149
	28644	0,002530
	28644	0,006867

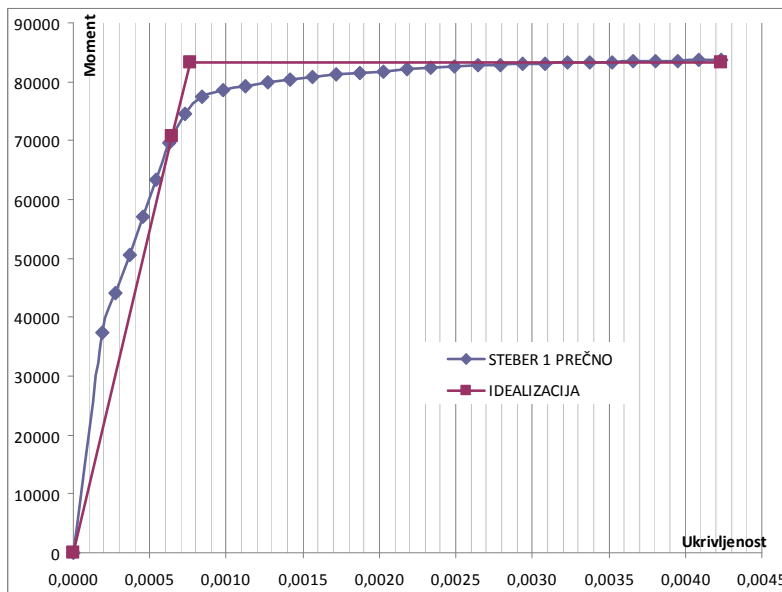
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 13586178$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

S500 **Dod. C7**  
**1,89**

**Slika 90: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 3,98$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 321,39  
 Površina idealizacije: 321,39  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrivljenost
	0	0,000000
1st. Yield	70785	0,000647
	83370	0,000762
	83370	0,004236

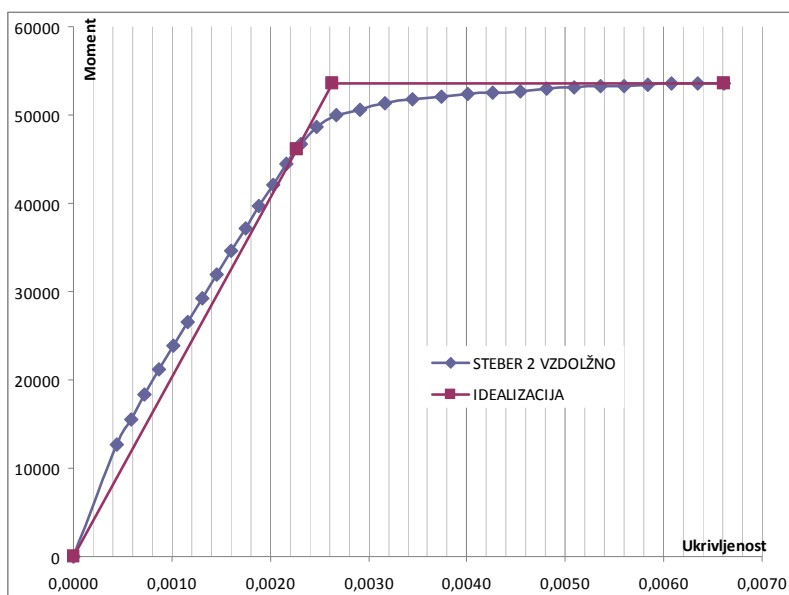
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 131286770$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,24**

S500 **Dod. C7**  
**1,58**

**Slika 91: Graf moment/ukrivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $l_{eff,y} = 0,74$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 284,07  
 Površina idealizacije: 284,07  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

M	Ukriivljenost
0	0,000000
46127	0,002266
53619	0,002634
53619	0,006615

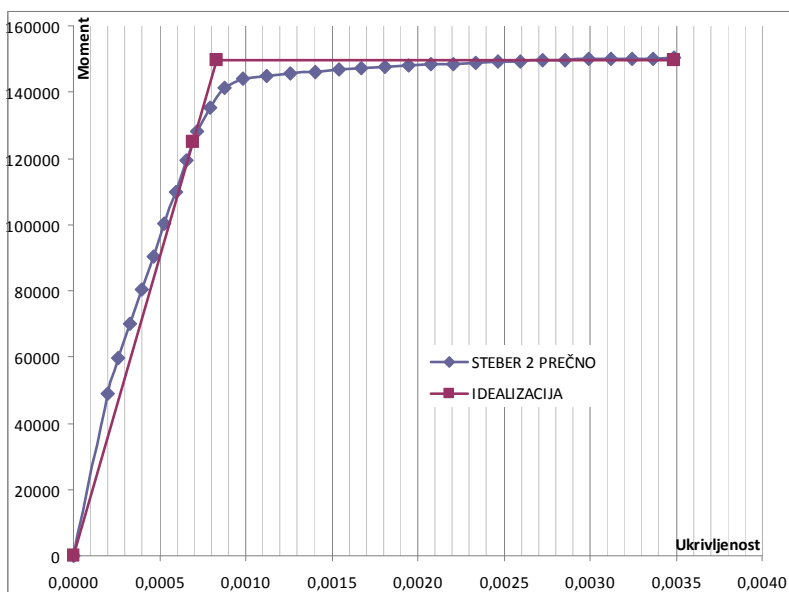
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 24427372$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,62**

**Dod. C7**  
S500 **1,97**

**Slika 92: Graf moment/ukriivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $l_{eff,y} = 6,54$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 458,83  
 Površina idealizacije: 458,83  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

M	Ukriivljenost
0	0,000000
125113	0,000696
149496	0,000832
149496	0,003485

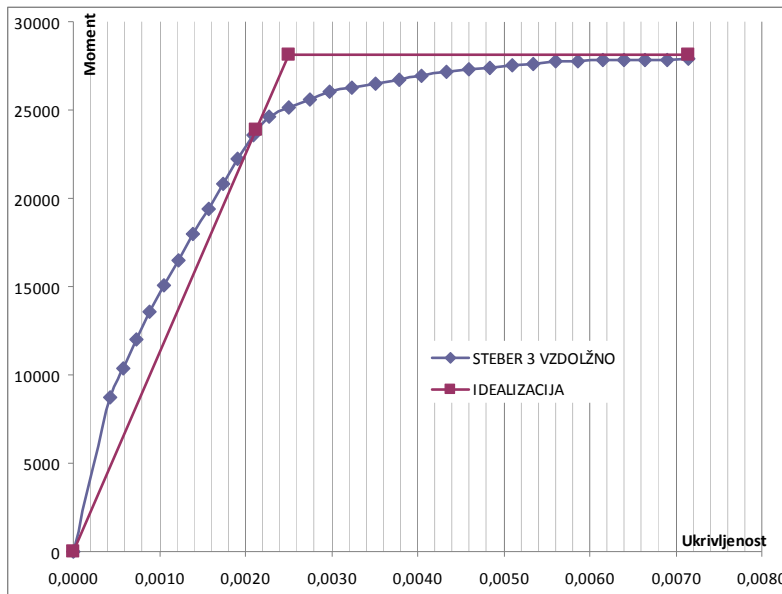
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 215711552$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,39**

**Dod. C7**  
S500 **1,72**

**Slika 93: Graf moment/ukriivljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,41$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 165,65  
 Površina idealizacije: 165,65  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	23874	0,002125
	28104	0,002502
	28104	0,007145

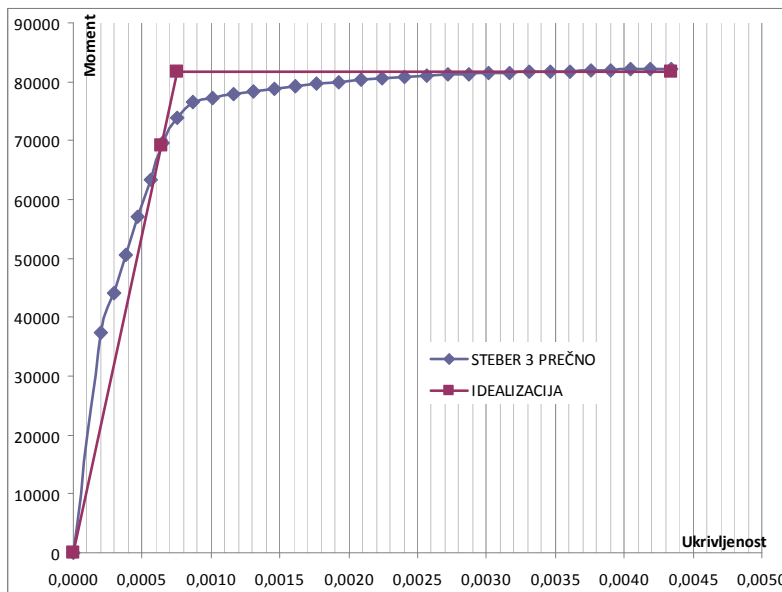
$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 13481534$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,34**

S500 **Dod. C7**  
**1,87**

**Slika 94: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 3,93$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 323,17  
 Površina idealizacije: 323,17  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukriavljenost
	0	0,000000
1st. Yield	69211	0,000641
	81629	0,000756
	81629	0,004337

$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 129567669$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti**  
**0,23**

S500 **Dod. C7**  
**1,57**

**Slika 95: Graf moment/ukriavljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri)**



### Preglednica 37: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 312

STEBRI - Momenti kNm			
	1	2	3
N=	-16133	-16010	-15252
Mv=	6116	52167	13615
Mp=	26057	38886	46372
Wv=	1,33	m3	
Wp=	6,72	m3	
Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8768	8733	8521
Mcr,p=	44136	43963	42896

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

Določitev razpokanosti			
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Ne	Da	Da
Preč.	Ne	Ne	Da

→

1. vzdolžno: NE razpoka
1. prečno: NE razpoka
2. vzdolžno: $I_{eff}=0,62xI_{NERAZPOKANO}$
2. prečno: NE razpoka
3. vzdolžno: $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$
3. prečno: $I_{eff}=0,23xI_{NERAZPOKANO}$

#### Kontrola prečnih sil za račun ri.

STEBER - Q v kN			
	1	2	3
Qv=	291	7452	973
Qp=	1241	5555	3312
Vzd.	Ne	Da	Ne
Preč.	Ne	Da	Da

q vzd.= 3,5		q preč.= 2,39		STEBER - ri			STEBRI - Mrd (idealizacija)			
				1	2	3	1	2	3	
rv i=					3,4		Vzd.	28300	53608	27877
rp i=					0,6	1,3	Preč.	83774	150251	82234

Vzd. max ri= **3,4** min ri= **3,4**  
Preč. max ri= **1,3** min ri= **1,0**

$\rho = \frac{r_{max}}{r_{min}}$	Vzd.	1,0
	Preč.	1,3

#### Regularnost!

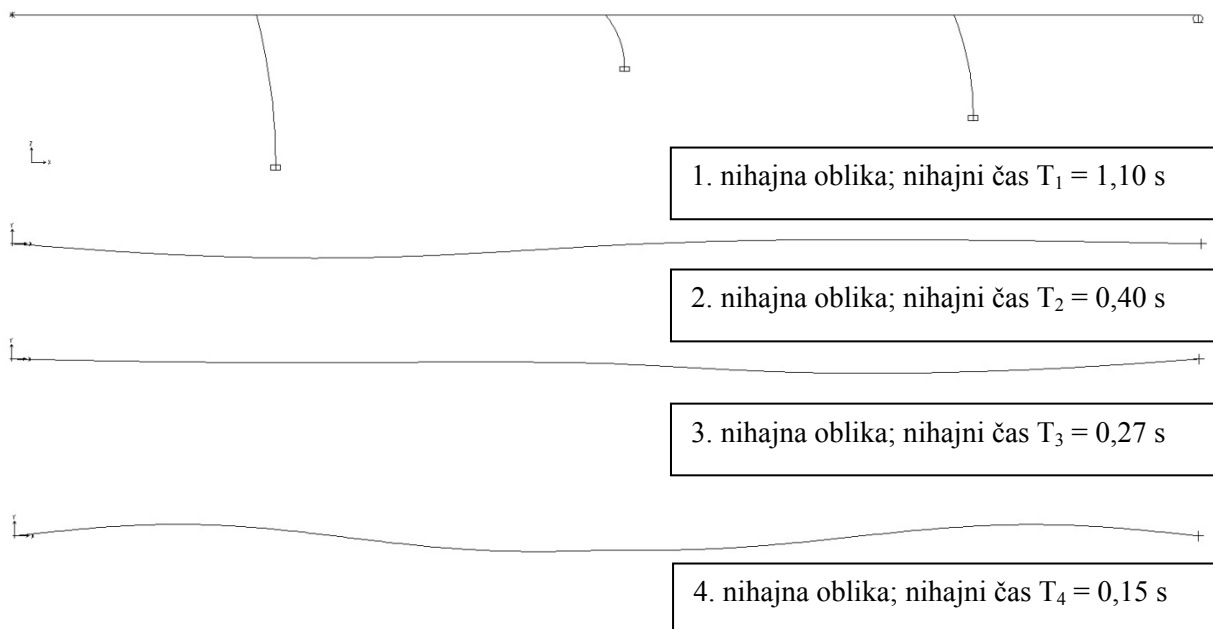
Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

#### Novi faktor qr!!!

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	

#### 4.6.2 Most 312 – končna iteracija



Slika 96: Slike reprezentativnih nihajnih oblik na most 312 – končna iteracija

Preglednica 38: Nihajni časi in sodelujoče razmerje mas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
SN	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
□	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1,098146	0,99999	0	0,99999	0	0	0,99999	0	0,99999
2	0,396353	0	0,27063	0,99999	0,27063	0,27063	0	0,27063	0,99999
3	0,27026	0	0,63149	0,99999	0,90212	0,63149	0	0,90212	0,99999
4	0,146456	0	0,00343	0,99999	0,90555	0,00343	0	0,90555	0,99999

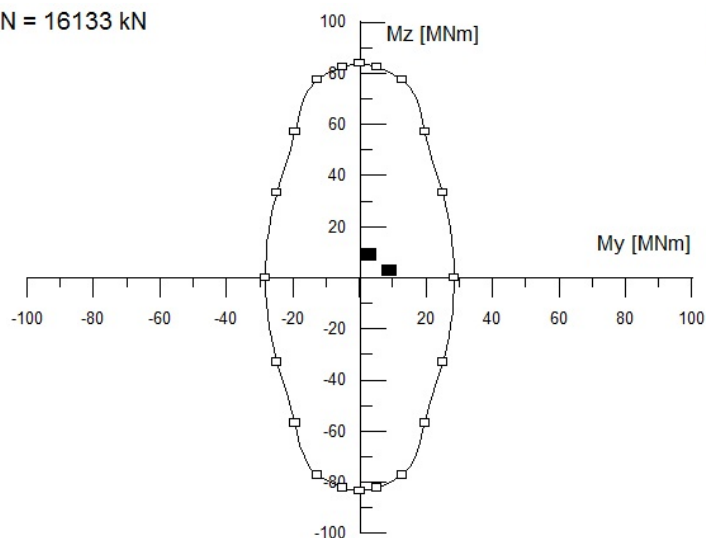
**Preglednica 39: Obtežne kombinacije za most 312 – končna iteracija****KOMBINACIJE****Vzdolžno celota, prečno 30%**

		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-16133	125,4	430	9040	2633,1
Steber 2	-16010	1678,2	4905	34332	11748
Steber 3	-15252	1002	491	6875	14025,9

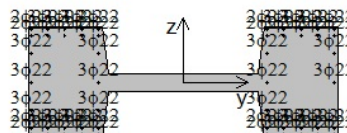
**Prečno celota, vzdolžno 30%**

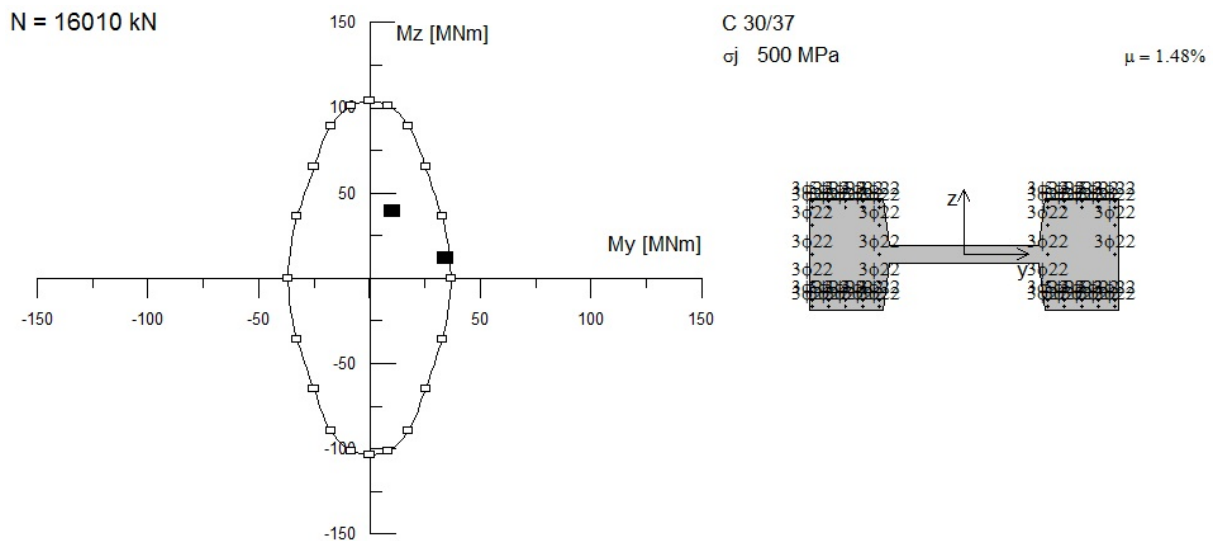
		preč.	vzd.	vzd.	preč.
	Nx [kN]	Qy [kN]	Qz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
Steber 1	-16133	418	129	2712	8777
Steber 2	-16010	5594	1471,5	10299,6	39160
Steber 3	-15252	3340	147,3	2062,5	46753

N = 16133 kN

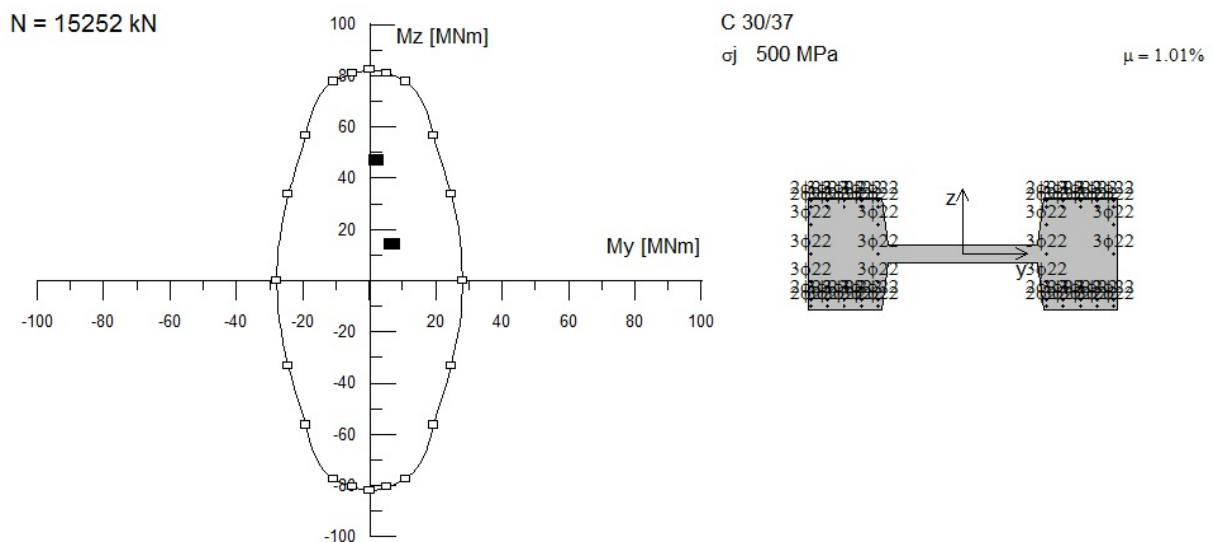


C 30/37

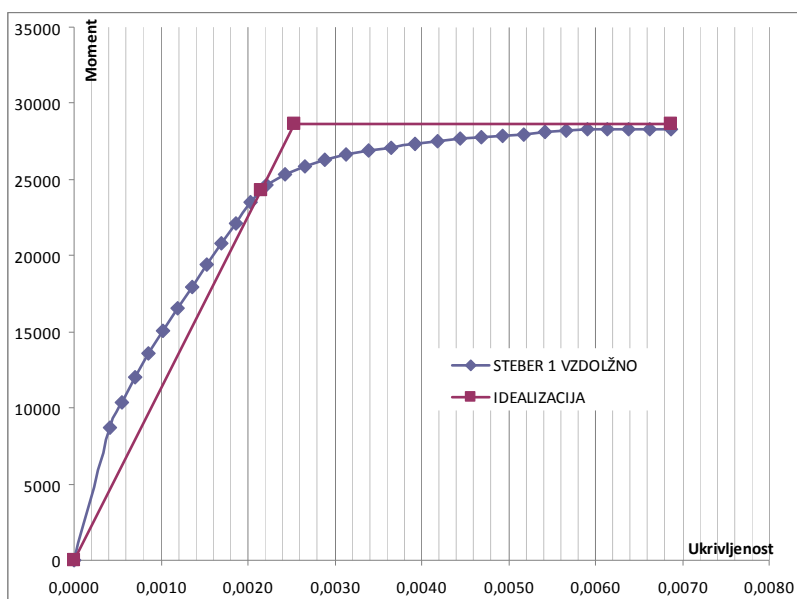
 $\sigma_j$  500 MPa $\mu = 1.01\%$ **Slika 97: Interakcijski diagram stebra v osi 1 v mostu 312**



**Slika 98: Interakcijski diagram stebra v osi 2 v mostu 312**



**Slika 99: Interakcijski diagram stebra v osi 3 v mostu 312**



C 30/37

E<sub>c</sub>= 33000000 N/m<sup>2</sup>I<sub>y</sub>= 1,20 m<sup>4</sup>I<sub>eff,y</sub>= 0,41 m<sup>4</sup>

Površina grafa: 160,47

Površina idealizacije: 160,47

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukriivjenost
	0	0,000000
1st. Yield	24331	0,002149
	28644	0,002530
	28644	0,006867

$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

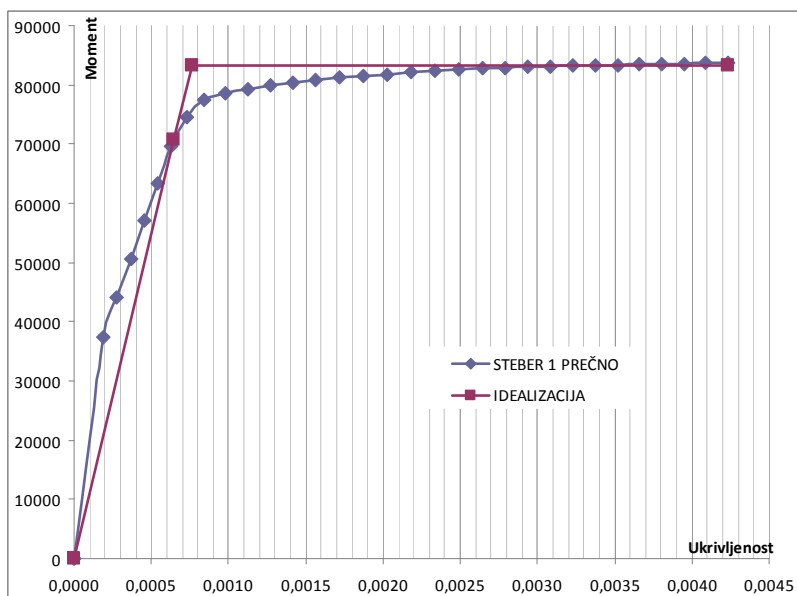
E<sub>c</sub> I<sub>eff</sub> 13586178 kNm<sup>2</sup>

<b>Faktor razpokanosti:</b> <b>0,34</b>
--

<b>Dod. C7</b> <b>1,89</b>
-------------------------------

S500

Slika 100: Graf moment/ukriivjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v vzdolžni smeri)



C 30/37

E<sub>c</sub>= 33000000 N/m<sup>2</sup>I<sub>y</sub>= 16,7938 m<sup>4</sup>I<sub>eff,y</sub>= 3,98 m<sup>4</sup>

Površina grafa: 321,39

Površina idealizacije: 321,39

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukriivjenost
	0	0,000000
1st. Yield	70785	0,000647
	83370	0,000762
	83370	0,004236

$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

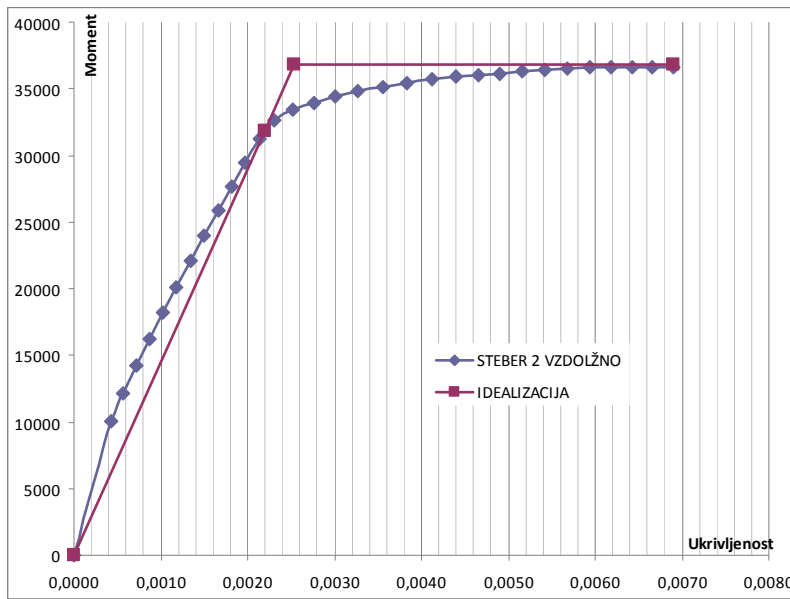
E<sub>c</sub> I<sub>eff</sub> 131286770 kNm<sup>2</sup>

<b>Faktor razpokanosti:</b> <b>0,24</b>
--

<b>Dod. C7</b> <b>1,58</b>
-------------------------------

S500

Slika 101: Graf moment/ukriivjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 1, vpliv potresa v prečni smeri)



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 1,20$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 0,53$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 207,61  
 Površina idealizacije: 207,61  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	31851	0,002191
	36827	0,002533
	36827	0,006904

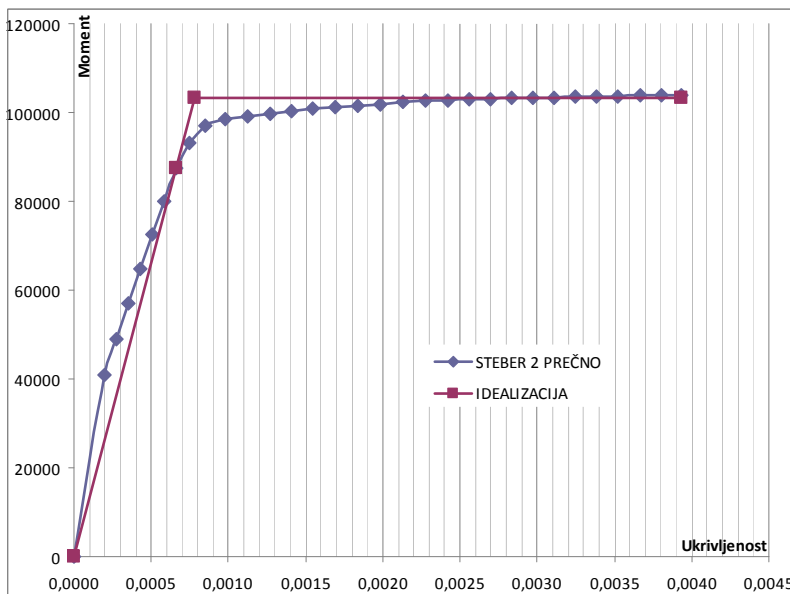
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 17444637$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:  
0,44**

S500 **Dod. C7  
1,89**

**Slika 102: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



**C 30/37**  
 $E_c = 33000000$  N/m<sup>2</sup>  
 $I_y = 16,7938$  m<sup>4</sup>  
 $I_{eff,y} = 4,79$  m<sup>4</sup>  
 Površina grafa: 366,42  
 Površina idealizacije: 366,42  
 Upoštevamo enakost površin!

**IDEALIZACIJA**

	M	Ukrvljenost
	0	0,000000
1st. Yield	87382	0,000663
	103432	0,000785
	103432	0,003935

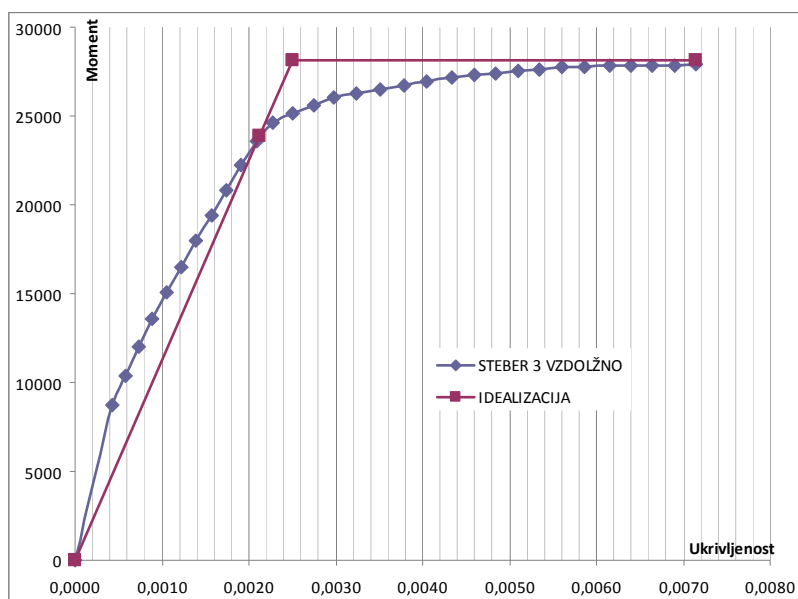
$$E_c J_{eff} = \nu M_{Rd} / \Phi_y$$

$E_c J_{eff} = 158157466$  kNm<sup>2</sup>

**Faktor razpokanosti:  
0,29**

S500 **Dod. C7  
1,63**

**Slika 103: Graf moment/ukrvljenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 2, vpliv potresa v prečni smeri)**



C 30/37

Ec= 33000000 N/m<sup>2</sup>Iy= 1,20 m<sup>4</sup>Ieff,y= 0,41 m<sup>4</sup>

Površina grafa: 165,65

Površina idealizacije: 165,65

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukriivjenost
	0	0,000000
1st. Yield	23874	0,002125
	28104	0,002502
	28104	0,007145

$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

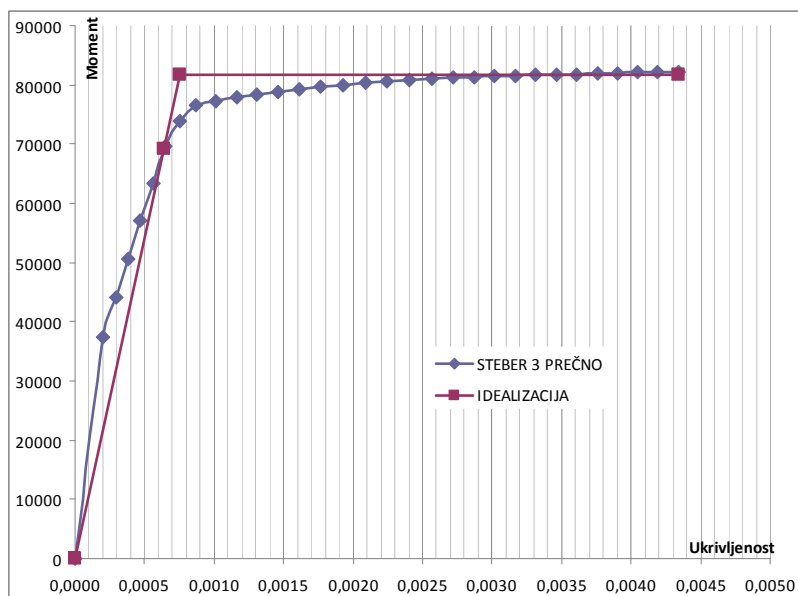
Ecleff 13481534 kNm<sup>2</sup>

<b>Faktor razpokanosti:</b> <b>0,34</b>
--

<b>Dod. C7</b> <b>1,87</b>
-------------------------------

S500

**Slika 104: Graf moment/ukriivjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v vzdolžni smeri)**



C 30/37

Ec= 33000000 N/m<sup>2</sup>Iy= 16,7938 m<sup>4</sup>Ieff,y= 3,93 m<sup>4</sup>

Površina grafa: 323,17

Površina idealizacije: 323,17

Upoštevamo enakost površin!

IDEALIZACIJA

	M	Ukriivjenost
	0	0,000000
1st. Yield	69211	0,000641
	81629	0,000756
	81629	0,004337

$$E_c J_{eff} = v M_{Rd} / \Phi_y$$

Ecleff 129567669 kNm<sup>2</sup>

<b>Faktor razpokanosti:</b> <b>0,23</b>
--

<b>Dod. C7</b> <b>1,57</b>
-------------------------------

S500

**Slika 105: Graf moment/ukriivjenost, njegova idealizacija in faktor razpokanosti (most 312, steber v osi 3, vpliv potresa v prečni smeri)**

**Preglednica 40: Ugotovitev regularnosti, razpokanosti in opredelitev novega faktorja obnašanja za most 312 – končna iteracija**

	STEBRI - Momenti kNm		
	1	2	3
N=	-16133	-16010	-15252
Mv=	9040	34332	6875
Mp=	8777	39160	46753

Wv= 1,33 m3  
Wp= 6,72 m3

Moment, pri katerem steber razpoka kNm			
	1	2	3
Mcr,v=	8768	8733	8521
Mcr,p=	44136	43963	42896

+10%  
1,1  
1,1

Karakteristike prečnega prereza stebra:

Beton C30/37,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$

$A = 5,25\text{ m}^2$

$I_p = 16,79\text{ m}^4$ ;  $I_v = 1,20\text{ m}^2$

$h_p = 5,0\text{ m}$ ;  $h_v = 1,8\text{ m}$

Določitev razpokanosti			
	STEBRI		
	1	2	3
Vzd.	Da	Da	Ne
Preč.	Ne	Ne	Da

→

1. vzdolžno:  $I_{eff}=0,34xI_{NERAZPOKANO}$

1. prečno: NE razpoka

2. vzdolžno:  $I_{eff}=0,44xI_{NERAZPOKANO}$

2. prečno: NE razpoka

3. vzdolžno: NE razpoka

3. prečno:  $I_{eff}=0,23xI_{NERAZPOKANO}$

Kontrola prečnih sil za račun ri.

	STEBER - Q v kN		
	1	2	3
Qv=	430	4905	491
Qp=	418	5594	3340
Vzd.	Ne	Da	Ne
Preč.	Ne	Da	Da

	q vzd.=	q preč.=	STEBER - ri		
	3,5	2,39	1	2	3
rv i=				3,3	
rp i=				1,0	1,4

	STEBRI - Mrd (idealizacija)		
	1	2	3
Vzd.	28300	36649	27877
Preč.	83774	104013	82238

Vzd. max ri= **3,3** min ri= **3,3**  
Preč. max ri= **1,4** min ri= **1,0**

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

Vzd.	1,0
Preč.	1,4

**Regularnost!**

Vzd. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

Preč. Most je regularen. Faktor q ostaja enak!

**Novi faktor qr!!!**

Vzd.	3,5	$q_r = q \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$
Preč.	2,39	



### 4.6.3 Povzetek rezultatov za mostno konstrukcijo 312

**Preglednica 41: Prikaz iteracij, izvedenih na mostni konstrukciji 312**

Smer potresnega vpliva		Posamezna višina stebra					
		Steber 1 [ 21m ]		Steber 2 [ 7m ]		Steber 3 [ 14m ]	
		VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.	VZD.	PREČ.
Iteracije	Nerazpokan $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	1,00	1,00	0,62	1,00	0,34	0,23
		1,89	1,58	1,97	1,72	1,87	1,57
		1,01%		2,54%		1,01%	
	1. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	1,00	1,00	0,52	0,33	1,00	1,00
		1,89	1,58	1,90	1,66	1,87	1,57
		1,01%		1,87%		1,01%	
	2. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	1,00	0,24	0,44	1,00	0,34	1,00
		1,89	1,58	1,89	1,63	1,87	1,57
		1,01%		1,48%		1,01%	
	3. iteracija $q_v = 3,5$ $q_p = 2,39$	0,34	1,00	0,44	1,00	1,00	0,23
		1,89	1,58	1,89	1,63	1,87	1,57
		1,01%		1,48%		1,01%	

	razpokanost prereza
	EC 8-2, ANNEX C, faktor C.7
	procent armiranja

#### OPOMBE in UGOTOVITVE:

Odziv mostne konstrukcije 312 je rahlo neregularen, vendar se faktor obnašanja ne spremeni. Vrednosti faktorjev so tako  $q_v=3,5$  in  $q_p=2,39$ .

Začetna predpostavka, da bo tekom analize steber v osi 2 najbolj obremenjen, se je potrdila. Zaradi razpokanosti omenjenega stebra se notranje sile v konstrukcijah (stebrih) prerazporedijo. S postopkom iteracije se tako odstotek armiranja sredinskega stebra zniža z 2,54 % na 1,48 % površine prečnega prereza stebra. Na tem mestu je smiselno omeniti, da je kritična vzdolžna smer in ne prečna.

Ugotovitve kažejo, da se zaradi zmanjšanja količine vzdolžne armature v srednjem stebri zmanjša tudi efektivna togost. Posledica je povečanje obremenitev v krajnih dveh stebrih, ki tako prevzame večji del obtežbe in postaneta bolj izkoriščena. To dejstvo potrjuje tudi sprememba faktorja razpokanosti stebra v osi 2, ki se zniža z 0,62 na 0,44, kar pomeni, da se efektivni vztrajnostni moment zniža za 18 % vztrajnostnega momenta nerazpokanega prereza.

Kot smo že omenili je posledica prerazporeditev notranjih sil na stebra v osi 1 in 3, kar pomeni, da se izkoriščenost omenjenih stebrov poveča. Ne glede na to pa so notranje sile v stebrih premajhne in tako je prereze potrebno armirati z minimalno armaturo.

*Izračun prihranka armature stebra v osi 2 za most 312:*

$$A = 5,25m^2$$

$$A_{jeklo}^N = 5,25 \cdot 100 \cdot 100cm^2 \cdot 0,0254 = 1333,50cm^2$$

$$A_{jeklo}^{7i} = 5,25 \cdot 100 \cdot 100cm^2 \cdot 0,0148 = 777cm^2$$

$$A_{jeklo}^R = 1333,50cm^2 - 777cm^2 = 556,50cm^2$$

$$\rho_{jekla} = 7850kg / m^3$$

$$M_{jekla}^R = A_{jeklo}^R \cdot \rho_{jekla} \cdot L = 556,5cm^2 \cdot \frac{7850kg}{1000 \cdot 1000cm^3} \cdot 700cm = 3057,97kg$$

*kjer so:*

*A – površina prečnega prereza stebra*

*A<sub>jeklo</sub><sup>N</sup> – površina vzdolžne armature nerazpokanega prereza*

*A<sub>jeklo</sub><sup>7i</sup> – površina vzdolžne armature po drugi iteraciji*

*A<sub>jeklo</sub><sup>R</sup> – razlika površine armature*

*ρ<sub>jekla</sub> – gostota jekla*

*M<sub>jekla</sub><sup>R</sup> – masa prihranjene vzdolžne armature*

Po zgornjem izračunu smo v mostni konstrukciji 312 v stebri v osi 2 privarčevali 3 tone jekla. Pri upoštevanju trenutnih cen jekla, ki znašajo 0,75 €/kg, je materialni prihranek ocenjen na 2.300 €, pri čemer je potrebno upoštevati, da v izračunu prihranka niso vključena prekrivanja armaturnih palic, strošek projektiranja armature, transport materiala, cena vgradnje ...

## 5 POVZETEK REZULTATOV

V preglednici 42 so prikazani faktorji redukcije efektivnih vztrajnostnih momentov prerezov stebrov, ki so določeni tako, kot je opisano v poglavju 4.1. V isti preglednici so podani tudi faktorji redukcije efektivnih vztrajnostnih momentov, ki smo jih ocenili s pomočjo enačb, predlaganih v EC8/2. Dodatno so v tabeli navedeni faktorji, s katerimi se pomnoži deformacija armature na meji tečenja, normirano s statično višino prereza. Omenjeni faktorji so primernejši za oceno razpokanosti prerezov, prikazanih v poglavju 3.1.

Enačbe za ovrednotenje približnega postopka ocene razpokanosti so navedene v standardu EC 8/2 ANNEX C (C.5).

$$\Phi_y = 2,1 \cdot \varepsilon_{sy} / d \quad \text{za pravokotne prereze}$$

kjer so:

$\Phi_y$  – ukrivljenost prereza na meji tečenja

$\varepsilon_{sy}$  – deformacija armature na meji tečenja

$d$  – statična višina prečnega prereza

**Preglednica 42: Povzetek bistvenih rezultatov**

Mostna konstrukcija	steber	višina	Faktor razpokanosti				Faktor ANNEX C	
			po izračunu		EC 8/2 ANNEX C		C.7	
			vzdolžno	prečno	vzdolžno	prečno	vzdolžno	prečno
Most <b>131</b> 2. iteracija $q_v = 3,5, q_p = 2,39$	os 1	7m	0,34	1,00	0,31	1,00	1,85	1,56
	os 2	21m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,93	1,60
	os 3	7m	0,34	1,00	0,31	1,00	1,85	1,56
Most <b>132</b> 7. iteracija $q_v = 3,5, q_p = 2,39$	os 1	7m	0,41	1,00	0,38	1,00	1,86	1,59
	os 2	21m	1,00	0,24	1,00	0,19	1,93	1,60
	os 3	14m	0,34	0,23	0,32	0,18	1,87	1,57
Most <b>222</b> 2. iteracija $q_v = 3,5, q_p = 3,5$	os 1	14m	0,34	1,00	0,31	1,00	1,87	1,57
	os 2	14m	0,34	0,24	0,32	0,19	1,91	1,59
	os 3	14m	0,34	1,00	0,31	1,00	1,87	1,57
Most <b>232</b> 5. iteracija $q_v = 3,5, q_p = 2,07$	os 1	14m	0,35	0,26	0,34	0,21	1,93	1,58
	os 2	21m	0,35	1,00	0,33	1,00	1,93	1,60
	os 3	14m	0,35	0,26	0,34	0,21	1,93	1,58
Most <b>312</b> 5. iteracija $q_v = 3,5, q_p = 2,39$	os 1	21m	0,34	1,00	0,32	1,00	1,89	1,58
	os 2	7m	0,44	1,00	0,41	1,00	1,89	1,63
	os 3	14m	1,00	0,23	1,00	0,18	1,87	1,57

V vzdolžni smeri efektivni vztrajnostni moment prereza večine stebrov znaša približno 35 % vztrajnostnega momenta prereza nerazpokanih stebrov. Zato v večini obravnavnih primerov pri računu notranjih sil zaradi potresne obtežbe lahko vztrajnostni moment zmanjšamo na 50 % vztrajnostnega momenta nerazpokanega prereza, tako kot to predvideva tudi standard Evrokod 8/1. Za račun pomikov je potrebno upoštevati dejansko redukcijo efektivnih prerezov stebrov in povečano podajnost konstrukcije.

V prečni smeri se je izkazalo, da v velikem številu primerov lahko upoštevamo nerazpokane betonske stebre, saj je njihova nosilnost zaradi geometrije stebra in drugih konstrukcijskih zahtev dostikrat pri minimalni armaturi večja od potrebne in v večini stebrov ne pride do tečenja armature in celo niti do razpokanja betona. Reducirane efektivne vztrajnostne momente je bilo v prečni smeri smiselno upoštevati le v najbolj obremenjenih kratkih stebrih oziroma v stebrih na sredini konstrukcije.

Ugotovil sem, da je formula, ki je v standardu predlagana za približno oceno ukrivljenosti na meji tečenja za pravokotne stebre, primerna tudi za obravnavne stebre s prerezom I oblike.

Poleg ovrednotenja približnih postopkov za določitev razpokanosti stebrov smo preverili, v kakšni zvezi so regularnost konstrukcije in faktor obnašanja ter vpliv razpokanosti na regularnost.

Ugotovili smo, da regularnost za konstrukcijo pomeni zgolj pravilen in utemeljen izbor faktorja obnašanja, medtem ko je pomen neregularnosti prav nasproten. To pomeni, da je v neregularnih konstrukcijah potrebno faktor obnašanja korigirati oziroma zmanjšati. Omenjeno ima za posledico večje notranje sile zaradi spremenjenega projektnega spektra pospeškov, to pa privede do povečanja količine vzdolžne upogibne armature.

Značilen primer je most 232, v katerem je bil zaradi neregularnosti konstrukcije prečni faktor obnašanja spremenjen dvakrat. Prvič je bil faktor obnašanja korigiran s 3,5 na 2,17, ta pa je bil ponovno znižan na 2,07. Sprememba faktorja obnašanja je tako v stebri na sredini mostu povzročila povečanje količine vzdolžne armature za več kot 100 %.

Opazovali smo tudi vpliv razpokanosti stebra na regularnost konstrukcije. Z drugimi besedami povedano, ko je prerez razpokal, so se v konstrukciji notranje sile prerazporedile, naša naloga pa je bila opazovati, kaj to pomeni za kontrolo regularnosti.

Na primeru mosta 232 sem ugotovil, da je razpokanost pri začetnem skupnem (za vzdolžno in prečno smer) faktorju obnašanja povzročila tolikšno prerazporeditev notranjih sil, da je steber v osi 2 prevzel večino prečnega vpliva potresa.

Ker je izkoriščenost stebrov neenakomerna (steber v osi 2 je zelo izkoriščen, medtem ko sta stebra v osi 1 in 3 skoraj neizkoriščena), lokalni faktor redukcije potresnih sil pa se določi na principu razmerja med maksimalno vrednostjo projektnega upogibnega momenta in projektno upogibno nosilnostjo prereza, se pojavi velika razlika med največjo in najmanjšo vrednostjo lokalnega faktorja redukcije potresnih sil. Posledica je potreba po korekciji faktorja obnašanja, kar spet poveča vplive potresa, notranje sile in količino armature.

Enačbe za kontrolo regularnosti:

$$r_i = \frac{M_{Ed,i}}{M_{Rd,i}} q \quad \rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \leq \rho_0 \quad q_r = q \frac{\rho_0}{\rho} \geq 1,0$$

kjer je:

$r_i$  – lokalni faktor redukcije potresnih sil

$q$  – faktor obnašanja

$M_{Ed,i}$  – projektni upogibni moment

$M_{Rd,i}$  – projektna upogibna nosilnost prereza

$\rho_0 = 2$  vrednost z nacionalnim dodatkom, določena za Slovenijo

$r_{\max}$  – maksimalna vrednost  $r_i$

$r_{\min}$  – minimalna vrednost  $r_i$

Zaporedni opis dogodkov, ki privedejo do povečanja faktorja obnašanja, je torej:

- Preko upoštevanja nerazpokanih prereзов pridobimo prve vhodne podatke za naslednjo iteracijo (podatki o razpokanosti).
- Naslednji izračun upošteva razpokanost posameznih stebrov (ločeno za vzdolžno in prečno smer).
- Stebri, ki razpokajo, postanejo manj togi. Posledično se notranje sile prerazporedijo na bolj toge elemente.
- V konstrukciji se v določenem trenutku pojavi kritična situacija, v kateri je potrebno pri kontroli regularnosti upoštevati vse stebre, vendar je izkoriščenost le-teh zelo neenakomerna. (Primer mosta 232, ko je steber v osi 2 prevzel večino potresnega vpliva, stebra v osi 1 in 3 pa sta bila zelo neizkoriščena.)
- Ugotovi se neregularnost konstrukcije. Potrebno je korigirati faktor obnašanja. Izračuni se ponovijo.

Glede na opisano lahko povzamemo, da obstajajo situacije, ki zaradi kontrole regularnosti zahtevajo nenavaden pristop reševanja problema. V tej diplomski nalogi ni bilo mogoče predhodno natančno ovrednotiti, v katerih konstrukcijah se bo pojavil zgoraj opisan problem.

## 6 ZAKLJUČEK

V nalogi je opisana parametrična študija petih značilnih mostov, s katero smo analizirali redukcijo efektivnih vztrajnostnih momentov stebrov in njen vpliv na regularnost odziva mostov pri močni potresni obtežbi. Želeli smo tudi preizkusiti postopke za oceno efektivnih vztrajnostnih momentov, ki so predlagani v Evrokodu 8/2.

Vseh pet konstrukcij smo analizirali za vpliv potresne obtežbe posebej v vzdolžni in posebej v prečni smeri. Pri tem smo upoštevali tudi predpisane redukcije faktorjev obnašanja za primer neregularnih konstrukcij. Za vsako izmed konstrukcij smo določili upogibno armaturo v stebrih in nato s posebnim programom izračunali efektivni vztrajnostni moment prerezov stebrov. Nato smo potresno analizo ponovili in določili novo armaturo. Če se ta ni bistveno razlikovala od tiste v predhodni iteraciji, smo postopek prekinili.

Pri analizi v prečni smeri smo opazili, da je v neregularnih konstrukcijah prišlo do znatnega prerazporejanja vplivov med stebri, ko smo v analizi upoštevali dejanske reducirane efektivne vztrajnostne momente prerezov stebrov. Tako so se v močno neregularnih konstrukcijah vplivi v posameznih stebrih celo povečali, ne glede na to, da je celotna togost konstrukcije bila manjša in posledično tudi celotna potresna sila v konstrukciji. Navkljub temu se običajno v teh stebrih armatura ni bistveno spremenila, saj je njihova nosilnost že pri minimalni armaturi v osnovi bila neizkoriščena. V najbolj obremenjenih, kratkih ali stebrih na sredini konstrukcije so se vplivi običajno močno zmanjšali in se je posledično armatura ponekod tudi prepolovila.

V splošnem smo, ko smo upoštevali reducirane efektivne vztrajnostne momente, dobili običajno bolj regularen odziv in bolj enakomeren razpored armature v vseh stebrih. V večini konstrukcij smo končno armaturo dobili po eni ali dveh iteracijah. Vendar smo evidentirali tudi primere, za katere smo v osnovi predpostavili, da so regularni, vendar se je po prvi iteraciji izkazalo, da so posamezni stebri neprimerno bolj obremenjeni od drugih, zaradi česar je bilo potrebno zmanjšati faktor obnašanja. Posledično so se povečale sile v konstrukciji in se je armatura v najbolj obremenjenih stebrih še povečala.

Ugotovili smo, da v regularnih in zmerno neregularnih konstrukcijah, še zlasti pri analizi v vzdolžni smeri, iteracije niso potrebne, če pri določitvi notranjih sil zaradi potresne obtežbe upoštevamo 50-odstotno redukcijo efektivnega vztrajnostnega momenta, tako kot je predvideno v Evrokodu 8/1, ki je namenjen projektiranju stavb na potresnih območjih. Za račun pomikov je potrebno upoštevati dejansko redukcijo vztrajnostnega momenta, ki je v večini obravnavanih primerov večja od 50 %. V obravnavanih primerih je pri analizi v vzdolžni smeri efektivni vztrajnostni moment v večini stebrov znašal 35 % tistega, ki ustreza nerazpokanim prerezom. Ugotovili smo, da za oceno dejanskega efektivnega vztrajnostnega momenta lahko uporabimo postopek C.3, ki je predlagan v standardu Evrokod 8/2 v dodatku C, in sicer različico za pravokotne stebre.



## VIRI

Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str.

Božič, J. 2009. Ocena potresnega odziva in projektiranje armiranobetonskega nadvoza v skladu s standardom Evrokod 8/2. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Božič): 106 str.

Fischinger, M. 2008. Temeljna znanja in principi projektiranja potresnoodpornih armiranobetonskih konstrukcij. Ljubljana Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inženirska zbornica Slovenije: 33 str.

Isaković, T. 2008. Projektiranje potresno odpornih mostov po pravilih iz Evrokoda 8/2: Navodila in komentar izbranih določil. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inženirska zbornica Slovenije: 60 str.

Isaković, T. 2008. Projektiranje potresno odpornih mostov po pravilih iz Evrokoda 8/2: II. del – Primeri. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inženirska zbornica Slovenije: 102 str.

Žitnik, J., Žitnik, D., idr. 2009. Gradbeniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 693 str.

## **Standardi**

SIST EN 1990: 2004. Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij.

SIST EN 1992-1-1: 2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-1: 2005. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-2: 2006. Evrokod 8 – Projektiranje konstrukcij na potresnih območjih – 2. del: Mostovi.

## **Programi**

IKPIR. 1993. DIAS: programski sistem za dimenzioniranje in analizo armiranobetonskih stavb. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

University avenue Berkeley. 2008. SAP2000 v12: Static and Dynamics Finite Element Analysis of Structures. Computers and Structures, Inc., University avenue Berkeley, California. (program za statično in dinamično analizo konstrukcij)