

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:

Bevcl, J. M., 2016. Ocena preostale življenjske dobe železniškega mostu čez reko Idrijco v Bači pri Modreju. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Sinur, F., somentor Hladnik, L.): 122 str.

Datum arhiviranja: 18-11-2016

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:

Bevcl, J. M., 2016. Ocena preostale življenjske dobe železniškega mostu čez reko Idrijco v Bači pri Modreju. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Sinur, F., co-supervisor Hladnik, L.): 122 pp.

Archiving Date: 18-11-2016

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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM DRUGE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO  
SMER GRADBENE  
KONSTRUKCIJE**

Kandidat:

**JAN MAK BEVCL**

**OCENA PREOSTALE ŽIVLJENJSKE DOBE  
ŽELEZNIŠKEGA MOSTU ČEZ REKO IDRIJCO V BAČI  
PRI MODREJU**

Magistrsko delo št.: 32/II.GR

**ASSESSMENT OF REMAINING FATIGUE LIFE OF  
RAILWAY BRIDGE OVER RIVER IDRIJCA IN BAČA  
PRI MODREJU**

Graduation – Master Thesis No.: 32/II.GR

**Mentor:**

doc. dr. Franc Sinur

**Somentor:**

viš. pred. dr. Leon Hladnik

Ljubljana, 23. 09. 2016

## **POPRAVKI**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVE

Spodaj podpisani študent Jan Mak Bevc, vpisna številka 26410073, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Ocena preostale življenjske dobe železniškega mostu čez reko Idrijco v Bači pri Modreju

### IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 31. avgust 2016

Podpis študenta:



## BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

<b>UDK:</b>	625.745.1:69.059.4(043)
<b>Avtor:</b>	Jan Mak Bevcl
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Franc Sinur
<b>Somentor:</b>	viš. pred. dr. Leon Hladnik
<b>Naslov:</b>	Ocena preostale življenjske dobe železniškega mostu čez reko Idrijco v Bači pri Modreju
<b>Tip dokumenta:</b>	Magistrsko delo
<b>Obseg in oprema:</b>	122 str., 66 sl., 69 pregl., 99 en., 8 pril.
<b>Ključne besede:</b>	visokociklično utrujanje, obtežne sheme, jekleni železniški mostovi, življenjska doba

### Izvleček:

V magistrski nalogi obravnavamo metodologijo za oceno preostale življenjske dobe jeklene mostne konstrukcije. Najprej izbrano konstrukcijo preračunamo na mejno stanje uporabnosti in s tem določimo največjo možno hitrost vlakov preko mosta ob upoštevanju obtežbe, ki je predvidena s kategorijo proge na kateri se most nahaja. Na podlagi teh rezultatov opravimo v prvem koraku izračun ocene preostale življenjske dobe. V drugem koraku izvedemo natančnejši izračun preostale življenjske dobe tako, da upoštevamo ob enem prehodu vlaka en cikel spremembe napetosti. Drugi korak dodatno nadgradimo z uporabo metode Rainflow, kjer za vsak prehod vlaka določimo dejansko število ciklov, na podlagi katerih še natančneje izračunamo preostalo življenjsko dobo mostne konstrukcije.

Vsebina magistrske naloge se lahko obravnava kot študija vplivov posameznih vhodnih parametrov ter kot natančno vodilo za nadaljne projekte na področju ocene stanja obstoječih mostov in tudi načrtovanja povsem novih jeklenih mostnih konstrukcij, pri katerih je potrebno vplive utrujanja nujno upoštevati. V primeru, da se ocena stanja naredi za večje število obstoječih mostov, služijo ti rezultati kot močno orodje za načrtovanje pogostosti in intenzivnosti pregledov mostnih konstrukcij v prihodnosti.

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 625.745.1:69.059.4(043)  
**Author:** Jan Mak Bevcl  
**Supervisor:** Assist. Prof. Franc Sinur, Ph.D.  
**Co-supervisor:** Sen. Lect. Leon Hladnik, Ph.D.  
**Title:** Assessment of Remaining Fatigue Life of Railway Bridge Over River Idrijca in Bača pri Modreju  
**Document type:** M. Sc. Thesis  
**Notes:** 122 p., 66 fig., 69 tab., 99 eq., 8 ann.  
**Keywords:** high cycle fatigue, load schemes, steel railway bridges, life span

### **Abstract:**

This Master's Thesis presents the assessment of the remaining fatigue life of a steel bridge that is still in use. Firstly, the ultimate limit state is checked. The highest possible speed of a moving train is calculated as well, for which the maximum track load category is taken into consideration. In the first phase, the assessment of the remaining fatigue life is calculated. In the second phase, a more detailed calculation is performed. The assumption is made that each train, which passes over the bridge, creates one stress range. The second phase is upgraded with the use of the Rainflow method, by which the exact number of stress ranges is calculated. Thus, a more precise calculation of the remaining fatigue life can be made.

The content of the Master's Thesis can be regarded as a study of the effects of input parameters on the final results. It can also be used as a precise guide for further projects in the field of assessment of the remaining fatigue life, as well as in the structural calculation of new steel bridges. If the assessment of the remaining fatigue life is done for several existing bridges, those results can be a powerful tool for planning the frequency and intensity of inspections for bridges in the future.

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju doc. dr. Francu Sinurju in somentorju viš. pred. dr. Leonu Hladniku, da sta me vzela pod svoje okrilje, si vzela čas in me s svojimi izkušnjami in znanjem usmerjala med nastajanjem magistrske naloge.

Zahvala gre tudi gospe Katji Sorč iz podjetja SŽ-Infrastruktura, d.o.o., ki mi je pomagala priskrbeti projektno dokumentacijo, ki sem jo potreboval za izdelavo magistrske naloge.

Barbara Gorenc, vedno si mi z veseljem priskočila na pomoč. Hvala ti za vse pogovore in nasvete. Hvala tudi vsem na Katedri za metalne konstrukcije: Žigi Mačku, doc. dr. Primožu Možetu, dr. Teji Melink in dr. Blažu Hudobivniku.

Zahvalil bi se rad še vsem kolegom v okviru Študentskega sveta FGG in Študentske organizacije FGG. Prav zaradi vas se nisem posvečal izključno študiju in pisanju magistrske naloge, skupaj smo izpeljali marsikateri projekt, ki je dopolnil in popestril dogajanje na naši fakulteti. Hvala vam za lepe trenutke! Posebna zahvala pa gre vam, Tomaž Šabec, Jure Česnik in Štefan Markič, ki ste mi bili vedno pripravljene prisluhniti in priskočiti na pomoč.

Predvsem pa hvala moji družini, mami Irenji, očetu Binetu in sestri Petri, ki ste me podpirali in mi omogočili, da sem stopal po tej poti brez težav. Nenazadnje pa hvala tebi, draga Ana, da si mi stala ob strani in mi priskočila na pomoč, ko sem jo potreboval.

Hvala vsem, ki ste tako ali drugače dopolnili mojo študijsko pot.

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## KAZALO VSEBINE

<b>POPRAVKI</b>	<b>I</b>
<b>IZJAVE</b>	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>ZAHVALA</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO VSEBINE</b>	<b>XII</b>
<b>KAZALO SLIK</b>	<b>XV</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC</b>	<b>XXI</b>
<b>UPORABLJENE OZNAKE IN SIMBOLI</b>	<b>XXIII</b>
<b>SLOVAR TUJIH STROKOVNIH IZRAZOV</b>	<b>XXIX</b>
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Motivacija . . . . .	2
1.2 Ocena dosedanjih raziskovanj . . . . .	3
1.3 Namen in cilji magistrskega dela . . . . .	4
<b>2 TEORETIČNA PODLAGA</b>	<b>7</b>
2.1 Utrujanje materiala . . . . .	7
2.1.1 Ciklična obtežba . . . . .	8
2.2 Utrujanje jeklenih železniških mostov . . . . .	8
2.2.1 Metodologija za določitev preostale življenjske dobe jeklenih mostov . . . . .	9
2.2.1.1 Prvi korak: Začetna ocena stanja . . . . .	10
2.2.1.2 Drugi korak: Podrobne preiskave . . . . .	12
2.2.1.3 Tretji korak: Specialne preiskave . . . . .	14

2.2.1.3.1	Mehanika loma . . . . .	14
2.2.2	Razvoj metod za izračun preostale življenjske dobe jeklenih mostov . . . . .	16
2.2.2.1	Vplivni parametri . . . . .	18
2.2.2.2	Kategorizacija detajlov kovičenih elementov . . . . .	19
<b>3</b>	<b>MOST ČEZ REKO IDRIJCO V KM 55+065</b>	<b>21</b>
3.1	Zasnova konstrukcije . . . . .	22
3.2	Uporabljeni materiali . . . . .	22
3.3	Geometrijske karakteristike prerezov . . . . .	24
3.4	Vplivi na konstrukcijo . . . . .	25
3.4.1	Dinamični faktorji . . . . .	25
3.4.2	Lastna teža . . . . .	26
3.4.3	Dodatna stalna obtežba . . . . .	27
3.4.4	Prometna obtežba . . . . .	28
3.4.4.1	Kategorizacija mostu . . . . .	28
3.4.4.2	Vertikalna in horizontalna obtežba . . . . .	29
3.4.4.2.1	Horizontalne sile . . . . .	31
3.4.4.2.2	Sile zaradi ekscentričnosti vertikalne obtežbe . . . . .	33
3.4.4.3	Obtežba za utrujanje . . . . .	34
3.4.5	Kombinacije obtežb . . . . .	39
<b>4</b>	<b>ANALIZA MOSTNE KONSTRUKCIJE</b>	<b>41</b>
4.1	Posebnosti modeliranja . . . . .	44
4.1.1	Način modeliranja podpor . . . . .	44
4.1.2	Modeliranje stika med vzdolžnikom in glavnim prečnikom . . . . .	44
4.2	Statična ali dinamična analiza . . . . .	45
4.3	Izračun kompaktnosti elementov . . . . .	47
4.4	Izračun geometrijskih karakteristik . . . . .	51
4.5	Kontrola mejnega stanja nosilnosti mostu . . . . .	60
4.5.1	Kontrola nosilnosti paličnih elementov . . . . .	61



4.5.1.1	Kontrola natezne osne sile . . . . .	61
4.5.1.2	Kontrola tlačne osne sile . . . . .	61
4.5.1.3	Kontrola upogibnega uklona . . . . .	62
4.5.2	Kontrola nosilnosti elementov na osno silo, upogibni moment in prečno silo . .	63
4.5.2.1	Kontrola striga . . . . .	63
4.5.2.2	Kontrola enosnega upogiba . . . . .	64
4.5.2.3	Kontrola bočne zvrnitve . . . . .	64
4.5.2.4	Kontrola interakcije med osno silo in upogibnim momentom . . . . .	66
4.5.2.5	Kontrola interakcije med osno silo, prečno silo in upogibnim momen- tom . . . . .	67
4.5.3	Kontrola nosilnosti na obtežbo C4 . . . . .	70
4.5.3.1	Nosilnost paličnih elementov . . . . .	71
4.5.3.2	Nosilnost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja . . . . .	72
4.5.3.3	Nosilnost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov . . . . .	72
4.5.4	Kontrola nosilnosti na obtežbo C2 . . . . .	73
4.5.4.1	Nosilnost paličnih elementov . . . . .	75
4.5.4.2	Nosilnost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja . . . . .	76
4.5.4.3	Nosilnost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov . . . . .	76
4.5.5	Primerjava notranjih statičnih količin glede na način modeliranja konstrukcije .	77
4.6	Ocena preostale življenjske dobe . . . . .	79
4.6.1	Prvi korak: začetna ocena stanja . . . . .	79
4.6.1.1	Ekvivalentni faktor poškodb . . . . .	79
4.6.1.2	Normalne napetosti . . . . .	82
4.6.1.3	Strižne napetosti . . . . .	83
4.6.1.4	Izračun ocene preostale življjske dobe . . . . .	85
4.6.2	Drugi korak: podrobne preiskave . . . . .	89
4.6.2.1	Dinamični faktor realnih vlakov . . . . .	91
4.6.2.2	Koeficient vpliva sekundarnih napetosti . . . . .	94
4.6.2.3	Izračun preostale življenjske dobe . . . . .	95

4.6.3	Drugi korak: podrobne preiskave z upoštevanjem dejanskega števila ciklov . . .	97
4.6.3.1	Določitev spreminjanja napetosti v odvisnosti od položaja vlaka . . .	97
4.6.3.2	Kontrola rezultatov peš računa . . . . .	99
4.6.3.3	Rainflow metoda . . . . .	101
4.6.3.4	Delovanje metode Rainflow . . . . .	102
4.6.3.5	Metoda rezervoarja in primerjava z metodo Rainflow . . . . .	106
4.6.3.6	Izračun preostale življenjske dobe po metodi Rainflow . . . . .	107
4.6.4	Primerjava izračuna preostale življenjske dobe . . . . .	110
4.6.5	Tretji korak: mehanika loma . . . . .	111
4.6.5.1	Element brez razpok . . . . .	112
4.6.5.2	Element z razpokami . . . . .	112
4.6.6	Četrti korak: Sanacijski ukrepi . . . . .	112
4.6.7	Primerjava rezultatov prvega in drugega koraka ter drugega koraka z upoštevanjem dejanskega števila ciklov . . . . .	112
4.6.8	Ugotovitve . . . . .	114
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>117</b>
<b>VIRI</b>		<b>118</b>
<b>PRILOGE</b>		<b>121</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1.1:	Korelacija med številom jeklenih kovičenih mostov in letom izgradnje v Nemčiji	3
Slika 2.1:	Ciklična obtežba s konstantno amplitudo . . . . .	8
Slika 2.2:	Metoda geometrijskih napetosti . . . . .	11
Slika 2.3:	Začetna ocena varnosti proti utrujanju . . . . .	11
Slika 2.4:	Spekter napetosti . . . . .	13
Slika 2.5:	Prikaz posodobitve podatkov odpornosti . . . . .	13
Slika 2.6:	Parisov zakon rasti razpoke . . . . .	15
Slika 2.7:	Rezultati vseh obravnavanih rezultatov testov brez korekcije na $R = 0$ . . . . .	17
Slika 3.1:	Pogled na železniški most . . . . .	21
Slika 3.2:	Pogled na železniško progo . . . . .	21
Slika 3.3:	Tloris mostne konstrukcije . . . . .	22
Slika 3.4:	Stranski pogled mostne konstrukcije . . . . .	22
Slika 3.5:	Obtežni shemi C2 in C4 . . . . .	28
Slika 3.6:	Obtežna shema LM71 . . . . .	28
Slika 3.7:	Modeliranje konstrukcije posameznih konstrukcijskih sistemov . . . . .	29
Slika 3.8:	Vpliv centrifugalnih sil . . . . .	31
Slika 3.9:	Skica delovanja centrifugalnih sil . . . . .	32
Slika 3.10:	Prikaz vpliva ekscentričnosti vertikalne obtežbe . . . . .	34
Slika 3.11:	Obtežna shema tip 1 . . . . .	36
Slika 3.12:	Obtežna shema tip 2 . . . . .	37
Slika 3.13:	Obtežna shema tip 3 . . . . .	37
Slika 3.14:	Obtežna shema tip 4 . . . . .	37
Slika 3.15:	Obtežna shema tip 5 . . . . .	38
Slika 3.16:	Obtežna shema tip 6 . . . . .	38
Slika 3.17:	Obtežna shema tip 7 . . . . .	38
Slika 3.18:	Obtežna shema tip 8 . . . . .	39

Slika 4.1:	3D-model v programu Scia Engineer . . . . .	41
Slika 4.2:	Pogled notranjega paličnega nosilca . . . . .	41
Slika 4.3:	Pogled zunanjega paličnega nosilca . . . . .	42
Slika 4.4:	Tloris spodnjega povezja . . . . .	42
Slika 4.5:	Tloris zgornjega povezja . . . . .	42
Slika 4.6:	Položaj prečnih diagonal . . . . .	43
Slika 4.7:	Tloris vzdolžnih nosilcev (druga polovica je simetrična) . . . . .	43
Slika 4.8:	Tloris bočnih podpor in horizontalnega povezja bočnih podpor v petem polju .	43
Slika 4.9:	Modeliranje podpor . . . . .	44
Slika 4.10:	Vmesni element (členek) . . . . .	44
Slika 4.11:	Upoštevana masa na 3D modelu . . . . .	45
Slika 4.12:	39. nihajna oblika . . . . .	46
Slika 4.13:	Upoštevana masa na 2D modelu . . . . .	46
Slika 4.14:	12. nihajna oblika . . . . .	46
Slika 4.15:	Korekcijski faktor $k_c$ . . . . .	66
Slika 4.16:	Točke izračuna normalnih napetosti pri O in U elementih . . . . .	67
Slika 4.17:	Strižni uklonski faktor $\chi_w$ . . . . .	68
Slika 4.18:	Točke izračuna normalnih napetosti pri vzdolžnikih, prečnikih in vertikalah .	70
Slika 4.19:	Model brane podprte s paličnimi nosilci . . . . .	77
Slika 4.20:	Model brane podprte z nepomičnimi členkastimi podporami . . . . .	77
Slika 4.21:	Prikaz poteka napetosti . . . . .	85
Slika 4.22:	Prikaz ekscentričnosti na prečnem prerezu mostne konstrukcije . . . . .	94
Slika 4.23:	Prikaz obtežnih poti . . . . .	98
Slika 4.24:	Prikaz poti vlaka preko mosta . . . . .	98
Slika 4.25:	Vrednotenje vplivnice . . . . .	99
Slika 4.26:	Potek napetosti pri zaprti histerezni zanki . . . . .	101
Slika 4.27:	Potek napetosti pri odprti histerezni zanki . . . . .	101
Slika 4.28:	Primer poteka napetosti . . . . .	102

Slika 4.29:	Korak 1 . . . . .	103
Slika 4.30:	Korak 2 . . . . .	103
Slika 4.31:	Korak 3 in 4 . . . . .	104
Slika 4.32:	Korak 5 . . . . .	104
Slika 4.33:	Korak 6 . . . . .	105
Slika 4.34:	Korak 7 in 8 . . . . .	105
Slika 4.35:	Korak 9 in 10 . . . . .	106
Slika 4.36:	Korak 11 . . . . .	106
Slika 4.37:	Prikaz praznenja "rezervoarjev" . . . . .	107
Slika 4.38:	Potek napetosti v Notranjem vzdolžniku 1 med prečkanjem obtežne sheme tip 1, $l = 1.6254 m$ , metoda Rainflow . . . . .	108
Slika 4.39:	Potek napetosti v Prečniku 11 med prečkanjem obtežne sheme tip 1, $l =$ $0.8528 m$ , metoda Rainflow . . . . .	109
Slika 4.40:	Primerjava potekov napetosti obtežbe tip 1 . . . . .	113
Slika A1:	Postopek ocene preostale življenjske dobe obstoječih mostov . . . . .	A1
Slika C1:	Postopek za določitev upoštevanja dinamične analize . . . . .	C1

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.1:	Vzroki porušitev . . . . .	2
Preglednica 1.2:	Primerjava stroškov med obnovo mostu in novogradnjo . . . . .	4
Preglednica 1.3:	Primerjava upoštevanja različnih vplivov med standardi za analizo utrujanja kovičenih elementov . . . . .	5
Preglednica 2.1:	Enačbe za izračun faktorja vpliva napetostnega razmerja $f(R)$ . . . . .	18
Preglednica 2.2:	Odpornost kovic proti zdrsu . . . . .	19
Preglednica 2.3:	Detajli utrujanja za kovičene elemente . . . . .	20
Preglednica 3.1:	Rezultati natezne preiskave . . . . .	23
Preglednica 3.2:	Rezultati preiskave s pulzatorjem . . . . .	23
Preglednica 3.3:	Primerjalne vrednosti za jeklo St37 . . . . .	23
Preglednica 3.4:	Materialni podatki za jeklo pločevin in kovic do debeline 30 mm . . . . .	24
Preglednica 3.5:	Srednja vrednost in standardni odklon parametrov $f_y$ in $f_u$ . . . . .	24
Preglednica 3.6:	Koeficienti povečanja lastne teže sestavljenih elementov . . . . .	27
Preglednica 3.7:	Dodatna stalna obtežba na most . . . . .	27
Preglednica 3.8:	Obtežba pri $V = 80 \text{ km/h}$ . . . . .	30
Preglednica 3.9:	Obtežba pri $V = 0 \text{ km/h}$ . . . . .	30
Preglednica 3.10:	Vpliv horizontalnih sil . . . . .	33
Preglednica 3.11:	Vpliv ekscentričnosti vertikalne obtežbe . . . . .	34
Preglednica 3.12:	Pretovor na posameznem odseku tras Koper–Šentilj in Jesenice–Dobova . . . . .	35
Preglednica 3.13:	Kombinacija vlakov za standardni promet . . . . .	35
Preglednica 3.14:	Uporabljena kombinacija vlakov za standardni promet . . . . .	36
Preglednica 4.1:	Primerjava vertikalnih frekvenc konstrukcije . . . . .	47
Preglednica 4.2:	Pogoji razredov kompaktnosti . . . . .	48
Preglednica 4.3:	Kompaktnost elementov sestavljenih iz kotnikov . . . . .	49
Preglednica 4.4:	Kompaktnost sestavljenih elementov . . . . .	50
Preglednica 4.5:	Kompaktnost elementov v strigu . . . . .	50

Preglednica 4.6:	Sodelujoča širina pri pločevinah, podprtih ob obeh vzdolžnih robovih . . .	52
Preglednica 4.7:	Sodelujoča širina pri pločevinah z enim prostim vzdolžnim robom . . . .	52
Preglednica 4.8:	Geometrijske karakteristike elementov pasov paličja in pripadajoče obremenitve . . . . .	53
Preglednica 4.9:	Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja (osna sila $N$ ) . . . . .	54
Preglednica 4.10:	Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja (moment $M_y$ ) . . . . .	55
Preglednica 4.11:	Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja (moment $M_z$ ) . . . . .	56
Preglednica 4.12:	Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja za kontrolo bočne zvrnitve . . . . .	57
Preglednica 4.13:	Geometrijske karakteristike prerezov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal s pripadajočimi obremenitvami . . . . .	58
Preglednica 4.14:	Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik prerezov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal . . . . .	59
Preglednica 4.15:	Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik prerezov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal za kontrolo bočne zvrnitve . . . . .	59
Preglednica 4.16:	Materialne karakteristike in delni varnostni faktorji . . . . .	60
Preglednica 4.17:	Izkoriščenost paličnih elementov ( $C4, V = 80 \text{ km/h}$ ) . . . . .	71
Preglednica 4.18:	Izkoriščenost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja ( $C4, V = 80 \text{ km/h}$ ) . . . . .	72
Preglednica 4.19:	Izkoriščenost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov ( $C4, V = 80 \text{ km/h}$ ) . . . . .	72
Preglednica 4.20:	Obtežba pri $V = 30 \text{ km/h}$ . . . . .	73
Preglednica 4.21:	Obtežba pri $V = 0 \text{ km/h}$ . . . . .	73
Preglednica 4.22:	Dinamični faktor za mejno stanje nosilnosti $\varphi$ za $V = 30 \text{ km/h}$ (Aneks C) . . . . .	74
Preglednica 4.23:	Primerjava dinamičnih faktorjev . . . . .	74
Preglednica 4.24:	Izkoriščenost paličnih elementov ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	75
Preglednica 4.25:	Izkoriščenost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	76



Preglednica 4.26:	Izkoriščenost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	76
Preglednica 4.27:	Notranje statične količine ob spremembi podpiranja ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ )	78
Preglednica 4.28:	Razmerja notranjih statičnih količin ob spremembi podpiranja . . . . .	78
Preglednica 4.29:	Kontrola prve faze utrujanja za palične elemente ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) .	86
Preglednica 4.30:	Kontrola prve faze utrujanja za elemente zgornjega in spodnjega pasu paličja ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	87
Preglednica 4.31:	Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (normalne napetosti) ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	88
Preglednica 4.32:	Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (normalne napetosti, spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb) ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	88
Preglednica 4.33:	Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (strižne in normalne napetosti) ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	88
Preglednica 4.34:	Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (strižne in normalne napetosti, spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb) ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ ) . . . . .	89
Preglednica 4.35:	Obtežba utrujanja pri $V = 30 \text{ km/h}$ . . . . .	89
Preglednica 4.36:	Primerjava izračuna dinamičnega faktorja $\varphi$ . . . . .	93
Preglednica 4.37:	Izračun preostale življenjske dobe Notranjega vzdolžnika 1, $l = 1.6254 \text{ m}$	95
Preglednica 4.38:	Izračun preostale življenjske dobe Prečnika 11, $l = 0.8528 \text{ m}$ . . . . .	96
Preglednica 4.39:	Primerjava vrednosti notranjih statičnih količin . . . . .	100
Preglednica 4.40:	Primerjava vrednosti ovojnice notranjih statičnih količin . . . . .	100
Preglednica 4.41:	Primerjava števila sprememb napetosti . . . . .	107
Preglednica 4.42:	Izračun preostale življenjske dobe Notranjega vzdolžnika 1, $l = 1.6254 \text{ m}$ , metoda Rainflow . . . . .	108
Preglednica 4.43:	Izračun preostale življenjske dobe Prečnika 11, $l = 0.8528 \text{ m}$ , metoda Rainflow . . . . .	109
Preglednica 4.44:	Izračun preostale življenjske dobe Notranjega vzdolžnika 1, $l = 1.6254 \text{ m}$	110
Preglednica 4.45:	Izračun preostale življenjske dobe Prečnika 11, $l = 1.6254 \text{ m}$ . . . . .	110
Preglednica 4.46:	Izračun preostale življenjske dobe elementa U6a, $l = 0 \text{ m}$ . . . . .	111

Preglednica 4.47:	Primerjava rezultatov izračuna preostale življenjske dobe . . . . .	112
Preglednica 4.48:	Primerjava števila rangov ciklov napetosti obtežbe tip 1 . . . . .	113
Preglednica 4.49:	Primerjava preostale življenjske dobe glede na letni pretovor preko mosta	115
Preglednica D1:	Teža vlakov na trasi Koper–Šentilj . . . . .	D3
Preglednica D2:	Teža vlakov na trasi Jesenice–Dobova . . . . .	D5
Preglednica E1:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti paličnih elementov . . . . .	E3
Preglednica E2:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (prvi del) . . . . .	E5
Preglednica E3:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (drugi del) . . . . .	E7
Preglednica E4:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (tretji del) . . . . .	E9
Preglednica E5:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (četrti del) . . . . .	E11
Preglednica E6:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (prvi del) . . . . .	E13
Preglednica E7:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (drugi del) . . . . .	E13
Preglednica E8:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (tretji del) . . . . .	E13
Preglednica E9:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (četrti del) . . . . .	E15
Preglednica E10:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (peti del) . . . . .	E15
Preglednica E11:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (šesti del) . . . . .	E15
Preglednica E12:	Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (sedmi del) . . . . .	E17
Preglednica F1:	Kontrola utrujanja paličnih elementov . . . . .	F3
Preglednica F2:	Kontrola utrujanja za elemente zgornjega in spodnjega pasu paličja (prvi del) . . . . .	F5

Preglednica F3:	Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (drugi del) . . . . .	F7
Preglednica F4:	Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (tretji del) . . . . .	F9
Preglednica F5:	Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (četrti del) . . . . .	F11
Preglednica F6:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (prvi del)	F13
Preglednica F7:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (drugi del) . . . . .	F13
Preglednica F8:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal - spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb (tretji del) . . . . .	F13
Preglednica F9:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (četrti del) . . . . .	F15
Preglednica F10:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (peti del)	F15
Preglednica F11:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (šesti del)	F15
Preglednica F12:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (sedmi del) . . . . .	F17
Preglednica F13:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal - spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb (osmi del) . . . . .	F17
Preglednica F14:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (deveti del) . . . . .	F17
Preglednica F15:	Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (deseti del) . . . . .	F19

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## UPORABLJENE OZNAKE IN SIMBOLI

$\mu_{fat}$	: stopnja varnosti proti utrujanju
$\Delta\sigma_c$	: odpornost detajla na utrujanje pri $2 \cdot 10^6$ ciklih
$\Delta\sigma_{E,2}$	: ekvivalentna amplituda napetosti pri $2 \cdot 10^6$ ciklih
$\gamma_{Mf}$	: delni varnostni faktor za odpornost proti utrujanju $\Delta\sigma_c$
$\gamma_{Ff}$	: delni varnostni faktor za amplitudo napetosti $\Delta\sigma_{E,2}$
$n_i$	: število ciklov v območju razpona napetosti $\Delta\sigma_i$ glede na spekter napetosti
$N_i$	: največje število ciklov za območje razpona napetosti $\Delta\sigma_i$
$a$	: velikost razpoke - dolžina ali globina
$Y$	: faktor vpliva geometrije razpoke in geometrije razpokanega elementa
$\Delta\sigma$	: razpon napetosti pri cikličnem obremenjevanju (pri kovičenih elementih se pogosto uporabi bruto prerez)
$C$	: konstanta Parisovega zakona
$m$	: eksponent Parisovega zakona
$a_0$	: začetna velikost razpoke
$a_c$	: kritična velikost razpoke
$\Delta K_{th}^m$	: elastični mejni faktor razpona intenzitete napetosti
$\sigma_{min}$	: najmanjša vrednost napetosti v elementu
$\sigma_{max}$	: največja vrednost napetosti v elementu
$\Delta\sigma_c(R)$	: odpornost na utrujanje odvisna od napetostnega razmerja $R$
$f(R)$	: faktor vpliva napetostnega razmerja $R$
$\Delta\sigma_{c,0}$	: začetna odpornost na utrujanje
$\Phi_2$	: dinamični faktor za temeljito vzdrževane proge (proga v odličnem stanju)
$\Phi_3$	: dinamični faktor za standardno vzdrževane proge (proga v ne najboljšem stanju)
$L_\Phi$	: vplivna dolžina določena v skladu s preglednico 6.2 iz standarda [4], odvisna od dolžine $L$ obravnavanega elementa [m]
$Q_{tk}, q_{tk}$	: karakteristične vrednosti centrifugalnih sil [ $kN$ , $kN/m$ ]
$Q_{vk}, q_{vk}$	: karakteristične vrednosti vertikalnih obtežb brez upoštevanja dinamičnih faktorjev [ $kN$ , $kN/m$ ]
$v, V$	: največja hitrost vlakov [ $m/s$ , $km/h$ ]
$g$	: gravitacijski pospešek [ $9.81 m/s^2$ ]
$r$	: radij proge [m]
$f$	: redukcijski faktor, za hitrosti nižje od $V = 120 km/h$ je enak $f = 1$
$u$	: višina nadvišanja tirnic
$u$	: višina nadvišanja tirnic
$h_z$	: višina zunanjega vzdolžnega nosilca
$h_n$	: višina notranjega vzdolžnega nosilca
$L$	: osna razdalja med vzdolžnima nosilcema
$\alpha$	: kot nadvišanja tirnic

$M$	: moment zaradi delovanja horizontalnih sil $Q_{tk}$ in $q_{tk}$
$h$	: višina od nivoja tirnic do prijemališča horizontalnih sil
$h_1$	: vertikalna komponenta višine $h$
$F_1$	: dvojica sil na vzdolžna nosilca, ki nastaneta zaradi delovanja horizontalnih sil $Q_{tk}$ in $q_{tk}$
$e$	: ekscentričnost tovora
$Q_v, q_v$	: karakteristične vrednosti vertikalne obtežbe na os [ $kN, kN/m$ ]
$M$	: moment zaradi ekscentričnega delovanja vertikalne obtežbe $Q_v$ in $q_v$
$L$	: osna razdalja med vzdolžnima nosilcema
$F_1$	: dvojica sil na vzdolžna nosilca, ki nastaneta zaradi ekscentričnega delovanja vertikalne obtežbe $Q_v$ in $q_v$
$n_0$	: prva lastna frekvenca mostu pri upoštevanju mase stalne obtežbe na mostu (lastna teža konstrukcije in dodatna stalna obtežba) [ $Hz$ ]
$L$	: dolžina mostne konstrukcije (enostavno podprt most) [ $m$ ]
$n_0$	: prva lastna frekvenca mostu pri upoštevanju mase stalne obtežbe na mostu (lastna teža konstrukcije in dodatna stalna obtežba) [ $Hz$ ]
$\delta_0$	: poves osrednjega dela konstrukcije zaradi vpliva lastne in stalne obtežbe [ $mm$ ]
$c$	: višina stojine ali dolžina previsnega dela
$t$	: širina stojine ali previsnega dela
$h_w$	: višina stojine v strigu
$t_w$	: širina stojine v strigu
$\varepsilon$	: koeficient, glej enačbo 4.24
$\eta$	: faktor povečanja plastične strižne nosilnosti, upoštevam $\eta = 1$
$A_{c,eff}$	: površina sodelujočega prečnega prereza
$\rho$	: faktor redukcije prečnega prereza
$\Psi$	: razmerje napetosti na robovih pločevin
$\bar{b}$	: ustrezna širina pločevine (preglednici 4.6 in 4.7)
$t$	: debelina pločevine
$\varepsilon$	: koeficient, glej enačbo 4.24
$k_\sigma$	: koeficient lokalnega izbočenja (preglednici 4.6 in 4.7)
$N_{Ed}$	: projektna osna sila
$N_{t,Rd}$	: merodajna projektna nosilnost prereza na natezno osno silo
$N_{pl,Rd}$	: projektna nosilnost bruto prereza na natezno osno silo za vse razrede kompaktnosti
$N_{u,Rd}$	: projektna nosilnost neto prereza na natezno osno silo za vse razrede kompaktnosti
$A$	: bruto prečni prerez elementa
$A_{net}$	: neto prečni prerez elementa
$N_{c,Rd}$	: projektna nosilnost prereza na tlačno osno silo
$A_{eff}$	: sodelujoč prečni prerez elementa
$N_{b,Rd}$	: projektna uklonska nosilnost elementa na tlačno osno silo
$\chi$	: brezdimenzionalna odpornost proti uklonu
$\bar{\lambda}$	: brezdimenzijska vitkost
$\alpha$	: faktor nepopolnosti

$N_{cr}$	: elastična kritična uklonska sila bruto prereza
$L_{cr}$	: uklonska dolžina
$i$	: vztrajnostni radij bruto prereza
$V_{Ed}$	: projektna prečna sila
$V_{pl,Rd}$	: projektna plastična strižna nosilnost prereza
$A_v$	: ploščina strižnega prereza
$M_{Ed}$	: projektni upogibni moment
$M_{c,Rd}$	: projektna upogibna odpornost prereza
$W_{pl}$	: plastični odpornostni moment prereza
$W_{el}$	: elastični odpornostni moment prereza
$W_{eff}$	: elastični odpornostni moment sodelujočega prereza
$M_{b,Rd}$	: projektna odpornost elementa na bočno zvrnitev
$\chi_{LT}$	: brezdimenzionalna odpornost proti bočni zvrnitvi
$\bar{\lambda}_{LT}$	: brezdimenzijska vitkost bočne zvrnitve
$\alpha_{LT}$	: faktor nepopolnosti bočne zvrnitve
$M_{cr}$	: elastični kritični moment bočne zvrnitve
$\bar{\lambda}_f$	: vitkost tlačene pasnice
$k_c$	: korekcijski faktor, ki upošteva potek momentov vzdolž elementa (slika 4.15)
$L_c$	: razmak med sosednjima bočnima podporama
$i_{f,z}$	: vztrajnostni polmer nadomestnega elementa v tlaku, pri katerem se upošteva vpliv tlačene pasnice in tretjine tlačene delo stojine, izračuna se okoli šibke osi
$\lambda_1$	: po enačbi 4.23
$M_{c,Rd}$	: projektna odpornost na upogibni moment, upoštevan $W_y$ glede na enačbo 4.33
$M_{y,Ed}$	: največja projektna vrednost upogibnega momenta okoli močne osi
$\sigma_{x,Ed}$	: projektna vrednost normalnih napetosti v računski točki
$A_{eff}$	: površina sodelujočega prečnega prereza pri čistem tlaku
$W_{eff}$	: elastični odpornostni moment sodelujočega prereza pri čistem upogibu okoli obravnavane osi
$e_N$	: premik težiščne osi sodelujočega prereza glede na osnovni prerez pri čistem tlaku
$M_{f,Rd}$	: plastična upogibna nosilnost sodelujočega dela pasnic
$M_{Ed}$	: projektni upogibni moment
$M_{pl,Rd}$	: plastična upogibna nosilnost prereza sestavljena iz sodelujočega prereza pasnic in celotne stojine ne glede na razred kompaktnosti
$V_{Ed}$	: projektna prečna sila
$V_{bw,Rd}$	: projektna strižna nosilnost stojine prereza
$\chi_w$	: brezdimenzionalna strižna nosilnost
$f_{yw}$	: meja tečenja stojine
$h_w$	: višina stojine v strigu
$t$	: debelina stojine v strigu
$\tau_{Ed}$	: projektna vrednost strižnih napetosti v računski točki
$S$	: vrednost statičnega momenta prereza nad računsko točko glede na težišče celotnega prereza

$V_{bw,Rd}$	: projektna strižna nosilnost stojine prereza
$\chi_w$	: brezdimenzionalna strižna nosilnost
$f_{yw}$	: meja tečenja stojine
$h_w$	: višina stojine v strigu
$t$	: debelina stojine v strigu
$\tau_{Ed}$	: projektna vrednost strižnih napetosti v računski točki
$S$	: vrednost statičnega momenta prereza nad računsko točko glede na težišče celotnega prereza
$I$	: pripadajoči vztrajnostni moment prereza
$t$	: debelina prereza v računski točki pravokotno na delovanje prečne sile
$\sigma_{x,Ed}$	: projektna vrednost normalnih napetosti v računski točki
$\lambda$	: ekvivalentni faktor poškodb
$\lambda_1$	: faktor dolžine vplivnice za posamezen konstrukcijski element
$\lambda_2$	: faktor vpliva količine prometa
$\lambda_3$	: faktor projektne življenjske dobe mostu
$\lambda_4$	: faktor vpliva števila obtežb
$\lambda_{max}$	: največja vrednost ekvivalentnega faktorja poškodb
$L_1$	: kritična dolžina določena v skladu s poglavjem 9.5.3, odstavek 4, iz standarda [8] [m]
$TV$	: letna količina tovora
$m$	: naklon S-N krivulje obravnavanega detajla; za vse kovičene detajle velja $m = 5$
$DL$	: predvidena življenjska doba oziroma predvideno življenjsko obdobje v letih
$m$	: naklon S-N krivulje obravnavanega detajla; za vse kovičene detajle velja $m = 5$
$\sigma_{xx,min/max}$	: najmanjša in največja normalna napetost v kritični točki prereza
$N_{Ed}$	: projektna osna sila v kritičnem prerezu
$A$	: prečni prerez kritičnega dela prereza ( $A_{neto}$ , $A_{eff}$ , $A$ )
$M_{Ed}$	: projektni moment v kritičnem prerezu
$W$	: odpornostni moment kritičnega dela prereza ( $W_{neto}$ , $W_{eff}$ , $W$ )
$\Delta\sigma_{xx}$	: razlika normalnih napetosti v kritični točki prereza
$\mu_{fat,s}$	: stopnja varnosti proti utrujanju pri delovanju normalnih napetosti
$\Delta\sigma_c$	: odpornost detajla na utrujanje pri $2 \cdot 10^6$ ciklih, poglavje 2.2.2
$\Delta\sigma_{E,2}$	: ekvivalentna amplituda napetosti pri $2 \cdot 10^6$ ciklih
$\gamma_{Mf}$	: delni varnostni faktor za odpornost proti utrujanju $\Delta\sigma_c$ , standard [7], poglavje 3.1: $\gamma_{Mf} = 1.35$ (nična toleranca do poškodb, visoka stopnja posledic ob porušitvi)
$\gamma_{Ff}$	: delni varnostni faktor amplitude napetosti $\Delta\sigma_{E,2}$ , standard [8], poglavje 9.3: $\gamma_{Ff} = 1.0$ (priporočena vrednost, sicer je vrednost odvisna od kontrole izvedbe detajlov)
$\lambda$	: ekvivalentni faktor poškodb
$\Phi_2$	: dinamični faktor za utrujanje
$\tau_{min/max}$	: najmanjša in največja strižna napetost v kritični točki prereza
$V_{Ed}$	: projektna prečna sila v kritičnem prerezu
$S$	: vrednost statičnega momenta prereza nad računsko točko glede na težišče celotnega prereza



$I$	: pripadajoči vztrajnostni moment prereza
$t$	: debelina prereza v računski točki pravokotno na delovanje prečne sile
$\Delta\tau$	: razlika strižnih napetosti v kritični točki prereza
$\mu_{fat,t}$	: stopnja varnosti proti utrujanju pri delovanju strižnih napetosti
$\Delta\sigma_c$	: odpornost detajla na utrujanje pri $2 \cdot 10^6$ ciklih, poglavje 2.2.2
$\Delta\sigma_{E,2}$	: ekvivalentna amplituda napetosti pri $2 \cdot 10^6$ ciklih
$\Delta\tau_c$	: odpornost detajla v strigu na utrujanje pri rangi napetosti $2 \cdot 10^6$ ciklov
$\Delta\tau_{E,2}$	: ekvivalentna amplituda napetosti za strig pri $2 \cdot 10^6$ ciklih
$\gamma_{Mf}$	: delni varnostni faktor za odpornost proti utrujanju $\Delta\sigma_c$ , standard [7], poglavje 3.1: $\gamma_{Mf} = 1.35$ (nična toleranca do poškodb, visoka stopnja posledic ob poružitvi)
$\gamma_{Ff}$	: delni varnostni faktor amplitude napetosti $\Delta\sigma_{E,2}$ , standard [8], poglavje 9.3: $\gamma_{Ff} = 1.0$ (priporočena vrednost)
$\lambda$	: ekvivalentni faktor poškodb
$\Phi_2$	: dinamični faktor za utrujanje
$\Delta\sigma_{xx}$	: razlika normalnih napetosti v kritični točki prereza
$\Delta\sigma_f$	: faktorirana razlika normalnih napetosti v kritični točki prereza
$N_i$	: največje število ciklov za območje razpona napetosti $\Delta\sigma_f$
$\Delta\sigma_c$	: odpornost detajla na utrujanje pri $2 \cdot 10^6$ ciklih
$\Delta\sigma_D$	: odpornost detajla na utrujanje pri $5 \cdot 10^6$ ciklih
$\Delta\sigma_L$	: odpornost detajla na utrujanje pri nivoju napetosti trajne trdnosti
$m$	: naklon krivulje utrujanja
$\varphi', \varphi''$	: delna dinamična faktorja
$v$	: največja hitrost vlakov [m/s]
$L_\Phi$	: vplivna dolžina določena v skladu s preglednico 6.2 iz standarda [4], odvisna od dolžine $L$ obravnavanega elementa [m] (poglavje 3.4.1)
$n_0$	: prva lastna frekvenca mostu pri upoštevanju mase stalne obtežbe na mostu [Hz] (Poglavje 4.2)
$\alpha$	: koeficient hitrosti
$\varphi'$	: prvi delni dinamični faktor
$\varphi''$	: drugi delni dinamični faktor
$v$	: največja hitrost vlakov [m/s]
$L_\Phi$	: vplivna dolžina določena v skladu s preglednico 6.2 iz standarda [4], odvisna od dolžine $L$ obravnavanega elementa [m] (poglavje 3.4.1)
$k$	: koeficient vpliva sekundarnih napetosti
$k_1$	: koeficient togosti vpetja (členek/polno vpetje), privzamem $k_1 = 0.00$
$k_2$	: koeficient ekscentričnosti spojenih elementov, priporočena vrednost je $k_2 = 0.08$
$n_{i,prehod}$	: število ciklov napetosti v posameznem rangi napetosti ob enem prehodu vlakovne kompozicije
$n_i$	: število ciklov napetosti v posameznem rangi napetosti z upoštevanjem letnega števila prehodov vlakovne kompozicije v skladu s preglednico 3.11

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## **SLOVAR TUJIH STROKOVNIH IZRAZOV**

*High Cycle Fatigue (HCF)* - visokociklično utrujanje

*Low Cycle Fatigue (LCF)* - nizkociklično utrujanje

*Fatigue strenght* - odpornost na utrujanje

*Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM)* - linearno-elastična mehanika loma

*Stress Intensity Factor* - faktor intezitete napetosti

*Stress Intensity Factor Range* - faktor nivoja intenzitete napetosti



## 1 UVOD

V magistrski nalogi bomo predstavili metodologijo ocene preostale življenjske dobe jeklenega železniškega mostu. V ta namen najprej pregledamo seznam vseh jeklenih železniških mostov na območju Republike Slovenije, ki smo ga dobil v podjetju SŽ-Infrastruktura, d.o.o. Na podlagi teh podatkov izberemo ustrezen most, ki bo imel dovolj zahtevno geometrijo, da bo izpostavljen morebitne težave med samo analizo.

Obravnavan most smo izbrali na podlagi tipa konstrukcije, starosti, razpona konstrukcije in predvsem dostopnost projektne dokumentacije. Izberemo si jeklen paličen prostoležeč most, ki je sestavljen iz dveh enakih mostnih konstrukcij razpona 53.46 m in je bil zgrajen leta 1905. Projektna dokumentacija se je izkazala za zadostno, saj smo iz nje pridobili vse potrebne podatke o geometriji konstrukcije in geometriji prerezov uporabljenih elementov. Manjkajo le podatki o kvaliteti uporabljenega jekla in pa sama kalibracija računalniškega modela, ki bi jo morali narediti na podlagi in-situ meritev. Na ta način bi dobili še realnejše notranje statične količine, ki dodatno vplivajo na vrednosti rezultatov kontrol.

Najprej smo začeli z osnovnim statičnim preračunom izbranega mostu, v okviru katerega smo določili največjo možno obremenitev, ki jo lahko most prenese, in največjo možno računsko hitrost, ki neposredno pogojuje obremenitve na most (prispevek centrifugalnih sil in dinamični faktor). Na podlagi ugotovljenih največjih obremenitev, ki jih most še lahko prenese, smo nadaljevali z izračunom ocene preostale življenjske dobe.

Na tem mestu smo razvili hipotezo, da bodo elementi, ki so kritični v mejnem stanju nosilnosti, kritični tudi v izračunu preostale življenjske dobe. Ta začetna hipoteza se izkaže za delno resnično, saj imajo bolj izkoriščeni elementi v smislu nosilnosti tudi večjo izkoriščenost, kar se tiče kontrole utrujanja, in s tem krajšo preostalo življenjsko dobo. To pa ne drži za, med drugim, elemente pasov glavnega paličja, saj najbolj izkoriščen element v smislu nosilnosti ni kritičen pri izračunu preostale življenjske dobe celotne konstrukcije. Pri tem je pomemben podatek, kje v konstrukciji leži analiziran element. Na primarne elemente (vzdolžniki) in sekundarne elemente (prečniki) deluje obtežba neposredno, kar pomeni večje spremembe napetosti in večje število ciklov, zato so ti elementi bolj izpostavljeni procesu utrujanja materiala.

Pri oceni preostale življenjske dobe smo upoštevali predpostavljeno količino pretovora preko mostu. To je masa tovora, ki jo vlaki prepeljejo preko mostu in obsega tovrne ter potniške vlake, ter je ena večjih predpostavk, saj ima velik vpliv na končni rezultat preostale življenjske dobe. Končen rezultat je viden pri izračunu preostale življenjske dobe za elemente Notranji vzdolžnik 1, Prečnik 11 in element U6a.

V primeru, ko je projektna dokumentacija na voljo, je treba preveriti njeno natančnost ter ujemanje s samo konstrukcijo. V magistrski nalogi predpostavimo, da se konstrukcija ujema s projektno dokumentacijo. V splošnem je pričakovati, da je lahko projektna dokumentacija nepopolna ali pa je sploh ni na voljo. V tem primeru je potrebno opraviti zelo natančen pregled konstrukcije, izmeriti vse elemente in narediti projektno dokumentacijo obstoječega stanja. Vse to si lahko olajšamo z uporabo sodobnih me-

to, na primer z uporabo letalnikov, ki omogočajo zajem digitalnih podatkov o geometriji konstrukcije pri težje dostopnih konstrukcij, in kasnejšo računalniško obdelavo zajetih podatkov.

## 1.1 Motivacija

Ob začetnem pregledu literature smo v uvodu priročnika [13] zasledili podatke o statistiki porušitev jeklenih konstrukcij. Sklicujejo se na avtorja Petra Oehmeja, ki je v svojem članku [16] obravnaval vzroke in tipe porušenih konstrukcij. Obsežna študija je skupno obsegala 448 porušitev, ki so v 98 % obsegale objekte, ki so se porušili med letoma 1955 in 1984. Kar 62 % teh porušitev se je zgodilo v manj kot 30 letih po končani gradnji posameznega objekta. Avtor članka razvrsti porušene konstrukcije v sedem kategorij objektov:

- stanovanjski, poslovni in industrijski objekti ter konstrukcije žerjavnih prog 45.1 %,
- železniški mostovi 16.1 %,
- žerjavi 15.0 %,
- cestni mostovi 8.7 %,
- industrijski obrati in naprave za rudarjenje v odprtih kopih 8.0 %,
- jambori in stolpi 5.8 %,
- ostali jekleni objekti 1.3 %.

Hitro lahko opazimo, da so cestni in železniški mostovi eni izmed najbolj pogosto poškodovanih inženirskih objektov. Drug zanimiv vidik porušitev je vzrok, zaradi katerega se je konstrukcija porušila. Iz preglednice 1.1 je razvidno, da je prekomerno utrujanje elementov krivo za 16.9% vseh obravnavanih porušitev oziroma 38.8% obravnavanih porušitev mostov.

Preglednica 1.1: Vzroki porušitev (vir: prirejeno po [16])

Vzrok porušitve (možna kombinacija večih vzrokov)	Skupno		Stavbe		Mostovi		Transporterji	
	Število	Delež	Število	Delež	Število	Delež	Število	Delež
	[/]	[%]	[/]	[%]	[/]	[%]	[/]	[%]
Statična nosilnost	161	29.7	102	33.6	19	14.8	40	36.0
Lokalna ali globalna stabilnost	87	16.0	62	20.4	11	8.6	14	12.6
Utrujanje	92	16.9	8	2.6	49	38.3	35	31.5
Premik togega telesa	44	8.1	25	8.2	2	1.6	17	15.3
Elastične deformacije	15	2.8	14	4.6	1	0.8	0	0.0
Krhka porušitev	15	2.8	9	3.0	5	3.9	1	0.9
Okolje	101	18.6	59	19.4	41	32.0	1	0.9
Temperaturna obtežba	23	4.2	23	7.6	0	0.0	0	0.0
Drugo	5	0.9	2	0.7	0	0.0	3	2.7
Skupaj	543	100	304	100	128	100	111	100

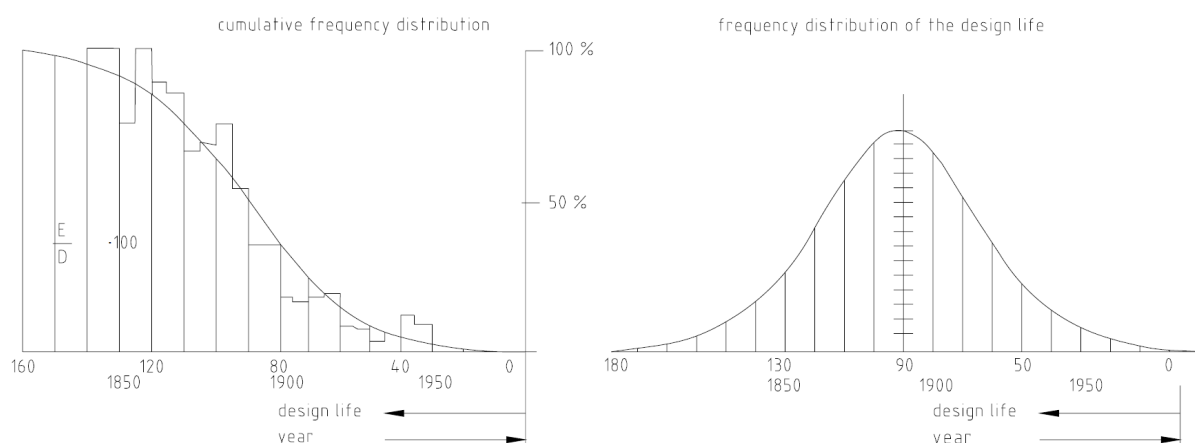
Varnost in zanesljivost mostov, tako cestnih kot železniških, je zelo pomembna iz gospodarskih razlogov, še bolj pa zaradi dejstva, da bi ob morebitni porušitvi mostne konstrukcije bilo ogroženih veliko življenj. Glede na prej omenjene statistične podatke je razvidno, da je kontrola utrujanja pri mostovih zelo pomembna, saj so ravno poškodbe zaradi procesov utrujanja razlog za največji delež porušitev med mostnimi konstrukcijami.

## 1.2 Ocena dosedanjih raziskovanj

Po pregledu literature ugotovimo, da v našem okolju na to temo ni bilo veliko narejenega. Dobili smo sicer dostop do načrtov, ki obsegajo statični preračun obstoječega mostu čez reko Idrijco pri Bači pri Modreju z namenom povečanja nosilnosti mostne konstrukcije, in do projekta iz leta 1996 [27], v katerem so na podlagi preiskav materiala in uporabe mehanike loma ugotavljali preostalo življenjsko dobo konstrukcije jeklenega železniškega mostu čez reko Dravo na Ptujju. Za dodatno orientacijo pri postopku ocene preostale življenjske dobe smo si pomagali s poročilom, ki so ga kolegi na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo pripravili v okviru projekta programa Po kreativni poti do praktičnega znanja [22].

V tujini so na to tematiko naredili neprimerljivo več. Na inštitutu Institute for Steel Structures and Shell Structures v okviru Tehniške univerze v Gradcu so izvedli statične in visokociklične utrujnostne eksperimente na odsluženem železniškem mostu, ki so ga prepeljali iz Salzburga. Na podlagi eksperimentov so lahko predlagali uporabo boljših detajlov utrujanja od trenutno predpisanih detajlov za kovičene elemente, ki so kategorije 71 in so podani v standardih Eurocode [26]. Podobne eksperimente so izvedli tudi v Italiji, kjer pa so se ukvarjali z detajli utrujanja ob delovanju strižnih napetosti [18].

Glede na to, da se je železniška infrastruktura zelo hitro razvijala na prehodu iz 19. v 20. stoletje, je večina železniških mostov zelo starih. Največ pove prav podatek, da je v Sloveniji kar 78 mostov, ki so še v uporabi, bilo zgrajenih pred letom 1940, najstarejši med njimi pa že davnega leta 1860 (vir: Slovenske železnice, d.o.o.). V literaturi [13] avtorji podajajo korelacijo med številom jeklenih kovičenih mostov v Nemčiji in letom, v katerem so bili predani v uporabo, ta temelji na sicer neobjavljenih podatkih [25]. Diagram na sliki 1.1 tako kar dobro opiše tudi stanje na slovenskem ozemlju.



Slika 1.1: Korelacija med številom jeklenih kovičenih mostov in letom izgradnje v Nemčiji (vir: [25])

Večina železniških mostov je zelo starih in posledično se pojavi vprašanje, kakšno je njihovo stanje in koliko časa lahko še preteče, preden jih bo potrebno temeljito obnoviti ali celo zamenjati. V preteklosti je bilo sicer veliko mostov zaradi poškodb, nastalih med vojnama, obnovljenih, pa tudi kasneje so bila na mostovih izvedena takšna in drugačna obnovitvena in ojačitvena dela.

Pri vseh posegih v mostno konstrukcijo ima glavno vlogo finančni vidik, ki v večini primerov odloča o tem, kakšna dela se bodo na mostu izvajala. Ravno zaradi tega je v prvi vrsti smotno narediti kontrolo življenjske dobe, saj so vidni le znaki propadanja materiala (korozija), utrujnostne razpoke pa v večini primerov niso vidne. S kontrolo življenjske dobe se določijo najbolj izpostavljeni elementi, na katere se je potrebno še posebno osredotočiti med vizualnim pregledom konstrukcije, ki morajo biti zaradi izpostavljenosti pogostejši. Na podlagi pregledov se določijo kasnejša popravila in ojačitve konstrukcije.

Za orientacijo, ali je bolj ekonomično most obnoviti ali pa zgraditi novega, je zanimiv podatek, ki je bil objavljen v članku [23]. V njem so naredili analizo stroškov obnove 91 let starega cestnega mostu, primerjali so jih s ceno novogradnje. Dodatno so upoštevali še nadaljnje stroške vzdrževanja mostu. Glede na preglednico 1.2 je razvidno, da ni enoličnega odgovora. Stroški obnove in novogradnje so odvisni od mostu do mostu, zato je priporočljivo, da se za posamezen most naredi stroškovna študija, ki bo pokazala, ali ga je ugodneje obnoviti ali pa v celoti zamenjati. Če obremenilni testi in vizualni pregledi ne pokažejo večjih pomanjkljivosti, se lahko sklepa, da menjava celotne mostne konstrukcije ne bo potrebna in bodo zadostovala manjša obnovitvena dela, ki so v manjšem obsegu del vedno cenejša od novogradnje.

Preglednica 1.2: Primerjava stroškov med obnovo mostu in novogradnjo (vir: prirejeno po [23])

	Investicijski stroški	Investicijski stroški + nadaljna vzdrževalna dela
Obnova starega mostu	od 0.56 do 0.97 milijonov €	od 0.97 do 1.58 milijonov €
Gradnja novega mostu	od 1.18 do 1.79 milijonov €	od 1.33 do 1.99 milijonov €

### 1.3 Namen in cilji magistrskega dela

Namen magistrske naloge je najti ustrezen postopek in navodila, kako za izbrani most določiti preostalo življenjsko dobo. Pri analizi uporabimo smernice za analizo preostale življenjske dobe, ki so navedene v priročniku [13]. Priročnik je bil izdan kot dopolnilni dokument standardov Eurocode. Obstoječa verzija je bila izdana leta 2008, glede na literaturo [26] lahko sklepamo, da bo v prihodnjih letih še izdatno dopolnjen.

Obstajajo tudi druge smerice za analizo preostale življenjske dobe, ki se med sabo razlikujejo po predlaganih S-N krivuljah, upoštevanju razlik zaradi uporabljenega materiala (kovano železo, mehko jeklo izdelano pred letom 1900 in po njem ter jeklo tipa St48) in druge. Te razlike so opisane v članku [15], v katerem so izpostavljeni nemški standard Ril 805 [19], nemški standard za cestne mostove ONR 24008 [17], nemške smernice Nachrechnungsrichtlinie [21] in švicarski standard SIA 269 [24] ter raziskave avtorjev Tarasa in Greinerja [26] in [11]. Na slednje se sklicujemo v poglavju 2.2.2. Razlike med posameznimi standardi in smernicami so podane v preglednici 1.3.



Preglednica 1.3: Primerjava upoštevanja različnih vplivov med standardi za analizo utrujanja kovičenih elementov (vir: prirejeno po [15])

Področje	Ril 805	Nachrechnungsrichtlinie	SIA 269	Taras in Greiner
Različni detajli	ne	ne	da	da
Srednja vrednost napetosti	da	ne	ne	da
Vrsta obtežbe	da	ne	ne	ne
Število zakovic	ne	da	ne	ne
Kvaliteta jekla (element)	da	ne	ne	ne
Kvaliteta jekla (zakovica)	ne	da	ne	ne
Proces izdelave lukenj	ne	da	ne	ne
Metoda kovičenja	ne	da	ne	ne

Cilj magistrskega dela je, da se v analizi mostne konstrukcije zajamejo vsa področja ocene preostale življenjske dobe, saj se le tako lahko dodobra osvetli problematika utrujanja materiala tako pri starejših kot tudi pri novih konstrukcijah. Dejstvo je, da je železniška infrastruktura iz leta v leto starejša in da jo bo treba prej ali slej začeti intenzivno obnavljati, saj ne bi bilo ekonomično, kaj šele potrebno, da bi vse objekte zamenjali z novimi.

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## 2 TEORETIČNA PODLAGA

### 2.1 Utrujanje materiala

Znano je, da se kovinski elementi ob delovanju ciklične obtežbe porušijo ob bistveno manjših obremenitvah, kot bi se sicer pri enkratni natezni obremenitvi. V 19. stoletju so se skupaj z razvojem železnic začeli pojavljati problemi lomljenja osi železniških vagonov in lokomotiv zaradi vplivov utrujanja. Da bi razumeli, zakaj pride do utrujnostnega loma pri ciklični obtežbi, so začeli izvajati obširne raziskave. Leta 1852 je August Wöhler opravil veliko testov, pri katerih je osi vagonov obremenjeval s ciklično obtežbo s konstantno amplitudo [9]. Rezultat njegovih raziskav so bili diagrami porušnih napetosti v odvisnosti od števila obremenitvenih ciklov, tako imenovane Wöhlerjeve S-N krivulje. S tem je utemeljil račun življenjske dobe konstrukcije, ki je izpostavljena ciklični obtežbi s konstantno amplitudo. Ta način računa se je nato hitro razširil na področja gradnje mostov, ladij in vseh elementov, ki so izpostavljeni cikličnim obremenitvam.

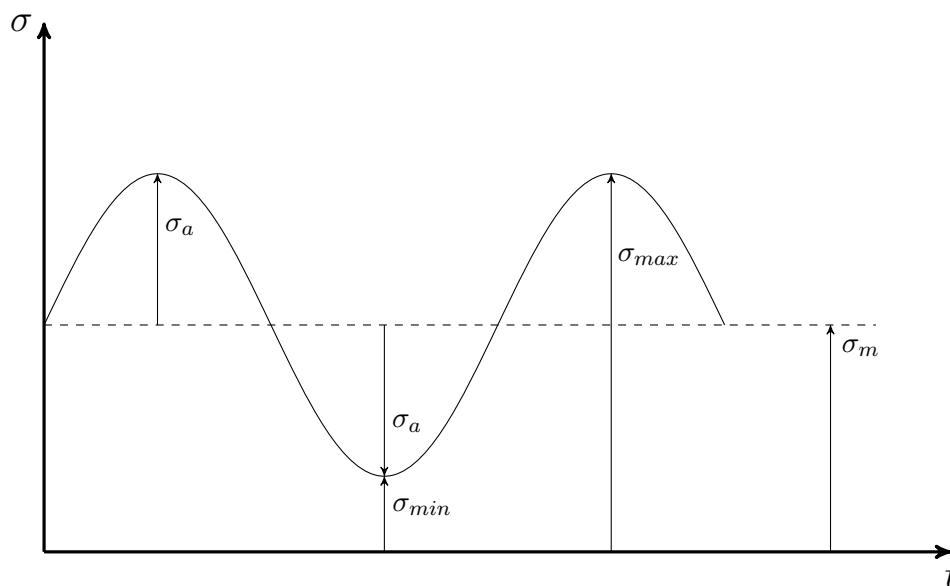
Utrujanje materiala je proces, pri katerem se zaradi vpliva ciklične obtežbe začnejo spreminjati lastnosti materiala - material začne slabeti. Ciklična obtežba povzroča postopno in lokalizirano rast poškodb v materialu, tudi ko so največje napetosti in deformacije znotraj meje elastičnosti. Poznamo visokociklično (ang. High Cycle Fatigue (HCF)) in nizkociklično utrujanje (ang. Low Cycle Fatigue (LCF)). Ko je material izpostavljen velikemu številu ciklov, nad 10000 ciklov, in so napetosti v elastičnem območju (velja linearna zveza med napetostmi in deformacijami  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ), govorimo o visokocikličnem utrujanju. Nizkociklično utrujanje nastopi takrat, ko napetosti in deformacije niso več v elastičnem območju, ampak že preidejo v območje plastičnih deformacij. Število obremenitvenih ciklov je manjše, pod 10000 ciklov, zaradi višjih nivojev napetosti pa linearna zveza med napetostmi in deformacijami ne velja več. Pri analizi nizkocikličnega utrujanja tako ne moremo več uporabljati Wöhlerjevih napetostnih S-N krivulj, ampak uporabljamo deformacijski  $\epsilon$ -N pristop.

Pri načrtovanju konstrukcije moramo zagotoviti njeno varnost v času njene predvidene življenjske dobe. To zagotovimo tako, da izvedemo statične in dinamične analize ter analizo utrujanja, na podlagi katerih določimo število obremenitvenih ciklov, ki jih bo morala konstrukcija v življenjski dobi prenesti. Glede na te podatke nato izberemo ustrezno vrsto materiala in ustrezne detajle stikov konstrukcijskih elementov. S primerno izbiro detajlov lahko bistveno podaljšamo življenjsko dobo konstrukcije (uporaba boljših detajlov, izogibamo se ostrim prehodom, itd.). Blagi prehodi in detajli boljše kvalitete poskrbijo za bistveno lepšo razporeditev napetosti, kar se odraža pri nižjih vrednostih konic napetosti, to pa ugodno vpliva na življenjsko dobo elementa. Vsaka najmanjša nepopolnost se lahko pri delovanju ciklične obtežbe razvije v razpoko. Ta se veča zaradi delovanja obtežbe, vse dokler ne doseže kritične dolžine. Takrat pride do porušitve elementa zaradi utrujnostnega loma - prerez elementa je premajhen, da bi vzdržal obremenitev, zato se poruši.

### 2.1.1 Ciklična obtežba

Vsi gradbeni objekti so izpostavljeni cikličnemu obremenjevanju. Spremembe napetosti v konstrukciji zaradi obremenitev so zaradi delovanja naravnih vplivov zelo različne tako po frekvenci kot amplitudi (obremenitve zaradi potresa, vetra, sončnega obsevanja, itd.). Nekoliko bolj enakomerne obremenitve povzročajo koristne obremenitve na mostovih (cestna vozila in vlakovne kompozicije).

Ciklično obremenjevanje s konstantno amplitudo napetosti in konstantno srednjo vrednostjo napetosti lahko opišemo s petimi parametri (slika 2.1): amplituda napetosti  $\sigma_a$ , srednja vrednosti napetosti  $\sigma_m$ , največja vrednosti napetosti  $\sigma_{max}$ , najmanjša vrednosti napetosti  $\sigma_{min}$  in napetostno razmerje  $R = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}}$ .



Slika 2.1: Ciklična obtežba s konstantno amplitudo

Različni tipi cikličnih obtežb različno vplivajo na proces utrujanja. Razlike nastanejo zaradi različnega zaporedja obremenilnih ciklov, vpliva različnih period sprememb napetosti, vpliva temperature, vpliva medija, vpliv geometrije obravnavanega detajla, vpliv tehnologije izdelave in s tem tudi vpliv zaostalih napetosti. Te vplive v analizi konstrukcije zanemarimo, saj imajo zelo majhen prispevek k utrujanju konstrukcije. Osredotočimo se tako samo na vpliv poteka napetosti in prej opisanih pet osnovnih parametrov, ki opišejo potek napetosti.

## 2.2 Utrujanje jeklenih železniških mostov

Jekleni mostovi so sestavljeni iz posameznih nosilnih elementov, ki so med sabo spojeni na različne načine. Elementi novejših mostov so med sabo vijačeni in varjeni, v preteklosti pa so bili večinoma kovičeni. Slednji način spajanja elementov je veliko prispeval k ekonomičnosti gradnje, saj so iz relativno majhnega števila različnih tipov pločevin sestavili vse potrebne prereze.

Pri starejših prerezih se tako kot pri modernih pojavljajo koncentracije napetosti v spojih med elementi, saj na teh mestih pride do spremembe geometrije. Dodatne napetosti se pojavijo še zaradi ekscentričnosti

spojev in zaostalih napetosti zaradi postopka izdelave (kovičenje elementov).

Konstrukcija je poleg statične obtežbe (lastna in stalna teža) obremenjena še z dinamično obtežbo, ki je posledica prometne obtežbe vlakov, ki prečkajo most. Dinamična obtežba povzroča ciklično obremenjevanje elementov in prispeva h krajšanju življenjske dobe konstrukcije. Utruja namreč material, materialne karakteristike se poslabšajo in je razlog za nastanek razpok na najbolj obremenjenih delih elementov konstrukcije.

### **2.2.1 Metodologija za določitev preostale življenjske dobe jeklenih mostov**

Namen metodologije za oceno preostale življenjske dobe jeklenih mostov je, da se določi varnost posameznih elementov mostne konstrukcije in se na podlagi tega oceni, koliko življenjske dobe je bilo dejansko že izkoriščene. Postopek ocene varnosti temelji na rezultatih ocene nevarnosti, vplivu obtežb, ki jim je bil in jim še bo podvržen, ter vplivu materialnih in geometrijskih karakteristik.

V poročilu [13] so navedene smernice za določanje preostale življenjske dobe obstoječih mostov. V splošnem lahko celoten postopek ocene razdelimo v štiri korake (postopek korakov je predstavljen na sliki A1):

- Prvi korak: Začetna ocena stanja

Namen tega koraka je potrditi varnost konstrukcije z uporabo preprostih metod, s katerimi se opredelijo kritični elementi objekta. To se izvede z zbiranjem informacij o konstrukciji preko načrtov, statičnih izračunov in obiskom konstrukcije na terenu. Za podatke, ki manjkajo, se naredijo predpostavke, ki so na varni strani in so v skladu z veljavnimi predpisi.

- Drugi korak: Podrobne preiskave

V tem koraku se preverijo in posodobijo podatki o konstrukciji. Izvede se podrobnejša analiza elementov, katerih varnost v prvem koraku ni bila zagotovljena. Naredi se nov statični izračun z bolj natančnim računskim modelom in bolj natančnimi vrednostmi obtežb.

- Tretji korak: Specialne preiskave

Za oceno varnosti kritičnih konstrukcijskih elementov, ki lahko pomenijo previsoko stopnjo tveganja v smislu ogrožanja varnosti in posledičnimi stroški, se zadalži strokovnjake, ki še natančneje preučijo konstrukcijo. Izvedejo podrobne preiskave materiala, objekt na terenu v celoti pregledajo, preverijo prisotnost morebitnih razpok in preverijo rezultate, dosežene v drugem koraku. Pri tem se uporabijo še druge metode (mehanika loma, verjetnostne metode).

- Četrti korak: Sanacijski ukrepi

V zadnjem koraku se, v primeru da konstrukcija ne ustreza vsem zahtevam uporabnosti in varnosti, predlagajo ukrepi, ki izboljšajo stanje konstrukcije. To v praksi pomeni, da se predpiše povečan obseg pregledov objekta, zmanjšanje hitrosti na odseku proge (zmanjšanje obremenitev), sprememba namembnosti ali pa se izvede sanacija kritičnih delov mosta. Ne glede na ukrep se mora vedno dokazati, da so priporočeni ukrepi ustrezni in bo zaradi njih objekt zadostoval vsem zahtevam uporabnosti in varnosti.

### 2.2.1.1 Prvi korak: Začetna ocena stanja

Namen začetne ocene stanja je, da z uporabo preprostih metod identificiramo kritična mesta, to so mesta, ki so najbolj izpostavljena procesu utrujanja. Podrobno moramo pregledati vse dokumente, ki so na voljo. Ker nam v splošnem skice, načrti in statični izračuni ne morejo dati zanesljivih podatkov o dejanskem stanju, se je dobro poslužiti vizualnega pregleda konstrukcije na terenu. Ta najbolj osnovna in hitra metoda pregleda nam da realno sliko trenutnega stanja (korodiranost elementov, razpoke, itd.). V dodatno pomoč so nam lahko še zapisi o rekonstrukcijah in vzdrževalnih delih, ki so bila izvedena na konstrukciji. Vedno se moramo zavedati, da obstaja možnost, da projektna dokumentacija ni popolna, vprašaje pa je tudi, kako so v času projektiranja starejših mostov upoštevali vpliv utrujanja.

V splošnem moramo najti odgovore na vprašanja:

- ali je bil most zgrajen v skladu z načrti. Če ne, kakšne so razlike;
- ali je bil most do danes spremenjen - je bil dodatno ojačan, ima spremenjen statični sistem;
- je med vizualnim pregledom moč zaslediti propadanje konstrukcije (poškodbe dilatacij, opor, korozija elementov, razpokani elementi, ohlapne in odpadle kovice).

Ocena ustreznosti konstrukcije se naredi na podlagi trenutnih predpisov in priporočil. V primeru, da niso na voljo vsi podatki, moramo uporabiti konzervativne predpostavke. Le tako lahko najdemo najbolj kritične detajle na konstrukciji.

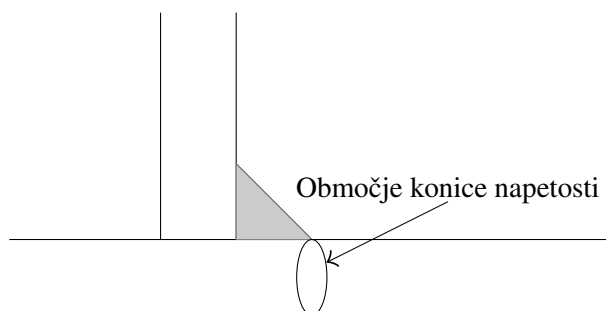
Trenutni predpisi za določanje ustreznosti konstrukcije bazirajo na uporabi S-N krivulj in uporabi kategorij detajlov. Starejši mostovi se tako analizirajo na podoben način, kot bi potekalo projektiranje nove mostne konstrukcije. Pri kontroli elementov se varnost proti utrujanju izrazi z enačbo:

$$\mu_{fat} = \frac{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} \quad (2.1)$$

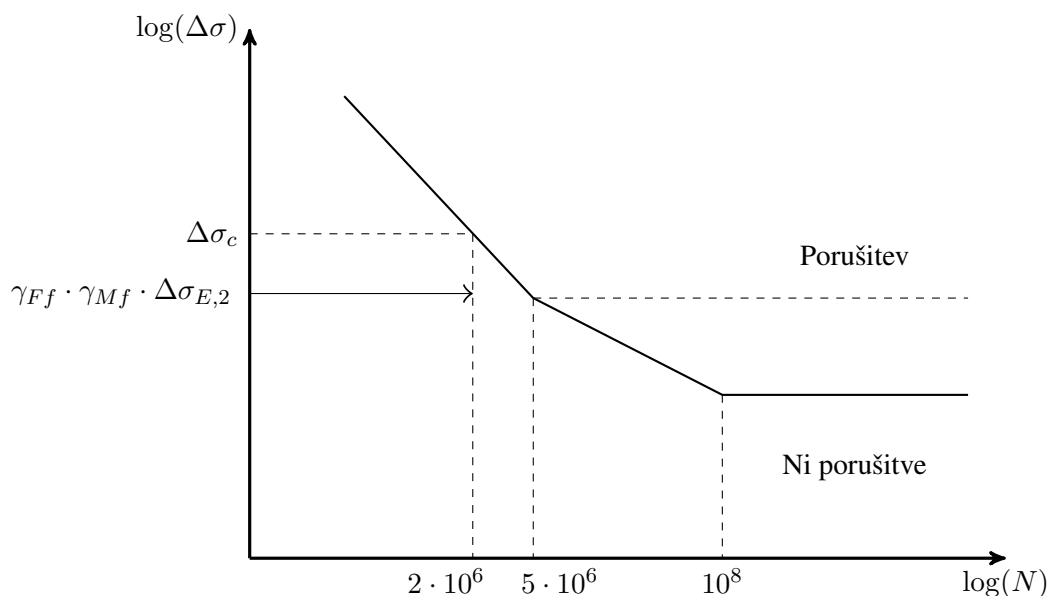
Uporabljene oznake:

- $\mu_{fat}$  : stopnja varnosti proti utrujanju
- $\Delta\sigma_c$  : odpornost detajla na utrujanje pri  $2 \cdot 10^6$  ciklov
- $\Delta\sigma_{E,2}$  : ekvivalentna amplituda napetosti pri  $2 \cdot 10^6$  ciklov
- $\gamma_{Mf}$  : delni varnostni faktor za odpornost proti utrujanju  $\Delta\sigma_c$
- $\gamma_{Ff}$  : delni varnostni faktor za amplitudo napetosti  $\Delta\sigma_{E,2}$

Metoda sloni na logaritmčni zvezi med razliko napetosti  $\Delta\sigma$  in številom ciklov  $N$  in je odvisna od kategorije detajla. Za različne konstrukcijske detajle so podane referenčne vrednosti odpornosti na utrujanje (ang. Fatigue strength)  $\Delta\sigma_c$  pri  $2 \cdot 10^6$  ciklov (slika 2.3). Obstaja tudi metoda geometrijskih napetosti, pri kateri je vrednost največjih dovoljenih napetosti določena za točno mesto nastanka razpoke, ki je običajno na robu zvara (slika 2.2). Diagram odpornosti je pri tej metodi neodvisen od detajla konstrukcije, zato je teh krivulj bistveno manj [7].



Slika 2.2: Metoda geometrijskih napetosti



Slika 2.3: Začetna ocena varnosti proti utrujanju (vir: prirčeno po [13])

Če za posamezen element konstrukcije velja, da je stopnja varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat} > 1$ , potem je obravnavan element varen in zahteve varnosti so izpolnjene. Za elemente pri katerih je stopnja varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat} \leq 1$ , moramo izvesti dodatne preverbe. Na podlagi teh faktorjev se določi plan dela za bolj temeljito preiskavo konstrukcije. Ko so znani kritični detajli, detajli z nizkimi vrednostmi varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat}$ , se lahko izvede izračun preostale življenjske dobe objekta.

Ob koncu prvega koraka se pripravi poročilo, ki vsebuje opravljene izračune in seznam identificiranih kritičnih detajlov. To služi kot osnova za nadaljne korake pri določitvi preostale življenjske dobe in za oceno potrebnih sanacijskih ukrepov.

### 2.2.1.2 Drugi korak: Podrobne preiskave

V sklopu drugega koraka se izvede podrobnejši pregled objekta z namenom kontrole podatkov o konstrukciji, pridobljeni so bili v okviru prvega koraka, in pridobiti morebitne manjkajoče podatke. Izvede se natančnejša analiza elementov, ki so se izkazali za kritične v okviru prvega koraka, kjer varnost proti utrujanju  $\mu_{fat}$  ni bila ustrezna. Analiza se opravi z uporabo izračuna akumulacije poškodb z linearno Palmgren-Minerjevo metodo:

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (2.2)$$

Uporabljene oznake:

$n_i$  : število ciklov v območju razpona napetosti  $\Delta\sigma_i$  glede na spekter napetosti

$N_i$  : največje število ciklov za območje razpona napetosti  $\Delta\sigma_i$

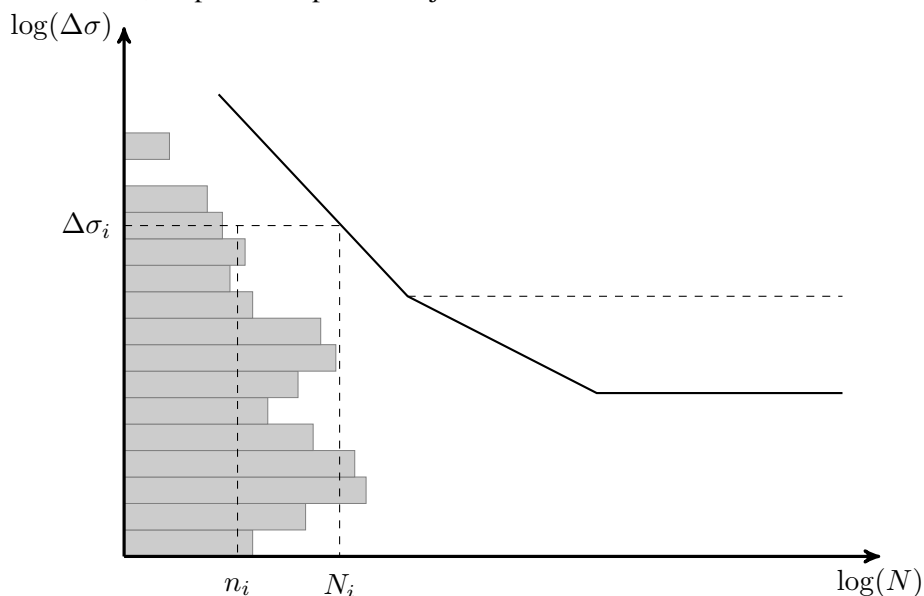
Enačba 2.2 se uporabi za izračun vpliva posameznega območja amplitude napetosti  $\Delta\sigma_i$  glede na spekter napetosti za posamezni element v povezavi z ustrezno S-N krivuljo (slika 2.4). Pri izračunu napetosti se uporabijo konzervativne vrednosti obremenitev, predpisane obtežne sheme in delni varnostni faktorji, ki jih podaja standard.

Postopnost drugega koraka:

- kontrola vrednosti obremenitev: od vseh podatkov, ki jih lahko pridobimo o konstrukciji, so ravno vrednosti obremenitev mostu v življenjski dobi najbolj vprašljive. Standardi res podajajo priporočene vrednosti, vendar je dobro uporabiti natančnejše, dejanske, izmerjene vrednosti obremenitev. Z uporabo vrednosti podanih v standardih bomo zagotovo na varni strani, vendar pa ob uporabi dejanskih vrednosti obtežb dobimo realnejše stanje konstrukcije in v večini primerov tudi daljšo življenjsko dobo konstrukcije ob upoštevanju učinkov utrujanja. Najrealnejše podatke o obtežbah lahko pridobimo ravno za železniške mostove;
- izboljšanje modela: statični model konstrukcije je navadno bolj konzervativen, kot je potrebno. Izračunane primarne napetosti so lahko od 10 do 40% višje od dejanskih vrednosti v konstrukciji. To pri izračunu predvidene življenjske dobe konstrukcije pomeni podaljšanje življenjske dobe za faktor 1.3 – 2.7 pri vrednosti  $m = 4$  oziroma za faktor 1.6 – 5.4 pri vrednosti  $m = 5$  [13]. Poleg tega se v konstrukciji pojavijo tudi napetosti sekundarnega izvora, kot so napetosti zaradi nihanja, vibracij, deformacij izven ravnine. Učinke teh napetosti težko zajamemo v statičnem modelu, saj jih težje določimo. Po drugi strani pa so njihove amplitude majhne in jih lahko zaradi tega zanemarimo. Bistveno lažje lahko v račun vključimo vpliv sekundarnih napetosti, ki prav tako vplivajo na nastajanje razpok v elementih (poglavje 4.6.2.2);
- posodabljanje podatkov odpornosti konstrukcije: karakteristične vrednosti za S-N krivulje so po-

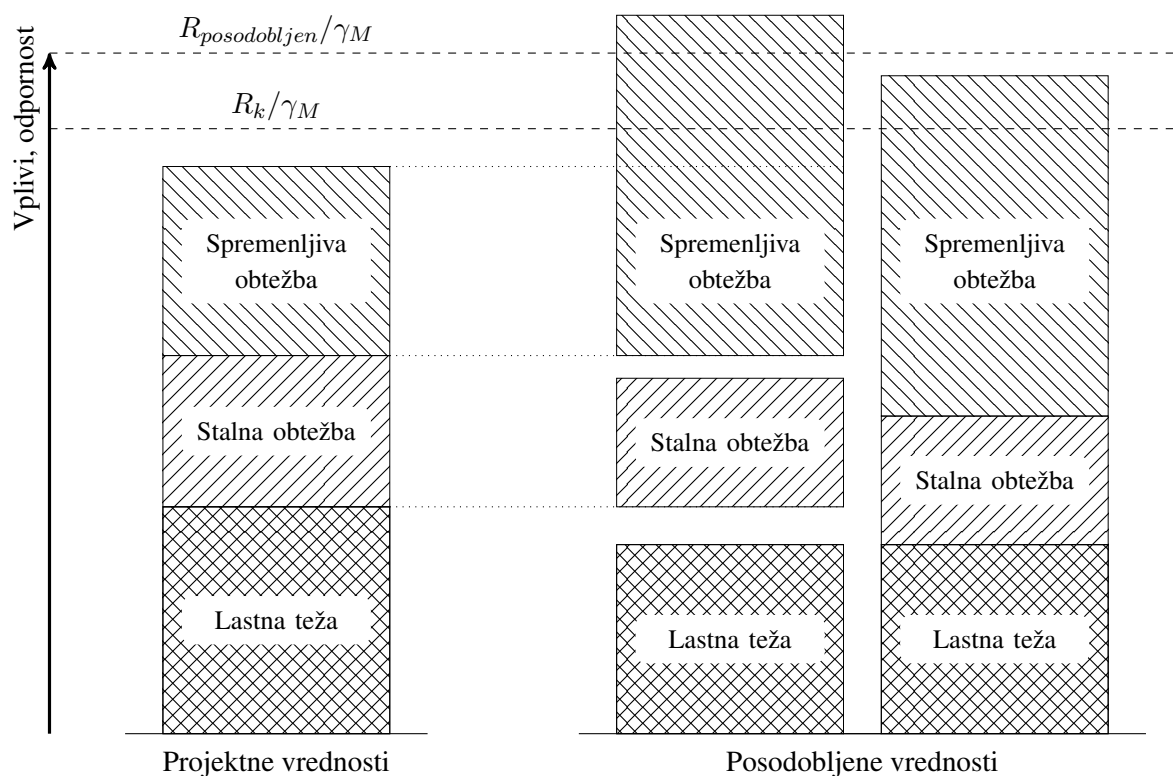


gosto zelo konzervativne. Preveriti moramo, da je upoštevan dejanski konstrukcijski detajl in da ni uporabljen slabši detajl zaradi nepoznavanja dejanskega stanja konstrukcije. Velikokrat ni podana kvaliteta jekla, iz katerega je bil most grajen. Pregledati moramo literaturo, ki je na voljo za podobne mostove, ali pa izvesti preiskavo jekla za obravnavan most.



Slika 2.4: Spekter napetosti (vir: prirejeno po [13])

Na sliki 2.5 je grafično prikazan prej opisan postopek za primer, ko se poveča prometna obtežba na mostu. Posodobitev podatkov prikazuje tudi ugotovljene konzervativne predpostavke v odpornosti mostu ter lastni in stalni obtežbi mostu. Lepo se vidi, da je konstrukcija tako še vedno sposobna prenesti povečano posodobljeno obtežbo mostu.



Slika 2.5: Prikaz posodobitve podatkov odpornosti (vir: prirejeno po [13])

Po koncu drugega koraka je prav tako pomembna izdelava poročila, saj se v njem zberejo vsi izračuni in opredelitev kritičnih elementov. Ti dokumenti se nato uporabijo za še natančnejšo analizo kritičnih elementov in pri oblikovanju predlogov nadaljnjih ukrepov.

### 2.2.1.3 Tretji korak: Specialne preiskave

Najbolj kritične elemente se analizira z dodanimi metodami (mehanika loma, verjetnostne metode, ...) ocene stanja, ki podajo natančnejše stanje elementa, in na podlagi katerih se nato lažje določijo sanacijski ukrepi.

#### 2.2.1.3.1 Mehanika loma

Do sedaj se je podajala ocena utrujanja na podlagi S-N krivulj. Ta metoda je razmeroma enostavna in prav zaradi tega sprejeta in uporabljena v širšem krogu gradbenih konstrukterjev, saj njena varnost temelji na veliki bazi podatkov iz preiskav utrujanja različnih konstrukcijskih detajlov. Prav zaradi tega ni pomislekov o njeni zanesljivosti in varnosti.

Ta metoda ima veliko prednosti, žal pa tudi veliko pomanjkljivost - ni je mogoče uporabiti za določanje velikosti razpok v elementu in napovedi rasti razpok v predvideni življenjski dobi konstrukcije. V takšnih primerih uporabimo metodo mehanike loma. Na podlagi velikosti najdene razpoke lahko tako izračunamo preostalo življenjsko dobo konstrukcije. Poudariti je treba, da je metoda mehanike loma učinkovita le, če so razpoke že nastale in so bile odkrite. Teoretično se lahko predpostavi velikost razpoke na elementu in se na podlagi te predpostavke izračuna čas do porušitve elementa. Ta čas je seveda (zelo) konservativen, saj bo preteklo še nekaj časa, preden se bo teoretična razpoka sploh formirala.

Metoda mehanike loma je uporabna za načrtovanje pogostosti kontrolnih pregledov konstrukcije in primerjave učinkovitosti različnih metod za lociranje razpok. Problemi se pojavijo pri oceni razvoja utrujenostnih razpok zaradi vpliva sekundarnih napetosti. V primerih, kjer so sekundarne napetosti izrazitejše, moramo biti zelo previdni, kako uporabimo metodo lomne mehanike.

Osnova za linearno-elastično mehaniko loma (ang. Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM)) je predpostavka, da je napetostno stanje v neposredni bližini razpoke enolično izraženo s parametrom  $K$  - faktor intenzitete napetosti (ang. Stress Intensity Factor) - ali parametrom  $\Delta K$  - faktor razpona intenzitete napetosti (ang. Stress Intensity Factor Range).  $\Delta K$  opišemo z enačbo:

$$\Delta K = Y \cdot \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \quad (2.3)$$

Uporabljene oznake:

- $a$  : velikost razpoke - dolžina ali globina
- $Y$  : faktor vpliva geometrije razpoke in geometrije razpokanega elementa
- $\Delta \sigma$  : razpon napetosti pri cikličnem obremenjevanju (pri kovičenih elementih se pogosto uporabi bruto prerez)

Enačba Parisovega zakona izrazi hitrost rasti razpoke s faktorjem razpona intenzitete napetosti:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K^m \quad (2.4)$$

Uporabljene oznake:

$C$  : konstanta Parisovega zakona

$m$  : eksponent Parisovega zakona

Z integracijo Parisove enačbe po dolžini razpoke se izračuna preostala življenjska doba zaradi utrujanja obravnavanega detajla:

$$N = \int_{a_0}^{a_c} \frac{da}{C \cdot \Delta K^m} \quad (2.5)$$

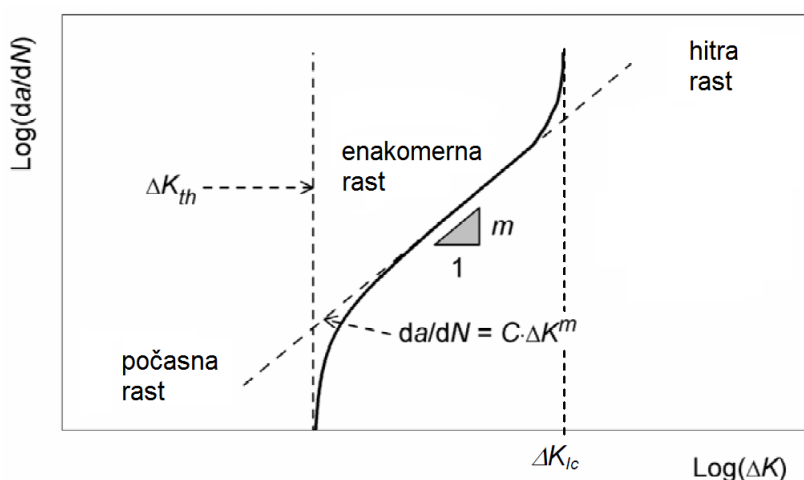
Uporabljene oznake:

$a_0$  : začetna velikost razpoke

$a_c$  : kritična velikost razpoke

Enačbe od 2.3 do 2.5 predstavljajo osnovo za izračun detajlov z uporabo metode mehanike loma. Osnovna predpostavka linearno-elastične mehanike loma je, da so že pred nanosom obtežbe prisotne majhne začetne razpoke. Za zagotovitev večje natančnosti metode mehanike loma se lahko prejšnje enačbe dopolnijo.

Po Parisovem zakonu je enakomerna rast razpoke linearno povezana z naklonom  $m$  logaritmične zveze med  $da/dN$  in  $\Delta K$  (slika 2.6). Vemo, da razvoj utrujnostnih razpok ni vedno linearen in je v določenih primerih izrazito nelinearen.



Slika 2.6: Parisov zakon rasti razpoke (vir: prirejeno po [13])

Ko se vrednost  $\Delta K$  zmanjšuje, se približuje spodnji mejni vrednosti. V tem spodnjem mejnem območju se hitrost rasti razpoke hitro približuje vrednosti nič. Neupoštevanje te lastnosti rasti razpoke pomeni, da lahko preostalo življenjsko dobo elementa ocenimo zelo konzervativno. To je odvisno od števila ciklov sprememb napetosti, ki so v območju spodnje meje  $\Delta K$ . Za upoštevanje vpliva spodnjega mejnega območja lahko enačbo 2.4 spremenimo:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad (2.6)$$

Uporabljene oznake:

$\Delta K_{th}^m$  : elastični mejni faktor razpona intenzitete napetosti

Faktor  $\Delta K_{th}^m$  ima lahko konstantno vrednost. Sicer je dokazano, da se ta faktor spreminja z napetostnim razmerjem  $R$  (razmerje med najmanjšo in največjo napetostjo v elementu), zato ga je priporočljivo glede na ta faktor tudi spreminjati:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (2.7)$$

Uporabljene oznake:

$\sigma_{min}$  : najmanjša vrednost napetosti v elementu

$\sigma_{max}$  : največja vrednost napetosti v elementu

Upoštevanje spremenljivk  $\sigma_{min}$  in  $\sigma_{max}$  ter postopek izračuna je naveden proti koncu poglavja 4.6.2.3.

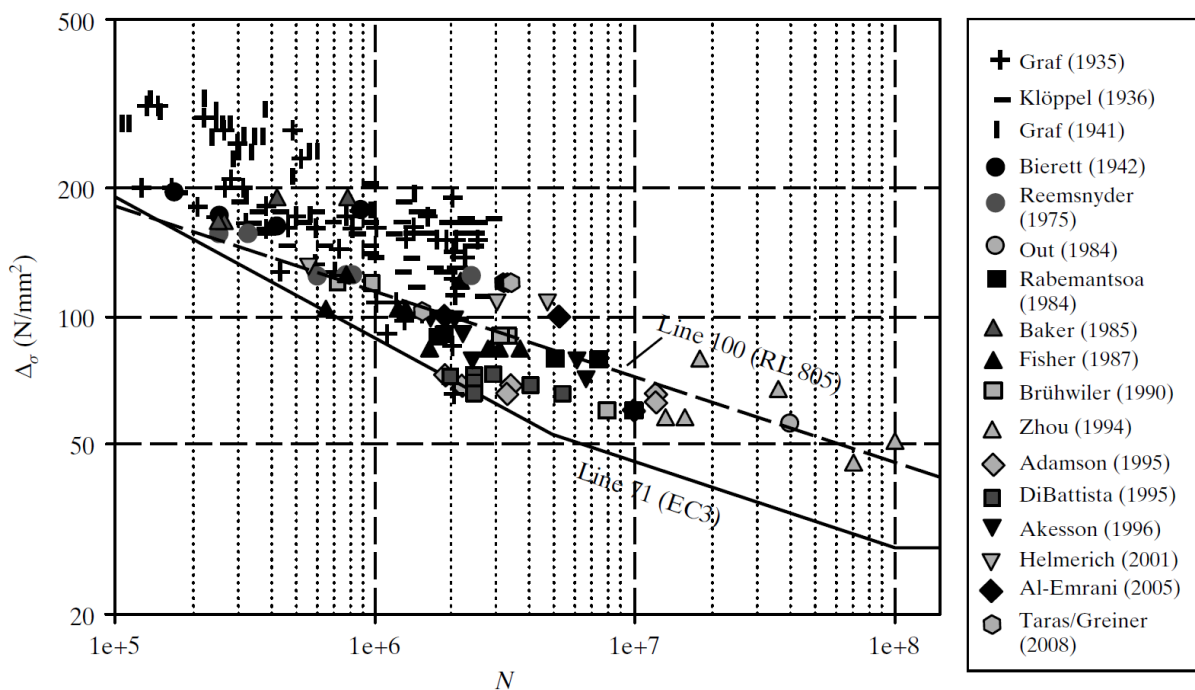
## 2.2.2 Razvoj metod za izračun preostale življenjske dobe jeklenih mostov

Veliko jeklenih železniških mostov je bilo zgrajenih proti koncu 19. in v začetku 20. stoletja, zato se poraja vprašanje, koliko so še zanesljivi in varni. Na inštitutu Institute for Steel Structures and Shell Structures v okviru Tehniške univerze v Gradcu je bila ustanovljena delovna skupina za določitev novih pravil določevanja stopnje utrujanja na jeklenih kovičenih elementih [26]. Izvedli so eksperimente, ki so vključevali statične in visokociklične utrujnostne teste na jeklenih kovičenih elementih, ki so jih pridobili z odsluženega jeklenega železniškega mostu v Salzburgu. Na podlagi pridobljenih podatkov so morali določiti ustrezne parametre in postopke za praktično določevanje nosilnosti elementov in odpornosti elementov na utrujanje. Glavni cilj pa je bil izdelava ustreznih S-N krivulj. Rezultati teh raziskav so med drugim objavljeni v članku [26], ki ga lahko smatramo za nekakšno dopolnilo osnovnim smernicam za analizo preostale življenjske dobe [13] in nenazadnje tudi kot dopolnilo standardu [7].

Glede na rezultate lastnih in starejših preizkusov so ugotovili, da kategorija detajla 71, ki jo podaja standard [7], leži na spodnji meji vseh rezultatov testov, ki so jih izvedli. To je krivulja z naklonom  $m = 5$  oziroma  $m = 3$  na območju višjih napetosti in odpornostjo na utrujanje  $\Delta\sigma_c = 71$  pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih. Nemški standard [20] podaja še kategorijo detajla 100 s konstantnim naklonom krivulje  $m = 5$

za jeklene kovičene elemente narejene po letu 1900 in za napetostno razmerje  $R = 0$ . Za to krivuljo se izkaže, da leži nad velikim številom rezultatov, zato jo lahko po hitrem pregledu označimo za nevarno (slika 2.7).

V članku [26] avtorja izpostavita, da ne glede na to, da je krivulja v splošnem varna, je za določene primere preveč na varni strani (območje nižjih nivojev napetostnih ciklov med 30 in 60  $N/mm^2$ ), spet pa je za druge na nevarni strani (območje srednjih nivojev napetostnih ciklov med 60 in 100  $N/mm^2$ ), kar je razvidno s slike 2.7. Glede na podatke testov se opazi, da je krivulja dokaj nenatančna za nizke in srednje nivoje napetostnih ciklov, kar se izkaže za problematično pri analizi najbolj obremenjenih elementov mostne konstrukcije, katerih nivoji napetostnih ciklov spadajo ravno v to območje. Prav tako se uporaba enotne S-N krivulje postavi pod vprašaj, saj vemo, da niso vsi jekleni kovičeni elementi enaki in da se zelo različno obnašajo. Napačno je tudi izhodišče, saj osnovna kategorija detajla 71 iz standarda [7] izhaja iz kategorij detajlov za varjene prereze, v katerih delujejo velike zaostale napetosti. Za srednje in visoke nivoje napetostnih ciklov ima S-N krivulja naklon  $m = 3$ , za nižje  $m = 5$ , in ne upošteva vpliva napetostnega razmerja  $R$ . To se izkaže za neustrezno, saj v jeklenih kovičenih elementih delujejo zelo nizke zaostale natezne napetosti. Vsi testi utrujanja na kovičenih elementih so pokazali relativno velik raztros rezultatov, ne glede na velikost in izdelavo preizkušanca. Ne glede na vse te pomisleke avtorja v članku [26] zaključita, da je kategorija detajla 71 vseeno varna izbira.



Slika 2.7: Rezultati vseh obravnavanih rezultatov testov brez korekcije na  $R = 0$  (vir: [26])

### 2.2.2.1 Vplivni parametri

Avtorja v članku [26] izpostavi več parametrov, ki poleg osnovnega vpliva (amplituda napetosti  $\Delta\sigma$ ) še dodatno vplivajo na proces utrujanja. Za najpomembnejša se izkažeta naslednja parametra.

- Napetostno razmerje  $R$

Znano je, da ima napetostno razmerje  $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$  vpliv na odpornost proti utrujanju pri nevarjenih elementih. To dejstvo je bilo upoštevano v starejših standardih, kot sta bila nemški standard DIN in avstrijski standard ÖNORM. V sedanji verziji *Evrokoda* vpliv napetostnega razmerja ni upoštevan, kar je razumljivo, saj ne igra pomembne vloge pri varjenih elementih z velikimi zaostalimi nateznimi napetostmi. Pri jeklenih kovičenih elementih pa ima to razmerje velik vpliv. Koeficient  $\Delta\sigma_{c,0}$  ustreza začetni odpornosti na utrujanje pri napetostnem razmerju  $R = 0$ . Odpornost na utrujanje je tako odvisna od napetostnega razmerja in se določi po spodnji enačbi:

$$\Delta\sigma_c(R) = f(R) \cdot \Delta\sigma_{c,0} \quad (2.8)$$

Uporabljene oznake:

$\Delta\sigma_c(R)$  : odpornost na utrujanje odvisna od napetostnega razmerja  $R$

$f(R)$  : faktor vpliva napetostnega razmerja  $R$

$\Delta\sigma_{c,0}$  : začetna odpornost na utrujanje

Predstavljenih je več virov (ÖN B4600-3 iz leta 1979, standard [7], standard DB RL 805 in poročilo ORE-report DT 176), v katerih so podane različne enačbe za izračun faktorja vpliva napetostnega razmerja  $f(R)$ . Na koncu avtorja predlagata uporabo enačb v preglednici 2.1, te so se v njihovih poizkusih izkazale za ustrezne.

Preglednica 2.1: Enačbe za izračun faktorja vpliva napetostnega razmerja  $f(R)$  (vir: prirejeno po [26])

Kovano jeklo in mehko jeklo pred letom 1900	
$-1.0 \leq R < 0.0$	$R \geq 0.0$
$f(R) = \frac{1 - R}{1 - 0.70 \cdot R}$	$f(R) = \frac{1 - R}{1 - 0.75 \cdot R}$
Mehko jeklo po letu 1900 - St37, St48, St52, ...	
$-1.0 \leq R < 0.0$	$R \geq 0.0$
$f(R) = \frac{1 - R}{1 - 0.40 \cdot R}$	$f(R) = \frac{1 - R}{1 - 0.60 \cdot R}$

- Stopnja bočnega pritiska

Odpornost na utrujanje jeklenih kovičenih elementov je odvisna od velikosti teoretičnega bočnega pritiska na pločevino, ki ga povzroči posamezna kovica. Vprašanje je tudi, ali se bočni pritisk v pločevini sploh pojavi. Če je prednapetje kovice, ki nastane pri procesu kovičenja, dovolj veliko,

se bočni pritiski sploh ne pojavijo, saj se celotna obtežba prenaša s trenjsko silo v stiku med elementoma. Testi so pokazali, ko je sila prednapetja dovolj velika in do bočnih pritiskov ne pride, je element bistveno bolj odporen na proces utrujanja kot v primeru, da se pojavijo velike strižne sile v kovici in veliki bočni pritiski na pločevini. Vseeno pa se moramo zavedati, da je prednapetje starih kovic lahko vprašljivo in da je od mostu do mostu odvisno, kolikšna sila prednapetja je (še) prisotna.

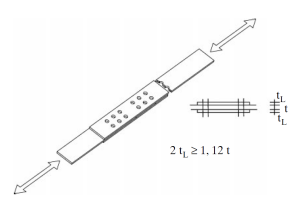
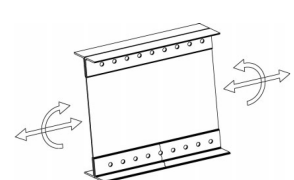
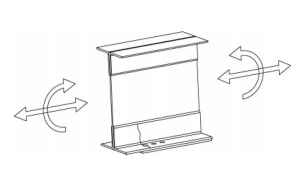
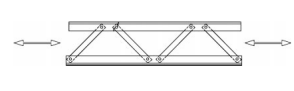
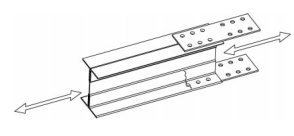
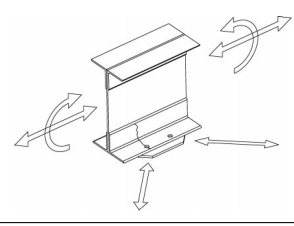
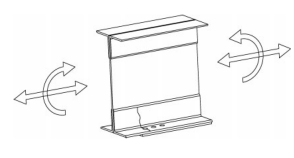
### 2.2.2.2 Kategorizacija detajlov kovičenih elementov

V priporočilu [13] je v poglavju 3.5.2 podana enotna kategorija detajla  $\Delta\sigma_c = 71 \text{ MPa}$  za vse detajle kovičenih prereзов. V članku [26] so predstavljeni še drugi detajli za različne tipe prereзов, podani so v preglednici 2.3. Predvidena odpornost posamezne kovice proti zdrsni zaradi vplivov prednapetja je podana v preglednici 2.2.

Preglednica 2.2: Odpornost kovic proti zdrsni (vir: prirejeno po [26])

Način izdelave in število kovic v stiku	Minimalna odpornost kovice proti zdrsni [ $kN$ ]
Način izdelave ni znan, ročna izdelava ali izdelava s pnevmatskim kladivom, število kovic $< 15$ , kovice iz kovanega železa ali iz mehkega jekla (St34, St37, ...)	12
Izdelava kovic s pnevmatskim kladivom, število kovic $\geq 15$ , kovice iz kovanega železa ali iz mehkega jekla (St34, St37, ...)	15
Izdelava kovic z vzvodom BENT LEAVER, kovice iz kovanega železa ali iz mehkega jekla (St34, St37, ...)	25

Preglednica 2.3: Detajli utrujanja za kovičene elemente (vir: prirejeno po [26])

Odpornost detajla [MPa]	Konstruktivni detajl	Opis	Zahteve
$\Delta\sigma_c = 90(80);$ $m = 5$		Simetrični spoj z veznima pločevinama.	Razmerje $\sigma_{bearing}$ in $\sigma_{net}$ mora biti manjše od 2.
		Srednji pločevini v dvojnostrižni povezavi morata biti preverjeni na kategorijo detajla $\Delta\sigma_c = 90$ .	Kjer so bile uporabljene kovice razreda St44 ali višjega, zaščita proti koroziji ni bila uporabljena.
		Kategorija $\Delta\sigma_c = 80$ velja samo za vezni pločevini, zato kontrola pri $2 \cdot t_L \geq 1.12 \cdot t$ ni potrebna.	Če kateri od pogojev ni izpolnjen, se uporabi kategorija detajla $\Delta\sigma_c = 80$ oziroma $\Delta\sigma_c = 70$ za preklopne pločevine.
$\Delta\sigma_c = 85;$ $m = 5$		Neprekinjen stik kotnikov s pločevino stojine pri sestavljenih nosilcih, $\Delta\sigma$ se določi v centru kovice.	Izračunana strižna sila na kovico v obravnavanem strižnem prerezu ne sme prekoračiti mejnih vrednosti iz preglednice 2.2.
		Neprekinjen stik ojačitvenih pločevin in kotnikov pri sestavljenih nosilcih.	Izračunana strižna sila na kovico v obravnavanem strižnem prerezu ne sme prekoračiti mejnih vrednosti iz preglednice 2.2.
$\Delta\sigma_c = 85;$ $m = 5$		Sestavljeni palični elementi v tlaku ali v nategu.	Izračunana strižna sila na kovico v obravnavanem strižnem prerezu ne sme prekoračiti mejnih vrednosti iz preglednice 2.2.
$\Delta\sigma_c = 71;$ $m = 5$		Enostrižni spoj sestavljen iz preklapne pločevine.	Če je izračunana strižna sila v kovici manjša od minimalne vrednosti odpornosti kovice proti zdrsu, se lahko upošteva $\Delta\sigma_c = 85$ .
$\Delta\sigma_c = 71;$ $m = 5$	—	Primeri, za katere velja $\Delta\sigma_c = 85$ , vendar je prekoračena odpornost kovice proti zdrsu.	Izračunana strižna sila na kovico v obravnavanem strižnem prerezu je večja od mejnih vrednosti, ki so podane v preglednici 2.2).
$\Delta\sigma_c = 71;$ $m = 5$		Območje bočnih podpor v natezni pasnici nosilca.	Če se pojavi delovanje bočnih podpor, se lahko uporabi detajl $\Delta\sigma_c = 85$ .
$\Delta\sigma_c = 71;$ $m = 5$		Območje ojačitvenih pločevin.	Če je izračunana strižna sila v kovici manjša od minimalne vrednosti odpornosti proti zdrsu, se lahko upošteva detajl $\Delta\sigma_c = 85$ .



### 3 MOST ČEZ REKO IDRIJCO V KM 55+065

Obravnavan jeklen železniški most je enotiren in leži v km 55+065 na progi Jesenice - Nova Gorica. V kraju Bača pri Modreju prečka reko Idrijco. Zgrajen je bil leta 1905, leta 1985 se je na njem izvedla sanacija kamnitega opornika. Zapisov o drugih posegih v konstrukcijo nismo zasledili.

Most je sestavljen iz dveh delov - kamnitega in jeklenega. Kamniti del je dolg 114 m in je sestavljen iz sedmih obokov. Drugi del je jeklen, ki je sestavljen iz dveh enakih prostoležečih paličnih konstrukcij razpona 53.46 m. V magistrski nalogi obravnavamo samo eno palično konstrukcijo.



Slika 3.1: Pogled na železniški most



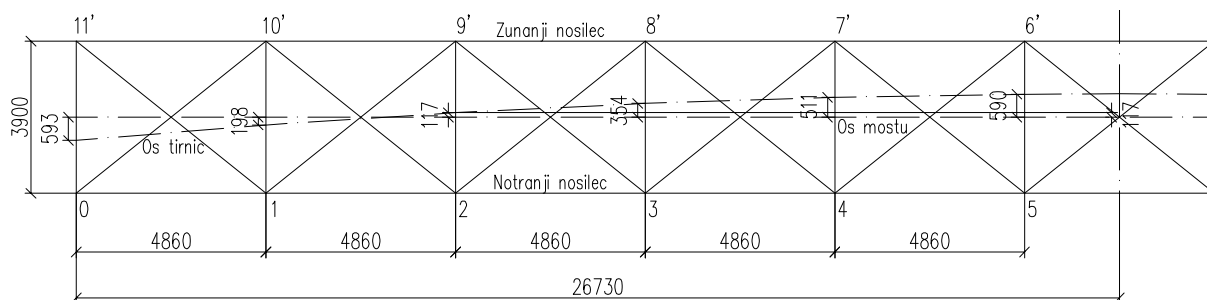
Slika 3.2: Pogled na železniško progo

Ne glede na visoko starost mostu smo uspeli pridobiti dovolj projektne dokumentacije, da nismo imeli težav pri izdelavi modela konstrukcije. Pri modeliranju mostu smo si pomagali s kopijami originalnih načrtov iz leta 1905, poročilom *Poročilo o kategorizaciji mostu v km 55.066 na progi Jesenice - Sežana*

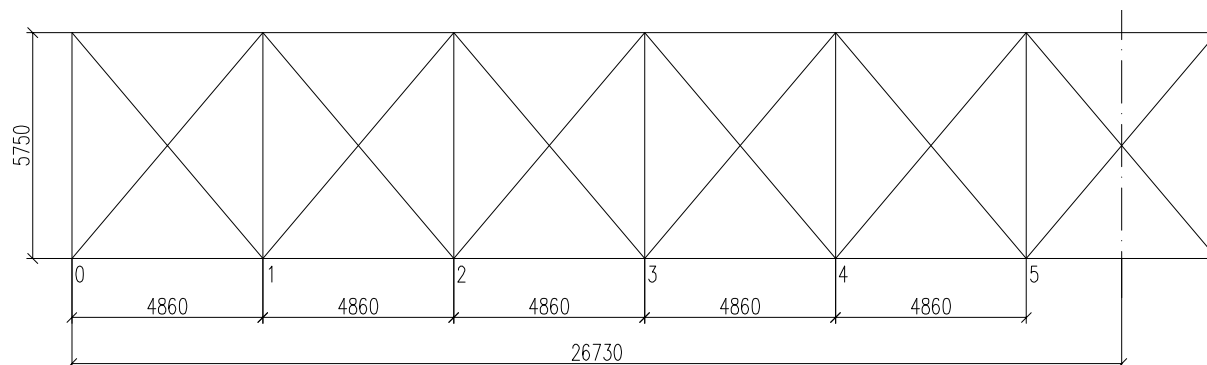
[10] in *Elaborat o ispitivanju železnič kog mosta na km 55+065 proge Jesenice - Nova Gorica* [12].

### 3.1 Zasnova konstrukcije

Jeklena mostna konstrukcija je sestavljena iz dveh glavnih paličnih prostoležečih nosilcev razpona 53.46 m oziroma  $11 \times 4.86$  m. Njuna osna razdalja je 3.90 m, računska višina mostu je 5.75 m. Os mostne konstrukcije je v premi, glavni vzdolžniki, na katere so položeni železniški pragovi, so na prečnike nameščeni v radiju  $R = 300$  m, kolikor je tudi radij železniških tirnic.



Slika 3.3: Tloris mostne konstrukcije



Slika 3.4: Stranski pogled mostne konstrukcije

### 3.2 Uporabljeni materiali

Materialne karakteristike elementov mostu smo določili na podlagi poročila *Most v km 96.623 proge Jesenice - Sežana: Poročilo o preiskavi štev. 1284/6216-JEKON*[3]. V poročilu obravnavajo most čez reko Lijak pri kraju Dombrova v km 96+623 na progi Jesenice - Nova Gorica - Sežana.

Most čez reko Lijak je bil zgrajen leta 1905, torej istega leta kot v magistrski nalogi obravnavani most. Glede na isto letnico izgradnje predpostavimo, da je bilo pri gradnji obeh mostov uporabljeno jeklo z bolj ali manj enakimi karakteristikami.

Leta 1962 so izvedli materialne preiskave jekla, za katere so iz zunanje lamele spodnjega pasu v četrtem polju glavnega nosilca naredili preizkušance. Ti so bili namenoma izdelani iz jekla na delu mostu, kjer se pojavljajo največje natezne napetosti. Na njih so izvedli statični preizkus po standardu *JUS C.A4.002* in preizkus pulzne trdnosti.

Pri statičnem preizkusu so testirali štiri preizkušance, od katerih sta bila dva izdelana iz roba lame in dva iz sredine lamele. Izvedla se je natezna preiskava na 50-tonskem trgalnem stroju, ki je bil kalibriran za območje 10 ton. Rezultati preiskave so podani v preglednici 3.1.

Preglednica 3.1: Rezultati natezne preiskave (vir: prirejeno po [3])

Preizkušanec	Meja tečenja [kp/cm <sup>2</sup> ] / [kN/cm <sup>2</sup> ]	Natezna trdnost [kp/cm <sup>2</sup> ] / [kN/cm <sup>2</sup> ]	Raztezek ob pretrgu $\delta_{10}$ [%]
1	2650 / 26.0	3460 / 33.9	29.50
2	2560 / 25.1	3510 / 34.4	34.20
3	2560 / 25.1	3650 / 35.8	32.00
4	2640 / 25.9	3680 / 36.1	31.70

Za preizkus z nizkofrekvenčnim pulzatorjem s frekvenco 250 nihajev na minuto so pripravili tri 40-centimetreške lamele. Rezultati preiskave so zbrani v preglednici 3.2.

Preglednica 3.2: Rezultati preiskave s pulzatorjem (vir: prirejeno po [3])

Preizkušanec	Spodnja meja pulziranja [kp/cm <sup>2</sup> ] / [kN/cm <sup>2</sup> ]	Zgornja meja pulziranja [kp/cm <sup>2</sup> ] / [kN/cm <sup>2</sup> ]	Število udarcev do zloma
5	100 / 1.0	1400 / 13.7	868000
6	100 / 1.0	1200 / 11.8	1116000
7	100 / 1.0	1000 / 9.8	5000000

Poročilo še podaja podatke za takratno jeklo St37, podani so v preglednici 3.3.

Preglednica 3.3: Primerjalne vrednosti za jeklo St37 (vir: prirejeno po [3])

	MIN	MAX
Tečišče [kN/cm <sup>2</sup> ]	25.8	27.2
Trdnost [kN/cm <sup>2</sup> ]	40.7	41.8
Povprečni raztezek $\delta_5$ [%]	35.1	37.8

Avtor poročila zaključuje, da uporabljeno jeklo ne ustreza kvaliteti jekla St37, čeprav sta meja tečenja in razreza ob pretrgu preizkušanca v okviru vrednosti za predpisano kvaliteto jekla St37. Vrednosti natezne trdnosti pa niso zadovoljive. Doda še, da računске napetosti v jeklu tako ne smejo presežati  $1200 \text{ kp/cm}^2 = 11.8 \text{ kN/cm}^2$ , kar pa je merodajno za kontrole iz časov, ko so za izračun nosilnosti uporabljali metodo mejnih napetosti, pri kateri so bili delni varnostni faktorji drugače aplicirani.

Glede na pregledane podatke ugotovimo, da lahko obravnavani most modeliramo z materialnimi karakteristikami današnjega jekla kvalitete S235, ki mu znižamo natezno trdnost na  $34 \text{ kN/m}^2$ .

Podatke iz poročila [3] v preglednici 3.4 primerjamo s podatki iz članka [11].

Preglednica 3.4: Materialni podatki za jeklo pločevin in kovic do debeline 30 mm (vir: prirejeno po [11])

Vrsta jekla	$f_{y,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{u,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{M2}$ [/]
Kovano železo in mehko jeklo pred 1900	220	320	1.20	1.40
Mehko jeklo po 1900	235	335	1.15	1.35
Konstrukcijsko jeklo po ÖNORM B4300-2:1949, 1950, 1954				
St37	222	360	1.05	1.20
St44	264	430		
St52	330	510		
Konstrukcijsko jeklo po ÖNORM B4300-2:1964				
St37	240	360	1.10	1.25
St44	280	430		
St52	360	510		

Za parametra  $f_y$  (meja tečenja) in  $f_u$  (natezna trdnost) iz preglednice 3.1 izračunamo srednjo vrednost in standardni odklon (preglednica 3.5). Glede na izračunani srednji vrednosti ugotovimo, da testirano jeklo s svojimi lastnostmi spada med konstrukcijska jekla kvalitete St37 po standardu ÖNORM B4300-2, čeprav bi ga brez problema klasificirali tudi kot mehko jeklo po 1900, saj je bilo proizvedeno v času gradnje mostu, okoli leta 1905. V izračunih tako upoštevamo materialne delne varnostne faktorje  $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1.05$  in  $\gamma_{M2} = 1.20$ , ki jih priporoča članek [11] (preglednica 3.4).

Preglednica 3.5: Srednja vrednost in standardni odklon parametrov  $f_y$  in  $f_u$

	Meja tečenja $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Natezna trdnost $f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Srednja vrednost	265	364
Standardni odklon	5.02 (1.9%)	10.87 (3.0%)

Načeloma bi potrebovali bistveno več vzorcev, za katere bi pridobili materialne podatke, na podlagi katerih bi lahko natančneje določili srednjo vrednost in standardni odklon posameznega obravnavanega parametra. Natančnejša srednja vrednost bi potrdila pravilno izbiro kvalitete jekla, natančnejši standardni odklon pa bi omogočal natančnejšo določitev materialnih varnostnih faktorjev.

### 3.3 Geometrijske karakteristike prerezov

Podatke o geometriji mostnih elementov smo razbrali iz fotokopij originalnih načrtov iz leta 1905. Elementi mostne konstrukcije so sestavljeni iz pločevin in kotnikov. Prečne prereze brez kovic, veznih pločevin in strižnih povezav posameznih delov prereza izrišemo v programu AutoCAD in jih nato uvozimo v program Scia Engineer. Za vse sestavne dele prereza program predpostavi, da so med sabo toga povezani in na podlagi tega izračuna geometrijske karakteristike.

Vsi prerezi elementov in njihove geometrijske karakteristike so zbrani v prilogi B.

Pri pregledu načrtov ter drugih virov [10] in [12] smo ugotovili neskladnost glede sestave elementov in zapisanih geometrijskih karakteristik spodnjega pasu zunanega paličnega nosilca. Zapisane ploščine prerezov spodnjega pasu se ne ujemajo z debelino vzdolžnih pločevin, ki je na skicah prerezov označena kot 12 mm. Naredili smo kontrolo in ugotovili, da bi morale biti vse pločevine debeline 11 mm, razen zadnje v srednjem polju, ki je debeline 12 mm. Prav tako se niso skladali podatki o geometriji robne vertikale paličja, zato smo prerez modelirali konzervativno. Za natančnejšo določitev dejanskega prereza bi morali opraviti pregled dejanskega stanja na terenu, kar pa zaradi nujnosti pridobitve ustreznih dovoljenj in vprašanja varnosti pri ogledu ni bilo mogoče.

### 3.4 Vplivi na konstrukcijo

#### 3.4.1 Dinamični faktorji

Notranje statične količine posameznih elementov mostne konstrukcije povečamo z dinamičnimi faktorji  $\Phi$ . Na ta način upoštevamo dinamične učinke in učinke vibracij, ki jih pozročajo vlakovne kompozicije. Pri kontroli mejnega stanja nosilnosti mostne konstrukcije upoštevamo dinamični faktor za standardno vzdrževane proge,  $\Phi_3$  (enačba 3.2), pri analizi utrujanja in oceni preostale življenjske dobe mostu pa uporabimo dinamični faktor za temeljito vzdrževane proge,  $\Phi_2$  (enačba 3.1). Oba dinamična faktorja sta podana v poglavju 6.4.5 standarda [4]. Različna dinamična faktorja izhajata verjetno iz dejstva, da je pri temeljito vzdrževanih progah manj možnosti, da bo vlak povzročal dodatne obremenitve zaradi morebitnih obrabljenih komponent proge kot pri standardno vzdrževanih progah. Ker je verjetnost takšnih obremenitvah nižja, je posledično dinamični faktor za temeljito vzdrževane proge  $\Phi_2$  nižji.

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.82; 1.00 \leq \Phi_2 \leq 1.67 \quad (3.1)$$

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.73; 1.00 \leq \Phi_3 \leq 2.00 \quad (3.2)$$

Uporabljene oznake:

$\Phi_2$  : dinamični faktor za temeljito vzdrževane proge (proga v odličnem stanju)

$\Phi_3$  : dinamični faktor za standardno vzdrževane proge (proga v ne najboljšem stanju)

$L_\Phi$  : vplivna dolžina določena v skladu s preglednico 6.2 iz standarda [4], odvisna od dolžine  $L$  obravnavanega elementa [m]

#### Glavni palični nosilec

$$L = 53.46 \text{ m}$$

$$L_\Phi = L = 53.46 \text{ m}$$

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{53.46 - 0.2}} + 0.82 = 1.02$$

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{53.46 - 0.2}} + 0.73 = 1.03$$

### Vzdolžni nosilci

$$L = 4.86 \text{ m}$$

$$L_{\Phi} = L + 3 \text{ m} = 7.86 \text{ m}$$

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{7.86} - 0.2} + 0.82 = 1.37$$

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{7.86} - 0.2} + 0.73 = 1.56$$

### Prečniki

$$L = 3.90 \text{ m}$$

$$L_{\Phi} = 2 \cdot L = 7.80 \text{ m}$$

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{7.80} - 0.2} + 0.82 = 1.38$$

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{7.80} - 0.2} + 0.73 = 1.56$$

### Ostali elementi

Elementi konstrukcije, za katere vplivna dolžina ni v naprej določena v standardu [4], imajo vplivno dolžino enako dolžini njihove vplivnice, na primer vertikalne in horizontalne diagonale glavnega paličja. Pri obravnavanem mostu je dolžina vplivnice za vsak element enaka dolžini mostu  $L = 53.46 \text{ m}$ , kar pomeni, da je vplivna dolžina za te elemente enaka dolžini mostu. Dinamični faktorji so tako za vse preostale elemente enaki dinamičnemu faktorju za glavni palični nosilec.

#### 3.4.2 Lastna teža

Program Scia Engineer ne omogoča, da bi linijski element modeliral kot sestavljen element. Prav zaradi tega posamezen element nima modeliranih vseh sestavnih delov, kar se odraža v tem, da nima ustrezne lastne teže. To težavo smo rešili z uporabo funkcije *Property modifiers ID*, preko katere smo upoštevali povečanje lastne teže modeliranih elementov zaradi zakovic, veznih pločevin in strižnih povezav.

Faktorji, s katerimi povečamo lastno težo elementov, so ocenjeni na podlagi izračuna dejanske teže sestavljene spodnje prečne vezi in vertikale vzdolžnega paličja v sredinskih razponih. Ugotovimo, da je celotna teža spodnje prečne vezi za 16% večja od teže modeliranega prereza. Teža vertikale vzdolžnega paličja pa je za 27% višja. Glede na ta podatka ocenimo vrednosti, s katerimi povečamo lastno težo preostalih elementov. V preglednici 3.6 so podane vrednosti, s katerimi smo v modelu povečali lastno težo posameznih sestavnih elementov konstrukcije.

Preglednica 3.6: Koeficienti povečanja lastne teže sestavljenih elementov

Element	Koeficient povečanja mase konstrukcije
Pasovi vzdolžnih nosilcev	1.20
Spodnji prečnik	1.30
Vertikale paličnih nosilcev	1.30
Diagonale v horizontalni ravnini	1.20
Diagonale v prečni ravnini	1.20
Diagonale v vzdolžni ravnini	1.30
Glavni prečniki	1.20
Glavni vzdolžniki	1.20
Bočne vezi	1.30
Diagonale bočnih vezi	1.10

### 3.4.3 Dodatna stalna obtežba

Poleg lastne teže, na konstrukcijo deluje še dodatna stalna obtežba (razširitveni elementi pohodnih površin, pohodne površine, ograjni stebri z ograjo, pragovi, tirnice in varnostne tirnice). Dodatna stalna obtežba je zbrana v preglednici 3.7.

Preglednica 3.7: Dodatna stalna obtežba na most

Dodatna teža po vertikalah paličja									
Vertikala	Ograjni steber [kN]	Ograja [kN]	Pločevina [kN]		Razširitve [kN]		Skupaj teža [kN]		
			Zunaj	Znotraj	Zunaj	Znotraj	Zunaj	Znotraj	
0	0.30	0.30	0.71	1.21	0.50	0.70	1.81	2.51	
1	0.40	0.60	1.80	2.04	0.83	0.75	3.62	3.79	
2	0.40	0.60	2.47	1.38	0.93	0.55	4.39	2.93	
3	0.40	0.60	2.94	0.94	1.03	0.40	4.96	2.34	
4	0.40	0.60	3.23	0.73	1.13	0.38	5.36	2.10	
5	0.40	0.60	3.37	0.64	1.20	0.30	5.57	1.94	

Pragovi		Tirnice			Pohodna površina	
V	0.11 m <sup>3</sup>	Tirnica	4 x 60	kg/m	Širina	1.8 [m]
m	900 kg	Pribor	4 x 15	kg/m	Obtežba	0.9 [kN/m]
Razmik	0.6 m	Obtežba		300 kg/m		
Obtežba	162.24 kg/m				3 kN/m	
Skupaj	170 kg/m					
	1.7 kN/m					

Skupna obtežba (pragovi, tirnice, pohodne površine)	5.6 [kN/m]
<b>Skupna obtežba na en vzdolžnik</b>	<b>2.8 [kN/m]</b>

Dodatna stalna teža na glavni prečnik (ojačitvene pločevine)	1 kN/prečnik
Dolžina prečnika	3.9 m
<b>Obtežba</b>	<b>0.26 kN/m</b>



### 3.4.4 Prometna obtežba

#### 3.4.4.1 Kategorizacija mostu

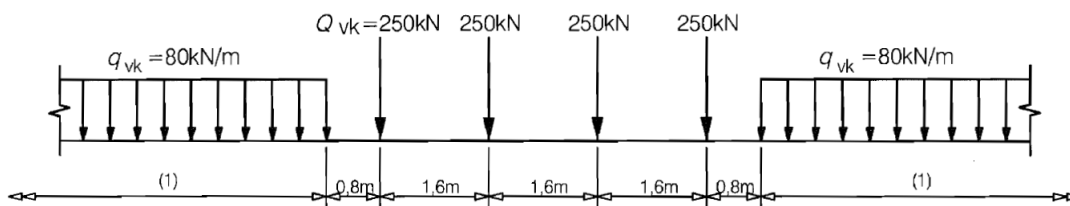
V poročilu [10] je bil narejen preračun nosilnosti mostne konstrukcije obravnavanega mostu na kategorijo C4 pri hitrosti  $V = 80 \text{ km/h}$ . Dokazali so, da most v obstoječem stanju spada v kategorijo C4 z največjo hitrostjo  $V = 35 \text{ km/h}$ . Za zvišanje hitrosti na osnovnih  $V = 80 \text{ km/h}$  bi bilo potrebno ojačati glavne prečne nosilce.

Po pregledu uredbe o kategorizaciji prog [28] ugotovimo, da spada obravnavani most čez reko Idrijco v sklopu regionalne železniške proge Jesenice - Nova Gorica - Sežana v kategorijo C2. Razlika med kategorijo C2 in C4 je razvidna s slike 3.5.

<b>C2</b>	$P = 20 \text{ t}$	$p = 6,4 \text{ t/m}$	
<b>C4</b>	$P = 20 \text{ t}$	$p = 8,0 \text{ t/m}$	

Slika 3.5: Obtežni shemi C2 in C4 (vir: prirejeno po [28], priloga 4)

V standardu *EN 1991-2:2003. Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges* je za nove mostove z enim razponom, preko katerih ne bodo potovali hitri in izjemno težki vlaki, predvidena obtežna shema LM71 (slika 3.6).



**Opomba:**

(1) Brez omejitve

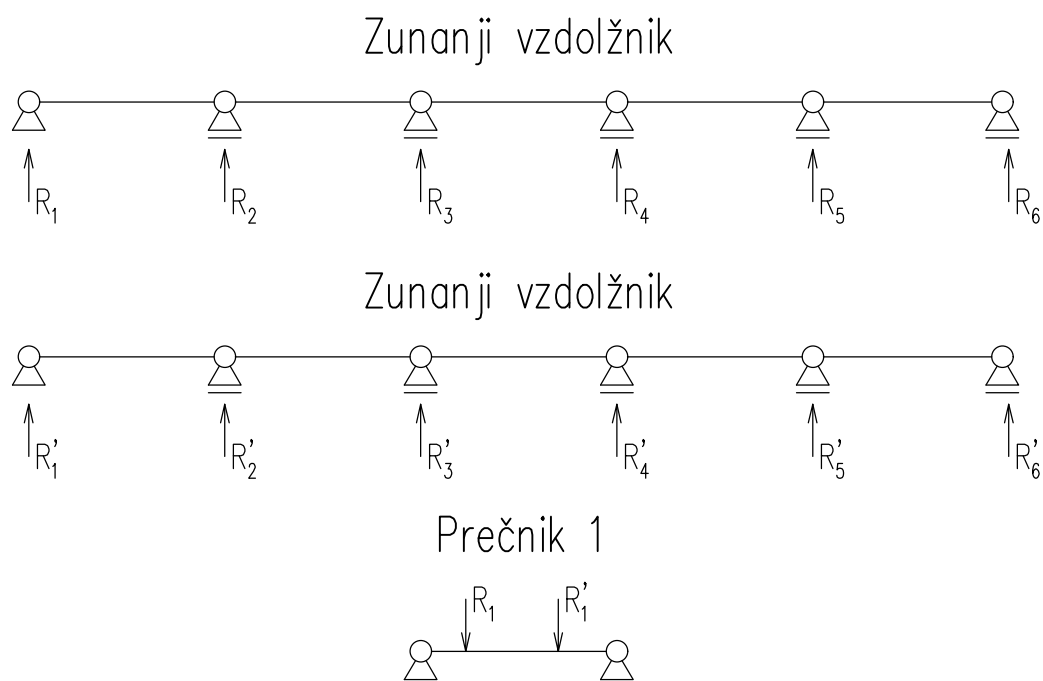
Slika 3.6: Obtežna shema LM71 (vir: prirejeno po [4])

Glede na to, da je bilo že dokazano, da most ne vzdrži kategorije C4 pri hitrosti  $V = 80 \text{ km/h}$ , ni bilo smiselno delati kontrole nosilnosti še za kategorijo LM71, ki je največja od vseh treh omenjenih. Most tako najprej preverimo na kategorijo C4 pri hitrosti  $V = 80 \text{ km/h}$ , kjer potrdimo, da ne prenese te obtežbe. Nato preverimo nosilnost še za nižje vrednosti obremenitev in ugotovimo, da konstrukcija načeloma vzdrži kategorijo C2 pri hitrosti  $V = 30 \text{ km/h}$ . Problematičen je namreč najbolj obremenjen prečnik, ki ima za malenkost prekoračeno izkoriščenost.



Opozoriti je treba, da kontrola mejnega stanja nosilnosti posameznih elementov mostu, ki jo izvedemo v magistrski nalogi, ni dovolj, da se most točno kategorizira glede na največjo možno obtežbo in največjo možno hitrost prečkanja vlakovne kompozicije. Za ta namen bi se morala preveriti tudi nosilnost spojev, ki je lahko še bolj kritična od same nosilnosti elementov. Dodatno se ločita tudi kategorija proge in kategorija mostu. Ob manjših nadgradnjah proge se lahko kategorija proge poveča, mostna konstrukcija pa tega povečanja brez obsežnejše nadgradnje konstrukcije verjetno ne bo zmožna prenesti. Vedno je tako treba paziti, da kategorija proge ni večja od kategorije najšibkejšega elementa proge.

Postavi se tudi vprašanje, zakaj je v poročilu [10] dovoljena obtežba C4, v rezultatih moje analize pa most prenese šele obtežbo C2. To lahko pripišemo dejstvu, da so včasih notranje statične količine računali na drugačen način, saj so konstrukcijo modelirali v več fazah, vsak konstrukcijski sistem je imel namreč svoj model (slika 3.7). Niso še namreč imeli računalniških orodij, ki bi omogočala računanje celotne konstrukcije v 3D, kot to lahko naredimo danes. Včasih so tako vzdolžnike modelirali kot prostoležeče nosilce preko več polj, na katere so nanесли obtežbo. Prečnike so modelirali kot prostoležeče nosilce, na katere so nanесли ustrezne sile, ki so ustrezale reakcijam pri računu vzdolžnikov. Primerjavo v izračunu notranjih statičnih količin prikažemo v poglavju 4.5.5.



Slika 3.7: Modeliranje konstrukcije posameznih konstrukcijskih sistemov

#### 3.4.4.2 Vertikalna in horizontalna obtežba

Vertikalna obtežba na vzdolžnika je sestavljena iz vpliva obravnavane obtežne sheme, prispevka horizontalnih sil v vertikalni smeri in dodatne vertikalne obtežbe zaradi ekscentričnosti tovora. Horizontalno obtežbo predstavlja prispevek centrifugalnih sil, ki nastanejo zaradi poteka železniške proge v radiju. Obremenitve so izračunane v poglavjih 3.4.4.2.1 in 3.4.4.2.2.

Horizontalne sile delujejo v smeri proti zunanemu delu mostu glede na radij, kar se odraža v dodatni

obremenitvi zunanjega vzdolžnika in razbremenitvi notranjega vzdolžnika (zunanji vzdolžnik je tisti, ki poteka po zunanji strani glede na radij proge, notranji poteka po notranji strani). Sile, ki nastanejo zaradi ekscentričnosti tovora, prav tako obremenjujejo oziroma razbremenjujejo vzdolžnika. Pri izračunu celotne vertikalne obtežbe na posamezen vzdolžnik te sile upoštevamo tako, da na zunanjem vzdolžniku prištejemo obremenitve zaradi horizontalnih sil in zaradi ekscentričnosti tovora, na zunanjem pa te obremenitve odštejemo. Takšen pristop je popolnoma ustrezen, če se upošteva, da vlak čez most vozi zmeraj s polno hitrostjo  $80 \text{ km/h}$  ali z reducirano hitrostjo  $30 \text{ km/h}$ .

Ko vlak prečka most z zelo nizko hitrostjo ali miruje na mostu, se obtežbi na zunanji in notranji vzdolžnik spremenita. V tem primeru obremenitve na posamezen vzdolžnik upoštevamo tako, da na zunanjega naložimo obremenitve obravnavane obtežne sheme in odštejemo obtežbo zaradi ekscentričnosti tovora. Pri notranjem upoštevamo obremenitve obtežne sheme in prištejemo obtežbo zaradi ekscentričnosti tovora. Za obremenitve zaradi ekscentričnosti pri nizkih hitrostih upoštevamo drugačno smer delovanja, saj predpostavimo, da se zaradi nadvišanja tirnic (različna višina vzdolžnikov) ves tovor nagne na notranjo stran krivine, kar se odraža v razbremenitvi zunanjega vzdolžnika in dodatni obremenitvi na notranji vzdolžnik. Centrifugalnih sil v tem primeru ne upoštevamo.

V preglednicah 3.8 in 3.9 so prikazane končne vrednosti obtežb za posamezen obtežni primer.

Preglednica 3.8: Obtežba pri  $V = 80 \text{ km/h}$

	Vertikalne sile				Horizontalne sile			
	Zunanji vzdolžnik		Notranji vzdolžnik		Zunanji vzdolžnik		Notranji vzdolžnik	
	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]	$Q_{tk}$ [kN]	$q_{tk}$ [kN/m]	$Q_{tk}$ [kN]	$q_{tk}$ [kN/m]
<i>C2</i>	142.38	45.56	57.62	18.44	16.80	5.38	16.80	5.38
<i>C4</i>	142.38	56.95	57.62	23.05	16.80	6.72	16.80	6.72
<i>LM71</i>	177.97	56.95	72.03	23.05	21.00	6.72	21.00	6.72

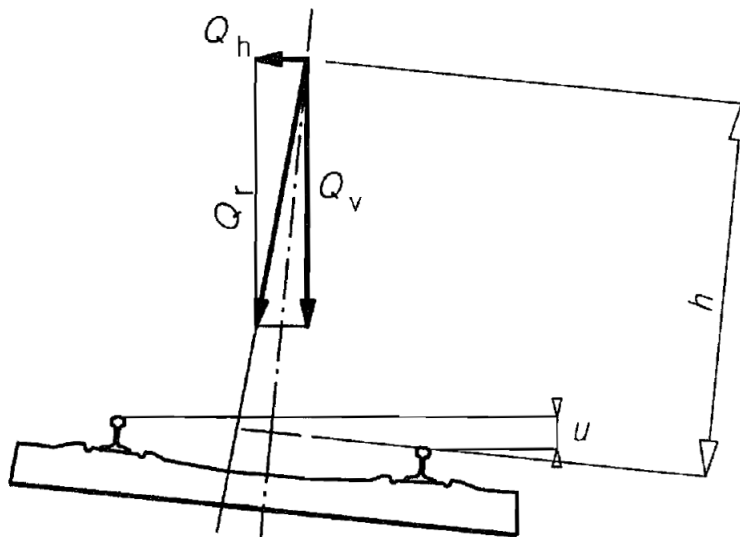
Preglednica 3.9: Obtežba pri  $V = 0 \text{ km/h}$

	Vertikalne sile			
	Zunanji vzdolžnik		Notranji vzdolžnik	
	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]
<i>C2</i>	91.14	29.17	108.86	34.83
<i>C4</i>	91.14	36.46	108.56	43.54
<i>LM71</i>	113.93	36.46	136.07	43.54

Takšno združevanje obremenitev je ustrezno, saj so posamezni varnostni faktorji odvisni od delovanja obtežbe v vertikalni oziroma horizontalni smeri (poglavje 3.4.5).

### 3.4.4.2.1 Horizontalne sile

Os nosilne konstrukcije mostu poteka v premi, medtem ko os železniške proge poteka preko njega v radiju  $R = 300 \text{ m}$ . Gibanje vlaka tako poleg vertikalne obtežbe povzroča tudi horizontalne (centrifugalne) sile  $Q_{tk}$  in  $q_{tk}$ , kot je prikazano na sliki 3.8. Standard [4] podaja še enačbi 3.3 in 3.4 za izračun vrednosti horizontalnih sil.



Slika 3.8: Vpliv centrifugalnih sil (vir: prirejeno po [4])

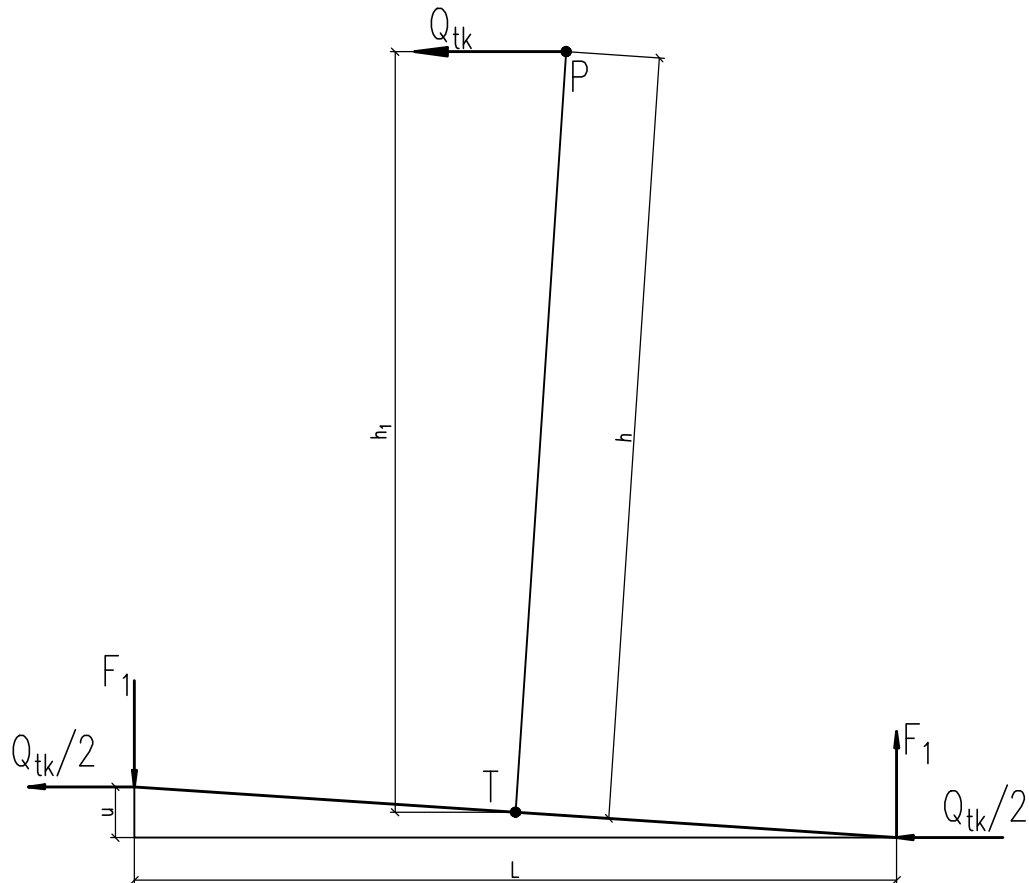
$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot Q_{vk}) \quad (3.3)$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot q_{vk}) \quad (3.4)$$

Uporabljene oznake:

- $Q_{tk}, q_{tk}$  : karakteristične vrednosti centrifugalnih sil [ $kN, kN/m$ ]
- $Q_{vk}, q_{vk}$  : karakteristične vrednosti vertikalnih obtežb brez upoštevanja dinamičnih faktorjev [ $kN, kN/m$ ]
- $v, V$  : največja hitrost vlakov [ $m/s, km/h$ ]
- $g$  : gravitacijski pospešek [ $9.81 \text{ m/s}^2$ ]
- $r$  : radij proge [ $m$ ]
- $f$  : redukcijski faktor, za hitrosti nižje od  $V = 120 \text{ km/h}$  je enak  $f = 1$
- $u$  : višina nadvišanja tirnic

Pri izračunu vpliva horizontalnih sil na posamezni vzdolžni nosilec si pomagamo s sliko 3.9. S premikom horizontalne sile  $Q_{tk}$  oziroma  $q_{tk}$  iz točke  $P$  v točko  $T$  dobimo dvojico sil  $F_1$ , ki nadomestita nastali moment zaradi premika. Sila  $F_1$  tako zmanjšuje obtežbo na notranji vzdolžni nosilec, na zunanjem pa jo povečuje. Premaknjeno horizontalno silo  $Q_{tk}$  oziroma  $q_{tk}$  nato enakomerno razdelimo na zunanji in notranji vzdolžni nosilec -  $Q_{tk}/2$ .



Slika 3.9: Skica delovanja centrifugalnih sil

Po standardu [4] prijemajo centrifugalne sile na sredini med obema tirnicama na višini  $h = 1.80 \text{ m}$ . Za primerjavo, iz kopij načrtov mostne konstrukcije iz leta 1905 je mogoče razbrati, da je bila v tistih časih višina prijemališča centrifugalnih sil  $h = 1.50 \text{ m}$ . Nadvišanje železniške proge  $u$  je na mostu urejeno z uporabo dveh različnih tipov vzdolžnih nosilcev. Nadvišanje je tako enako razliki višine obeh vzdolžnih nosilcev, ki ležita na razdalji  $L = 1.80 \text{ m}$ .

$$h_z = 720 \text{ mm}$$

$$h_n = 600 \text{ mm}$$

$$u = h_z - h_n = 720 \text{ mm} - 600 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = \frac{u}{L} = \frac{0.12 \text{ m}}{1.80 \text{ m}} \rightarrow \alpha = 3.81^\circ$$

$$M(Q_{tk}) = Q_{tk} \cdot h_1 = Q_{tk} \cdot h \cdot \cos \alpha = Q_{tk} \cdot 1.80 \text{ m} \cdot \cos(3.81^\circ) = 1.796 \text{ m} \cdot Q_{tk}$$

$$M(q_{tk}) = 1.796 \text{ m} \cdot q_{tk}$$

$$M = F_1 \cdot L \rightarrow F_1 = \frac{M}{L} = \frac{M}{1.80 \text{ m}}$$

$$F_1(Q_{tk}) = 0.9978 \cdot Q_{tk}$$

$$F_1(q_{tk}) = 0.9978 \cdot q_{tk}$$

(3.5)

Uporabljene oznake:

- $u$  : višina nadvišanja tirnic
- $h_z$  : višina zunanjega vzdolžnega nosilca
- $h_n$  : višina notranjega vzdolžnega nosilca
- $L$  : osna razdalja med vzdolžnima nosilcema
- $\alpha$  : kot nadvišanja tirnic
- $M$  : moment zaradi delovanja horizontalnih sil  $Q_{tk}$  in  $q_{tk}$
- $h$  : višina od nivoja tirnic do prijemališča horizontalnih sil
- $h_1$  : vertikalna komponenta višine  $h$
- $F_1$  : dvojica sil na vzdolžna nosilca, ki nastaneta zaradi delovanja horizontalnih sil  $Q_{tk}$  in  $q_{tk}$

Z enačbama 3.3 in 3.4 izračunamo vrednosti horizontalnih sil, z enačbo 3.5 pa določimo vertikalni vpliv horizontalnih sil na vzdolžna nosilca za vse tipe uporabljenih obtežnih shem. Rezultati so zbrani v preglednici 3.10.

Preglednica 3.10: Vpliv horizontalnih sil

	$Q_{tk}$ [kN]	$q_{tk}$ [kN/m]	$M(Q_{tk})$ [kNm]	$M(q_{tk})$ [kNm/m]	$F_1(Q_{tk})$ [kN]	$F_1(q_{tk})$ [kN/m]
C2	33.60	10.75	60.34	19.31	33.52	10.73
C4	33.60	13.44	60.34	24.14	33.52	13.41
LM71	41.99	13.44	75.42	24.14	41.90	13.41

#### 3.4.4.2.2 Sile zaradi ekscentričnosti vertikalne obtežbe

Vertikalna obtežba na tirnici ni nikoli enakomerna zaradi neenakomerne naloženosti vagonov in same lokomotive. Ravno zaradi tega pride do ekscentričnosti prijemališča vertikalne sile, kar pomeni različno obremenitev na notranjo in zunanjo tirnico. V standardu [4] je ekscentričnost  $e$  določena po enačbi 3.6 in je odvisna od medtirnične razdalje  $r = 1435 \text{ mm}$ .

$$e \leq \frac{r}{18} = \frac{1435 \text{ mm}}{18} = 80 \text{ mm} = 8 \text{ cm} \quad (3.6)$$

Glede na sliko 3.10 lahko izračunamo povečanje oziroma zmanjšanje sile na tirnico zaradi ekscentričnosti (upoštevamo največjo predvideno ekscentričnost) tovora po spodnjih enačbah.

$$\begin{aligned}
 e &= 8 \text{ cm} \\
 Q_{v1} + Q_{v2} &= 200 \text{ kN}; \quad q_{v1} + q_{v2} = 80 \text{ kN} \\
 M(Q_v) &= (Q_{v1} + Q_{v2}) \cdot e; \quad M(q_v) = (q_{v1} + q_{v2}) \cdot e \\
 F_1(Q_v) &= \frac{M(Q_v)}{L}; \quad F_1(q_v) = \frac{M(q_v)}{L}
 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Uporabljene oznake:

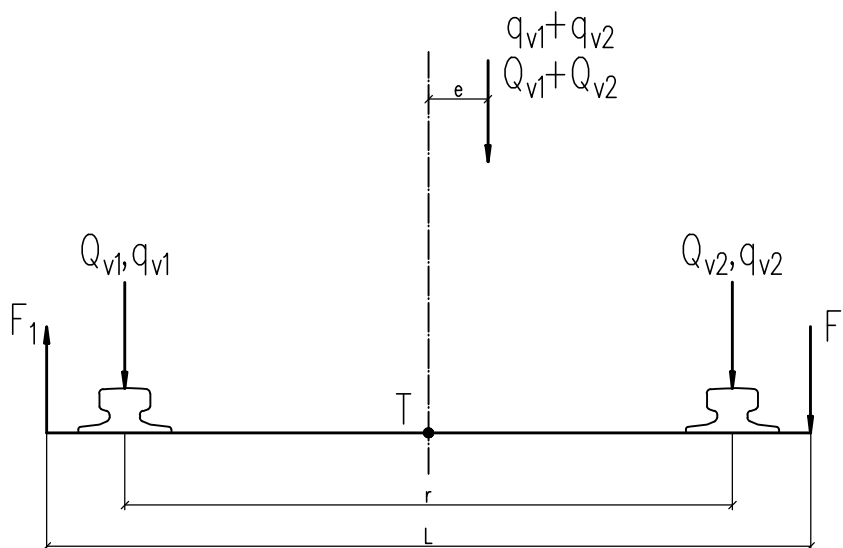
$e$  : ekscentričnost tovora

$Q_v, q_v$  : karakteristične vrednosti vertikalne obtežbe na os [ $kN, kN/m$ ]

$M$  : moment zaradi ekscentričnega delovanja vertikalne obtežbe  $Q_v$  in  $q_v$

$L$  : osna razdalja med vzdolžnima nosilcema

$F_1$  : dvojica sil na vzdolžna nosilca, ki nastaneta zaradi ekscentričnega delovanja vertikalne obtežbe  $Q_v$  in  $q_v$



Slika 3.10: Prikaz vpliva ekscentričnosti vertikalne obtežbe

Preglednica 3.11: Vpliv ekscentričnosti vertikalne obtežbe

	$M(Q_{tk})$ [kNm]	$M(q_{tk})$ [kNm/m]	$F_1(Q_{tk})$ [kN]	$F_1(q_{tk})$ [kN/m]
C2	15.94	5.10	8.86	2.83
C4	15.94	6.38	8.86	3.54
LM71	19.93	6.38	11.07	3.54

### 3.4.4.3 Obtežba za utrujanje

Na podlagi obtežnih primerov podanih v standardu [4] naredimo oceno utrujanja mostu. V standardu so podane kombinacije vlakov za standardni, lahek in težek promet, te so sestavljene iz obtežnih shem za posamezen tip vlakovne kompozicije. Ker je obravnavan most namenjen potniškemu in tovornemu prometu, uporabimo kombinacijo vlakov za standardni promet (preglednica 3.13). Skupni letni pretovor tako znaša 25 milijonov ton, kar je več od pretovora na trasi obravnavanega mostu. Podatkov za točno to progo sicer nismo uspeli pridobiti, vendar lahko glede na podatke pretovora med letoma 2008 in 2014 na trasah Koper–Šentilj in Jesenice–Dobova sklepamo, da se dejanski pretovor na trasi obravnavanega mostu v teh letih giblje okoli 10 milijonov ton letno, kar je ekvivalentno manj obremenjenim odsekom na

trasah Koper–Šentilj in Jesenice–Dobova (preglednica 3.12). Kolikšen je bil pretovor v celotni zgodovini mostu je težko sklepati, lahko pa predvidevamo, da se letno ni dvignil preko 10 milijonov ton. Ob sami izgradnji je bil verjetno bistveno manjši.

Po pregledu podatkov (preglednica D1 in D2) ugotovimo, da je bil največji pretovor praktično na vseh odsekih tras leta 2014, zato izračunamo pretovor na posameznem odseku glede na število tirov za leto 2014 (preglednica 3.12).

Preglednica 3.12: Pretovor na posameznem odseku tras Koper–Šentilj in Jesenice–Dobova

TRASA KOPER - ŠENTILJ			TRASA JESENICE-DOBOVA		
Odsek	Število tirov	Teža	Odsek	Število tirov	Teža
Maribor meja - Šentilj	1	9,888,099	Dobova meja - Dobova	2	3,101,237
Šentilj - Maribor	1	9,948,914	Dobova - Sevnica	2	4,933,411
Maribor - Trezno	2	7,401,727	Sevnica - Zidan Most	2	4,215,567
Trezno - Pragersko	2	8,292,477	Zidan Most - Lj. Zalog	1	26,879,779
Pragersko - Poljčane	2	10,123,784	Lj. Zalog - Lj. Moste	2	15,460,637
Poljčane - Grobelno	1	18,437,992	Lj. Moste - Ljubljana	2	16,166,313
Grobelno - Celje	2	11,771,102	Ljubljana - Lj. Šiška	2	7,891,484
Celje - Zidani Most	1	19,064,152	Lj. Šiška - Kranj	1	13,582,768
Zidani Most - Lj. Zalog	1	26,879,779	Kranj - Jesenice	1	12,434,424
Lj. Zalog - Lj. Moste	2	15,460,637	Jesenice - Jesenice meja	1	11,314,168
Lj. Moste - Ljubljana	2	16,166,313	<b>Max</b>		26,879,779
Ljubljana - Borovnica	2	15,588,163			
Borovnica - Postojna	2	16,448,626			
Postojna - Pivka	2	20,622,333			
Pivka - Divača	2	14,185,792			
Divača - Prešnica	1	31,447,695			
Prešnica - Koper	1	21,486,847			
<b>Max</b>		31,447,695			

Preglednica 3.13: Kombinacija vlakov za standardni promet (vir: prirejeno po [4])

Tip vlaka	Masa vlakov [t]	Osnovna kombinacija			Reducirana kombinacija	
		Število vlakov [n/dan]	Delež [%]	Letni pretovor [10 <sup>6</sup> t/leto]	Število vlakov [n/dan]	Letni pretovor [10 <sup>6</sup> t/leto]
1	663	12	0.18	2.90	5	1.21
2	530	12	0.18	2.32	5	0.97
3	940	5	0.07	1.72	2	0.69
4	510	5	0.07	0.93	2	0.37
5	2160	7	0.11	5.52	3	2.37
6	1431	12	0.18	6.27	5	2.61
7	1035	8	0.12	3.02	3	1.13
8	1035	6	0.09	2.27	2	0.76
Skupaj	/	67	1.00	24.95	27	10.10

Ker bomo upoštevali 10 milijonov ton letnega pretovora čez obravnavani most, moramo reducirati število vlakov osnovne kombinacije za standardni promet. Število prehodov za posamezen tip vlaka na dan reduciramo za 40% in tako dobimo kombinacijo vlakov, ki ustreza letnemu pretovoru 10 milijonov ton.

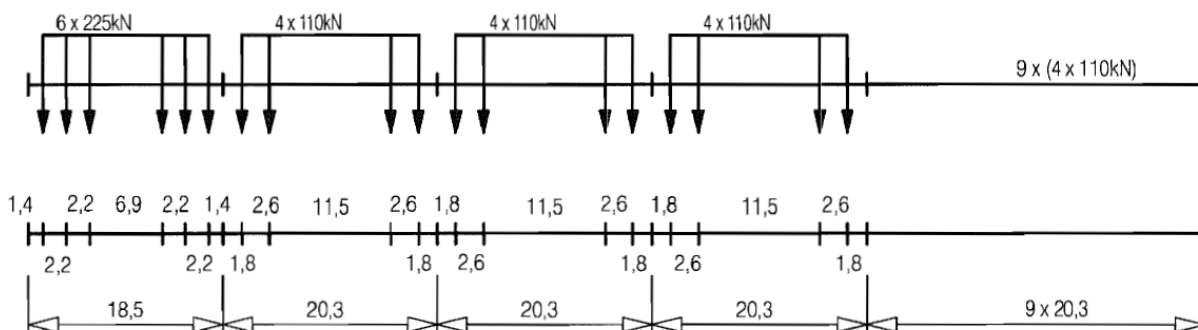
Kasneje, v poglavju 4.5.3, ugotovimo, da most ne zdrži obtežbe C4. Glede na to moramo spremeniti preglednico 3.13, saj obtežna shema tip 5 ( $80 \text{ kN/m}$ ) prekorači mejno vrednost obtežbe na most, ki je omejena z obtežno shemo C2 in je  $64 \text{ kN/m}$ . Pri kontroli utrujanja tako uporabimo kombinacijo vlakov, podano v preglednici 3.14.

Preglednica 3.14: Uporabljena kombinacija vlakov za standardni promet (vir: prirejeno po [4])

Tip vlaka	Masa vlakov [t]	Dodatno reducirana kombinacija		
		Število vlakov [n/dan]	Delež [%]	Letni pretovor [ $10^6 \text{ t/leto}$ ]
1	663	6	0.19	1.45
2	530	6	0.19	1.16
3	940	3	0.10	1.03
4	510	3	0.10	0.56
6	1431	6	0.19	3.13
7	1035	4	0.13	1.51
8	1035	3	0.10	1.13
Skupaj	/	31	1.00	9.98

Na slikah od 3.11 do 3.18 so prikazane uporabljene obtežne sheme za posamezno vlakovno kompozicijo, ki so bile upoštevane v primeru preverbe nosilnosti konstrukcije na utrujanje.

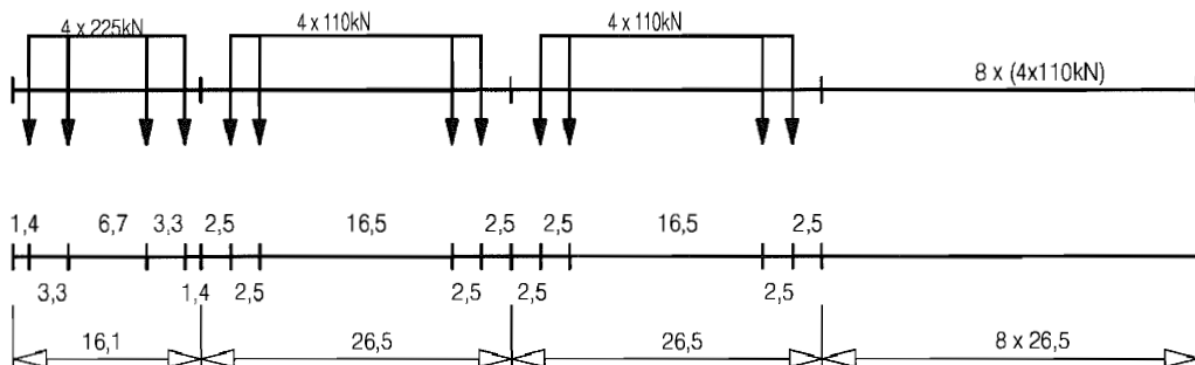
$$\Sigma Q = 6630 \text{ kN} \quad V = 200 \text{ km/h} \quad L = 262,10 \text{ m} \quad q = 25,3 \text{ kN/m'}$$



Slika 3.11: Obtežna shema tip 1 (vir: [4])

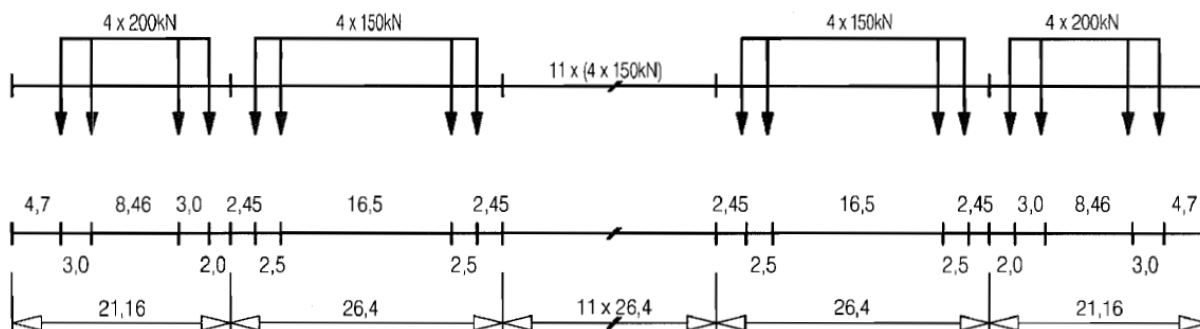


$$\Sigma Q = 5300\text{kN} \quad V = 160\text{km/h} \quad L = 281,10\text{m} \quad q = 18,9\text{kN/m'}$$



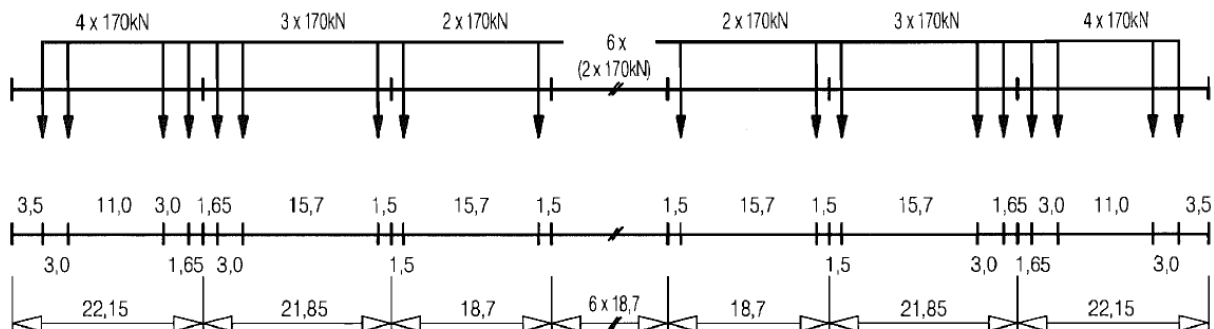
Slika 3.12: Obtežna shema tip 2 (vir: [4])

$$\Sigma Q = 9400\text{kN} \quad V = 250\text{km/h} \quad L = 385,52\text{m} \quad q = 24,4\text{kN/m'}$$



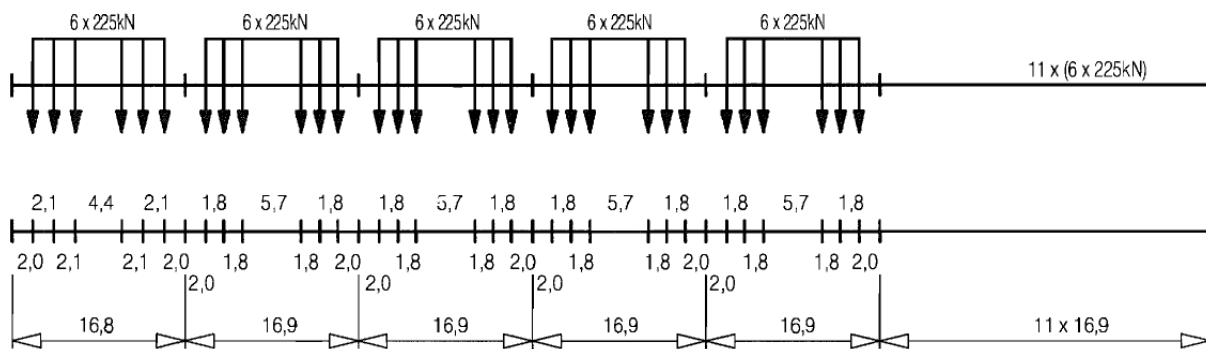
Slika 3.13: Obtežna shema tip 3 (vir: [4])

$$\Sigma Q = 5100\text{kN} \quad V = 250\text{km/h} \quad L = 237,60\text{m} \quad q = 21,5\text{kN/m'}$$



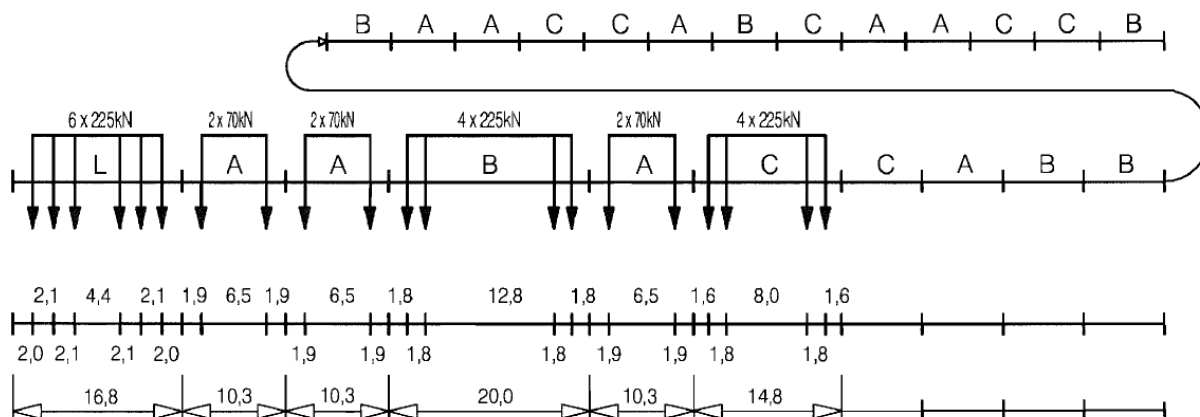
Slika 3.14: Obtežna shema tip 4 (vir: [4])

$\Sigma Q = 21600\text{kN}$   $V = 80\text{km/h}$   $L = 270,30\text{m}$   $q = 80,0\text{kN/m'}$



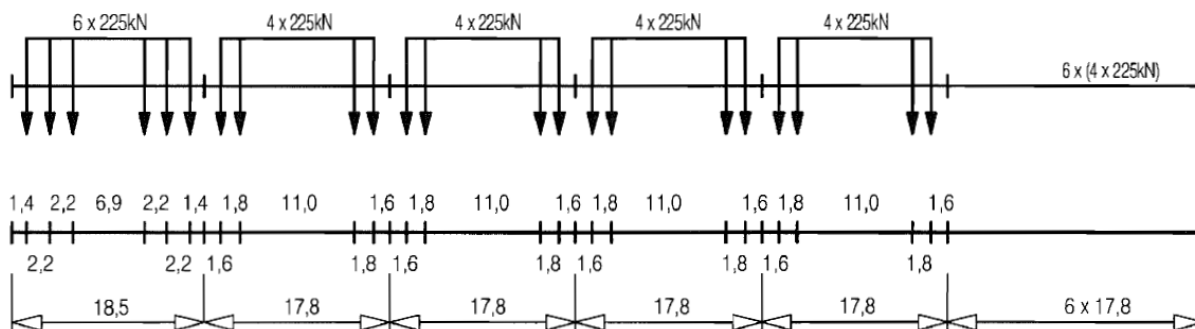
Slika 3.15: Obtežna shema tip 5 (vir: [4])

$\Sigma Q = 14310\text{kN}$   $V = 100\text{km/h}$   $L = 333,10\text{m}$   $q = 43,0\text{kN/m'}$



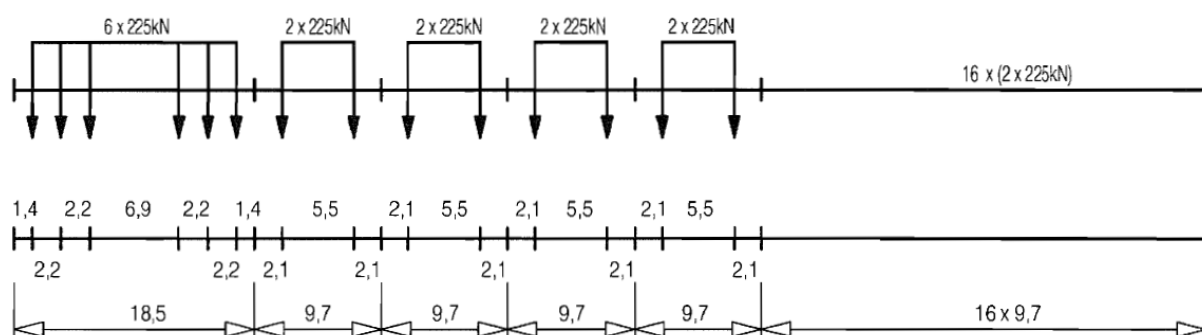
Slika 3.16: Obtežna shema tip 6 (vir: [4])

$\Sigma Q = 10350\text{kN}$   $V = 120\text{km/h}$   $L = 196,50\text{m}$   $q = 52,7\text{kN/m'}$



Slika 3.17: Obtežna shema tip 7 (vir: [4])

$$\Sigma Q = 10350\text{kN} \quad V = 100\text{km/h} \quad L = 212,50\text{m} \quad q = 48,7\text{kN/m}'$$



Slika 3.18: Obtežna shema tip 8 (vir: [4])

### 3.4.5 Kombinacije obtežb

#### Mejno stanje nosilnosti

Mejno stanje nosilnosti mostu preverjamo z dvema obtežnima kombinacijama, ki vključujeta vpliv lastne teže mostu, vpliv prometne obtežbe na železniškem mostu in vpliv horizontalnih sil zaradi železniške proge v krivini. Pri določevanju kombinacijskih faktorjev upoštevamo priporočila po standardu [4], preglednica 6.8. Pri tem upoštevamo faktor prometnih obremenitev  $\alpha = 1$  za standardni železniški promet, računsko hitrost  $V \leq 120 \text{ km/h}$  in priporočen redukcijski faktor  $f = 1$  za hitrosti manjše od  $120 \text{ km/h}$ . Iz tega sledi, da prispevek horizontalnih sil izračunamo glede na računsko hitrost vlakov na mostu  $V = 80 \text{ km/h}$  in jo kombiniramo s faktorjem  $\alpha = 1$  in redukcijskim faktorjem za hitrost  $f = 1$ . Prispevek vertikalne obtežbe prometa prav tako kombiniramo s faktorjema  $\alpha = 1$  in  $f = 1$ , dodatno še upoštevamo dinamični faktor  $\Phi_3$ , ki je različen za izračun obremenitev na posamezno skupino elementov konstrukcije.

Kombinacija MSN1 zajema vplive, ko vlak prečka most pri polni hitrosti  $V = 80 \text{ km/h}$ . Kombinacija MSN2 pa zajame vplive vlaka, ki prečka most s skoraj nično hitrostjo, zato je upoštevan dinamični faktor enak ena. Ko se računska hitrost zmanjša na  $V = 30 \text{ km/h}$ , kombinaciji ostaneta enaki. Spremenijo se samo vrednosti same obtežbe.

$$\begin{aligned} MSN1 &= 1.35 \cdot (Lastna + Stalna teža) + 1.5 \cdot \alpha \cdot f \cdot (Q_{tk} + q_{tk}) + \\ &1.5 \cdot \Phi_3 \cdot \alpha \cdot f \cdot (Q_{vk} + q_{vk}) = \\ &1.35 \cdot (Lastna + Stalna teža) + 1.5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (Q_{tk} + q_{tk}) + \\ &1.5 \cdot \Phi_3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (Q_{vk} + q_{vk}) \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$MSN2 = 1.35 \cdot (Lastna + Stalna teža) + 1.5 \cdot (Q_{vk} + q_{vk}) \quad (3.9)$$

Drugih obtežnih kombinacij, ki vključujejo delovanje vetra, temperature in drugih vplivov, za kontrolo mejnega stanja nosilnosti nismo kontrolirali, saj niso merodajne pri osnovni kontroli nosilnosti mostu in

pri izračunu preostale življenjske dobe mostne konstrukcije.

### **Utrujanje mostne konstrukcije**

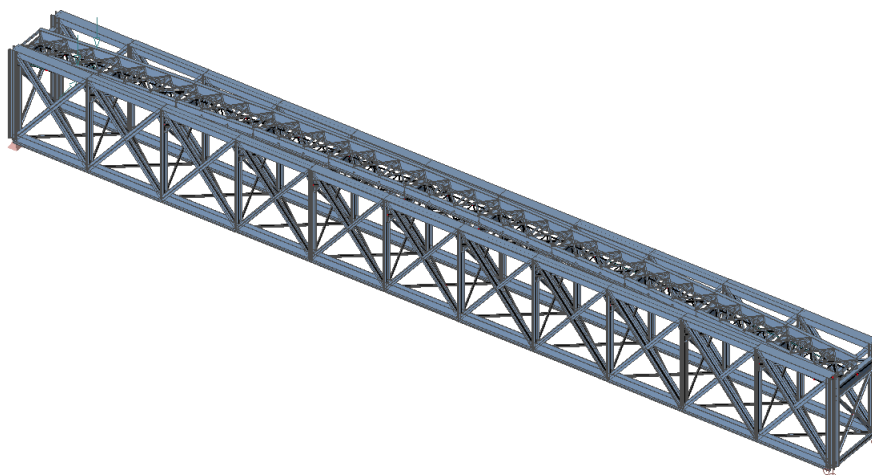
Za izračun vplivov utrujanja uporabimo obtežni kombinaciji FAT1 in FAT2. S kombinacijo FAT1 določimo osnovne vrednosti obremenitev v prerezu elementa, ki ga kontroliramo. S kombinacijo FAT2 določimo razliko notranjih statičnih količin v obravnavanem prerezu.

$$FAT1 = 1.0 \cdot (Lastna + Stalna teža) \quad (3.10)$$

$$FAT2 = 1.0 \cdot Obtežba vlakovne kompozicije \quad (3.11)$$

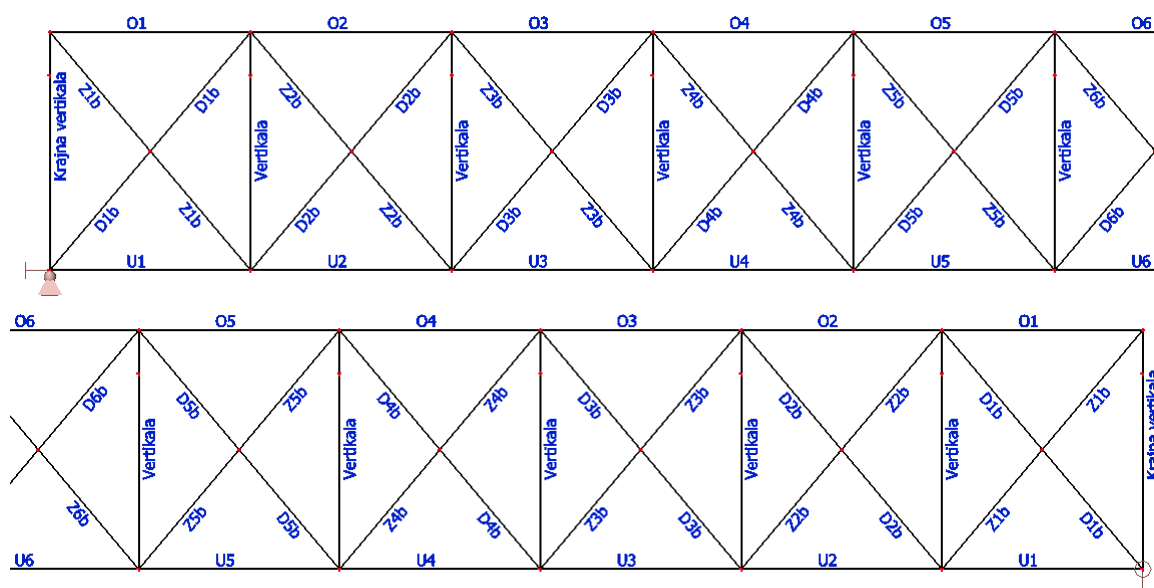
#### 4 ANALIZA MOSTNE KONSTRUKCIJE

Mostno konstrukcijo modeliramo v računalniškem programu Scia Engineer. Vsi mostni elementi so kovičeni in povezani med sabo preko dodatnih veznih pločevin, zato vse stike elementov modeliramo kot členke, saj se tako najbolj približamo dejanskemu stanju. Toge zveze med elementi ohranimo le med elementi v zgornjem in spodnjem pasu paličnih nosilcev in med elementi vzdolžnikov.

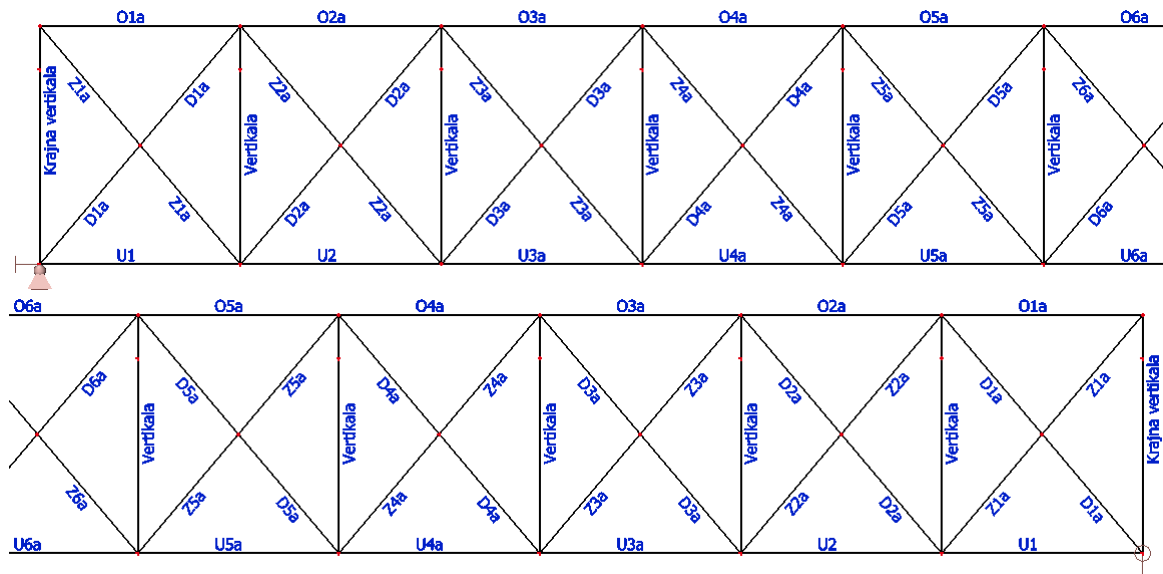


Slika 4.1: 3D-model v programu Scia Engineer

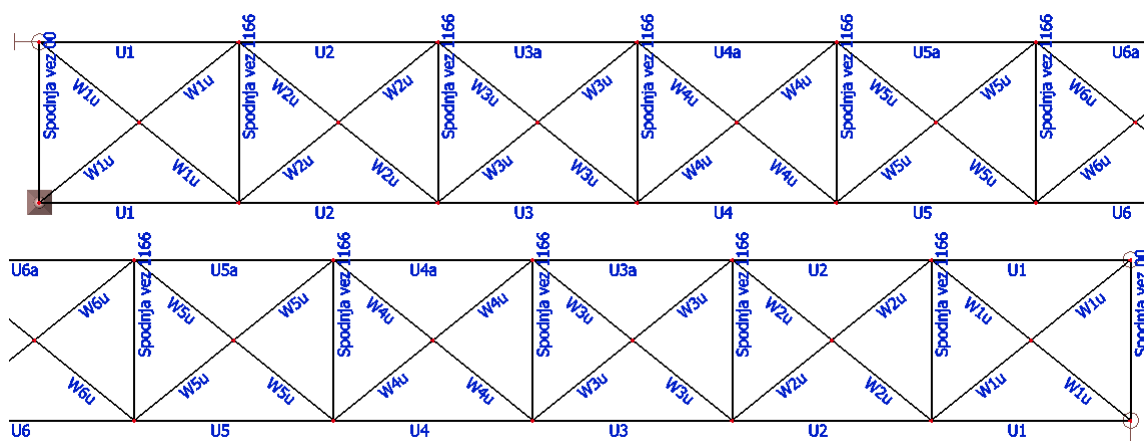
Na slikah od 4.2 do 4.8 je prikazana modelirana konstrukcija po elementih. Palična nosilca sta poimenovala glede na potek radija proge preko mostu. Na zunanji strani je zunanji palični nosilec, na notranji pa notranji palični nosilec. Enako velja za zunanji in notranji vzdolžnik.



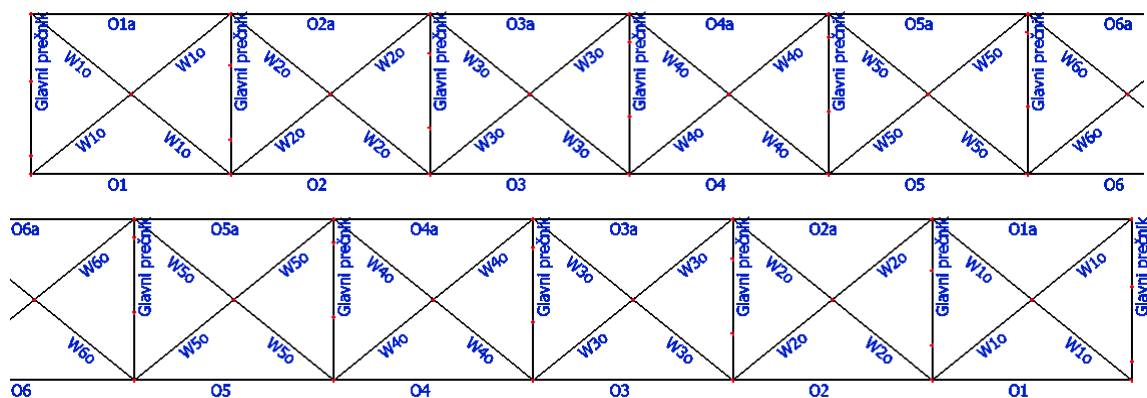
Slika 4.2: Pogled notranjega paličnega nosilca



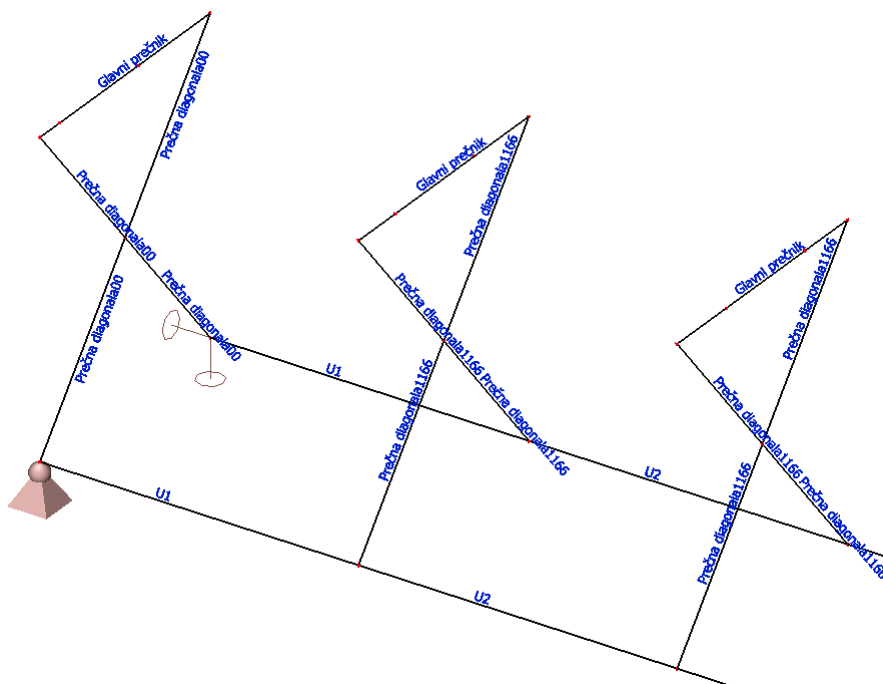
Slika 4.3: Pogled zunanjega paličnega nosilca



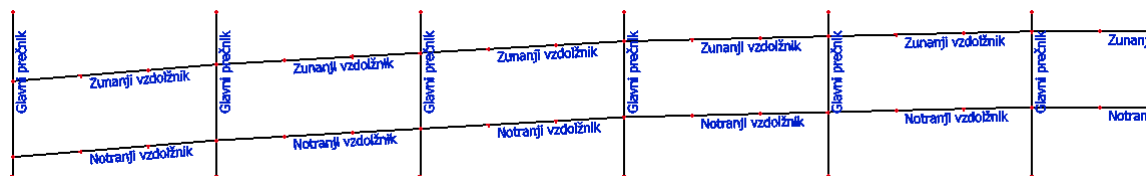
Slika 4.4: Tloris spodnjega povezja



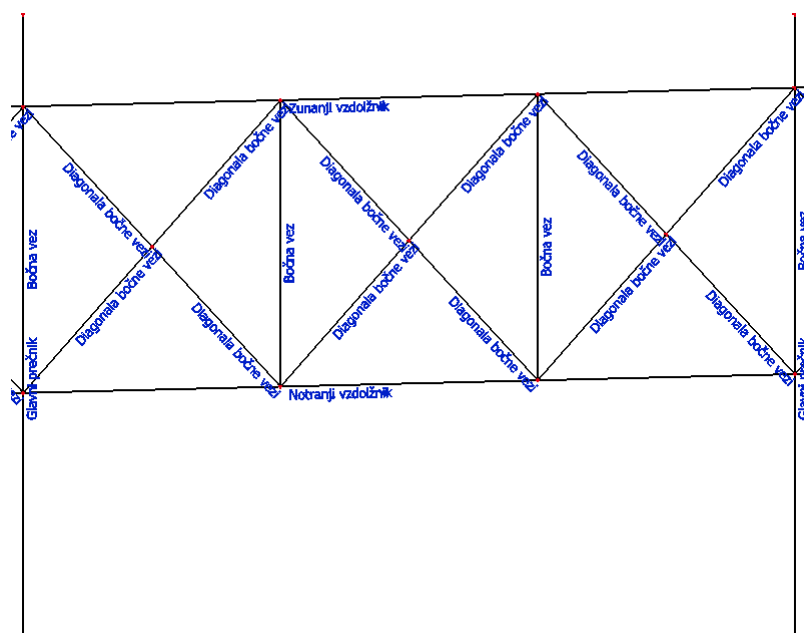
Slika 4.5: Tloris zgornjega povezja



Slika 4.6: Položaj prečnih diagonal



Slika 4.7: Tloris vzdolžnih nosilcev (druga polovica je simetrična)

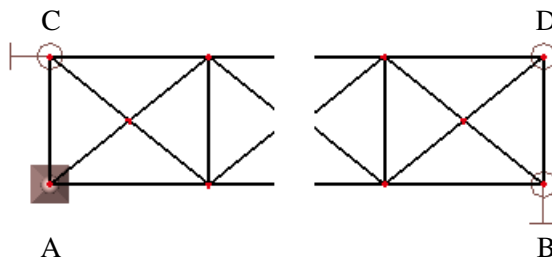


Slika 4.8: Tloris bočnih podpor in horizontalnega povezja bočnih podpor v petem polju

## 4.1 Posebnosti modeliranja

### 4.1.1 Način modeliranja podpor

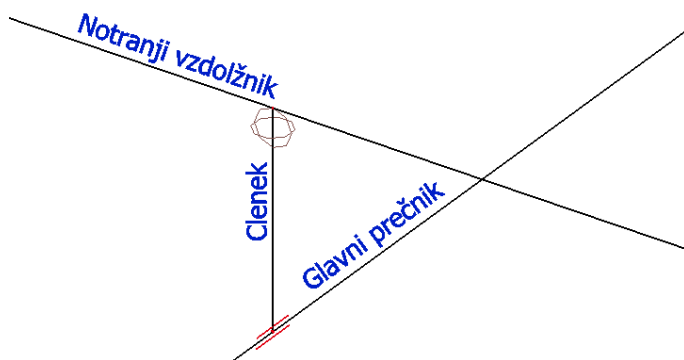
Podpore mostne konstrukcije v računalniškem modelu morajo zadovoljivo opisati realno stanje na objektu. Notranji palični nosilec A–B je na mestu A podprt z nepomično členkasto podporo, na mestu B je podprt v vertikalni smeri in v smeri prečno na most. Zunanji palični nosilec C–D je na mestu C podprt v vertikalni smeri in v vzdolžni smeri mostu, na mestu D je podprt samo v vertikalni smeri (slika 4.9).



Slika 4.9: Modeliranje podpor

### 4.1.2 Modeliranje stika med vzdolžnikom in glavnim prečnikom

Vzdolžnik je na glavni prečni nosilec pripet preko kovic. To pomeni, da stik deluje tako, da vzdolžniku preprečuje pomike v vseh treh smereh in zasuk okoli šibke osi, okoli močne in torzijske osi pa se lahko skoraj neovirano zavrti. Da bi čim realneje modelirali ta stik, smo dodali v model vmesni element višine 10 mm, ki je vpet v glavni prečnik, na mestu stika z vzdolžnim nosilcem pa je sproščen zasuk okoli močne osi in torzijski zasuk (slika 4.10). Sprva ga modeliramo kar s prečnim prerezom elementa O6a, saj hočemo zagotoviti dovolj togo povezavo.



Slika 4.10: Vmesni element (členek)

Glavni prečnik je v osnovi namenjen prenašanju vertikalne obtežbe, kar je razvidno iz originalnih statičnih izračunov, ki so vključeni v načrte iz leta 1905, in poročila [10]. Zaradi 3D modeliranja celotne konstrukcije v programu Scia Engineer, se zaradi vplivov delovanja celotne konstrukcije pojavijo v elementih dodatne obremenitve. Te pridejo najbolj do izraza pri glavnih prečnikih, kjer se pojavi relativno velik moment okoli šibke smeri. Ker vzdolžnik ni povsem členkasto pritrjen na prečnik, se ta moment v realni konstrukciji seveda pojavi. Vprašanje pa je, koliko je ta moment dejansko velik. Ker želimo, da se zmanjša, zmanjšamo strižne karakteristike ( $A_y$  in  $A_z$ ) prereza na numerično zadosten minimum. S tem dosežemo zmanjšanje momenta okrog šibke smeri, se pa poveča moment okoli močne.



## 4.2 Statična ali dinamična analiza

Preveriti moramo, ali zadostuje statična analiza mostne konstrukcije z uporabo dinamičnega faktorja  $\Phi$  ali je potrebno narediti dinamično analizo (slika C1). Obravnavana konstrukcija se razteza čez en razpon, je enostavno podprta, omejitev hitrosti vlakov je nižja od  $200 \text{ km/h}$ . To pomeni, da manjka še pogoj prve lastne frekvence v vertikalni smeri.

V standardu [4] je naveden pogoj spodnje in zgornje meje lastne frekvence, ki ju za obravnavan most izvednotimo glede na dolžino mostne konstrukcije  $L = 53.46 \text{ m}$ . Spodnjo in zgornjo mejo lastne frekvence izvednotimo po enačbah 4.1 in 4.2.

$$n_0 = 94.76 \cdot L^{-0.748} = 94.76 \cdot 53.46^{-0.748} = 2.24 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

$$n_0 = 23.58 \cdot L^{-0.592} = 23.58 \cdot 53.46^{-0.592} = 4.83 \text{ Hz} \quad (4.2)$$

Uporabljene oznake:

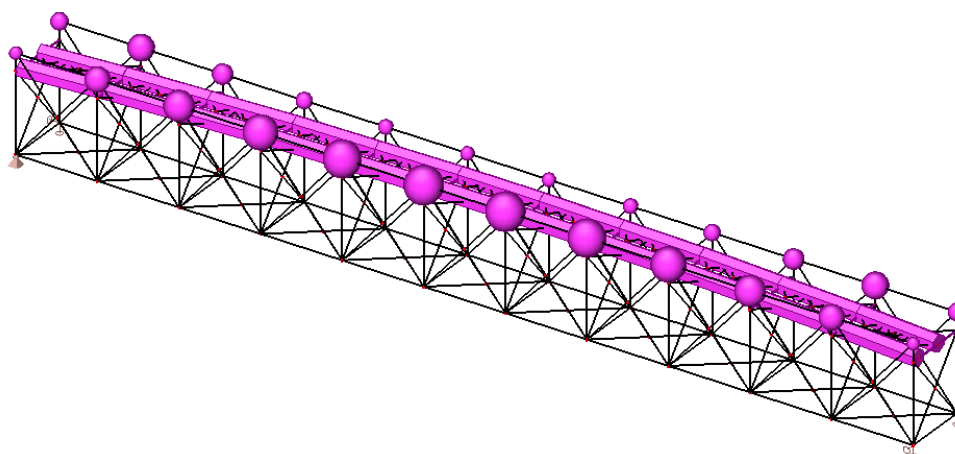
$n_0$  : prva lastna frekvenca mostu pri upoštevanju mase stalne obtežbe na mostu (lastna teža konstrukcije in dodatna stalna obtežba) [Hz]

$L$  : dolžina mostne konstrukcije (enostavno podprt most) [m]

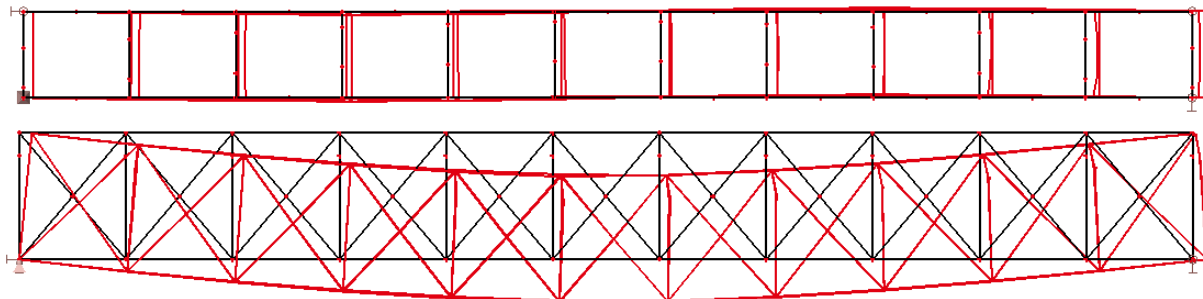
Prvo lastno frekvenco mostne konstrukcije v vertikalni smeri smo določili na tri načine: s prostorskim modelom konstrukcije z upoštevanjem lastne in stalne obtežbe, z ravninskim modelom z ustrežno upoštevanjem lastne in stalne obtežbe polovice mostne konstrukcije in z enačbo ocene frekvence za enostavno podprte mostne konstrukcije po standardu [4].

### Prostorski model

Uporabimo funkcijo programa Scia Engineer, da na model samodejno nanese maso (slika 4.11), ki ustreza dodatni stalni obtežbi na konstrukcijo in zaženemo modalno analizo. Ugotovimo, da je za prvo lastno frekvenco v vertikalni smeri merodajna 48. nihajna oblika s frekvenco 3.98 Hz, pri kateri se aktivira 32% mase v vertikalni smeri (slika 4.12).



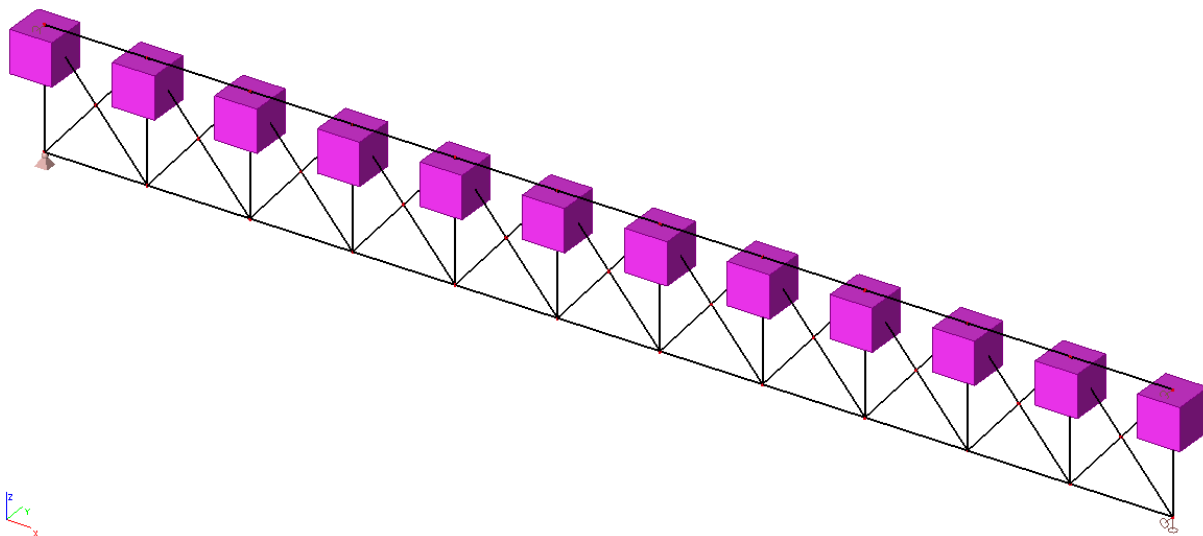
Slika 4.11: Upoštevana masa na 3D modelu



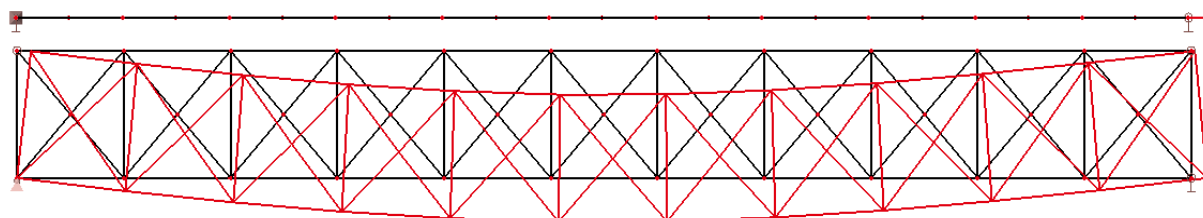
Slika 4.12: 39. nihajna oblika

### Ravninski model

Za dodatno kontrolo modeliramo še en posamezen vzdolžni palični nosilec. Spodaj ga podpremo kot prostoležeč nosilec, na vrhu prve in zadnje vertikalne paličnega nosilca dodamo bočne podpore za zagotavljanje stabilnosti, saj ga modeliramo v 3D modelu. Na vertikalne paličja na višini  $4.70\text{ m}$ , na višini priklopa prečnikov, nanesimo obtežbo  $38.30\text{ kN}$ , kar ustreza razliki do polovice skupne obtežbe celotne konstrukcije (lastna in dodatna stalna obtežba). To obtežbo ponovno pretvorimo v točkovne mase, kot je razvidno s slike 4.13. Zaženemo modalno analizo in iz rezultatov le-te razberemo, da je za prvo lastno frekvenco v vertikalni smeri merodajna 12. nihajna oblika s frekvenco  $4.01\text{ Hz}$ , pri kateri se aktivira  $72\%$  mase v vertikalni smeri (slika 4.14).



Slika 4.13: Upoštevana masa na 2D modelu



Slika 4.14: 12. nihajna oblika

## Ocena frekvence

V standardu [4] je v poglavju 6.4.4 podana enačba 4.3, s katero lahko izračunamo oceno prve vertikalne lastne frekvence. Odvisna je od povesa osrednjega dela konstrukcije zaradi vpliva lastne in stalne obtežbe.

$$n_0 = \frac{17.75}{\sqrt{\delta_0}} \quad (4.3)$$

Uporabljene oznake:

$n_0$  : prva lastna frekvenca mostu pri upoštevanju mase stalne obtežbe na mostu (lastna teža konstrukcije in dodatna stalna obtežba) [Hz]

$\delta_0$  : poves osrednjega dela konstrukcije zaradi vpliva lastne in stalne obtežbe [mm]

Iz prostorskega modela odčitamo na sredini razpona vertikalni pomik konstrukcije zaradi delovanja nefaktorirane kombinacije lastne in stalne obtežbe  $\delta_0 = 16.7 \text{ mm}$ . Vertikalni pomik na sredini ravninskega modela je ob delovanju enakih vplivov nekaj večji od pomika prostorskega modela in znaša  $\delta_0 = 17.7 \text{ mm}$ . Iz teh podatkov izračunamo po enačbi 4.3 približni vrednosti vertikalne frekvence mostu. V preglednici 4.1 so zbrane vrednosti vseh izračunanih frekvenc.

Preglednica 4.1: Primerjava vertikalnih frekvenc konstrukcije

	Izračunana frekvenca	Ocena frekvence	Mejni vrednosti	
Prostorski model	3.98 Hz	4.34 Hz	Zgornja	4.83 Hz
Ravninski model	4.01 Hz	4.22 Hz	Spodnja	2.24 Hz

Na podlagi teh izračunov zaključimo, da so vse izračunane vrednosti znotraj mejnih vrednosti, kar pomeni, da lahko mostno konstrukcijo analiziramo s statično analizo, pri kateri upoštevamo dinamične faktorje za posamezen konstrukcijski element. Nekaj večje odstopanje vrednosti nihajne frekvence je le pri prostorskem modelu.

## 4.3 Izračun kompaktnosti elementov

Za vsak prerez elementa izračunamo pripadajoč razred kompaktnosti po standardu [5]. Ker so prerezi elementov iz leta 1905 za sedanje standarde zelo netipični, vsi so namreč sestavljeni in so po dolžini elementa dodatno ojačani z različnimi pločevinami, je točna določitev razreda kompaktnosti nemogoča. Da ostanemo na varni strani, upoštevamo največja možna smiselna razmerja med dolžino in debelino posameznega dela sestavljenega prereza. Pri izračunu kompaktnosti prerezov upoštevamo, da je celoten prerez podvržen čistemu tlaku, saj smo tako na varni strani. Pogoji za posamezne razrede kompaktnosti je podan v preglednici 4.2.

Preglednica 4.2: Pogoji razredov kompaktnosti

Razred kompaktnosti	Notranji tlačeni deli	Previsni deli pasnic
1. RK	$c/t \leq 33 \cdot \varepsilon$	$c/t \leq 9 \cdot \varepsilon$
2. RK	$c/t \leq 38 \cdot \varepsilon$	$c/t \leq 10 \cdot \varepsilon$
3. RK	$c/t \leq 42 \cdot \varepsilon$	$c/t \leq 14 \cdot \varepsilon$
Kotniki		
3. RK	$h/t \leq 15 \cdot \varepsilon$	$(b + h)/(2 \cdot t) \leq 11.5 \cdot \varepsilon$
Kompaktnost v strigu		
Kompakten prerez	$h_w/t_w \leq 72 \cdot \varepsilon/\eta$	

Uporabljene oznake:

$c$  : višina stojine ali dolžina previsnega dela

$t$  : širina stojine ali previsnega dela

$h_w$  : višina stojine v strigu

$t_w$  : širina stojine v strigu

$\varepsilon$  : koeficient, glej enačbo 4.24

$\eta$  : faktor povečanja plastične strižne nosilnosti, upoštevamo  $\eta = 1$

Razredi kompaktnosti prerezov za posamezne elemente so zbrani v preglednicah 4.3 in 4.4. Kompaktnost elementov v strigu pa je določena v preglednici 4.5. Pri kompaktnosti prereza v strigu preverjamo samo tisti del prereza, ki pri kompaktnosti tlačnega prereza pade v 4. razred kompaktnosti. Pogoj kompaktnosti prereza v strigu je namreč manj strog od pogoja kompaktnosti tlačnega prereza. Ugotovimo, da imajo vsi prerezi kompaktne stojine v strigu, izjema je prerez prečnika. Vendar se pri izračunu v poglavju 4.6.1.3 izkaže, da ga lahko vseeno smatramo za kompaktnega v strigu.

Preglednica 4.3: Kompaktnost elementov sestavljenih iz kotnikov

Element	Dimenzije kotnikov			Razred kompaktnosti			
	b [cm]	h [cm]	t [cm]	h/t	(b+h)/(2-t)	Razred	
Diagonale notranjega paličnega nosilca	Z1b	10.0	15.0	1.3	11.54	9.62	3. RK
	Z2b	9.0	13.0	1.2	10.83	9.17	3. RK
	Z3b	9.0	13.0	1.0	13.00	11.00	3. RK
	Z4b	8.0	10.0	1.0	10.00	9.00	3. RK
	Z5b	8.0	10.0	0.8	12.50	11.25	3. RK
	Z6b	8.0	10.0	0.8	12.50	11.25	3. RK
	D1b	10.0	15.0	1.5	10.00	8.33	3. RK
	D2b	10.0	15.0	1.3	11.54	9.62	3. RK
	D3b	9.0	13.0	1.1	11.82	10.00	3. RK
	D4b	8.0	10.0	1.2	8.33	7.50	3. RK
	D5b	8.0	10.0	0.8	12.50	11.25	3. RK
	D6b	8.0	10.0	0.8	12.50	11.25	3. RK
Diagonale zunanjega paličnega nosilca	Z1a	10.0	15.0	1.5	10.00	8.33	3. RK
	Z2a	10.0	15.0	1.3	11.54	9.62	3. RK
	Z3a	9.0	13.0	1.3	10.00	8.46	3. RK
	Z4a	8.0	12.0	1.1	10.91	9.09	3. RK
	Z5a	8.0	10.0	1.0	10.00	9.00	3. RK
	Z6a	8.0	10.0	0.8	12.50	11.25	3. RK
	D1a	10.0	15.0	1.3	11.54	9.62	3. RK
	D2a	10.0	15.0	1.5	10.00	8.33	3. RK
	D3a	10.0	15.0	1.3	11.54	9.62	3. RK
	D4a	9.0	13.0	1.2	10.83	9.17	3. RK
	D5a	8.0	10.0	1.2	8.33	7.50	3. RK
	D6a	8.0	10.0	0.8	12.50	11.25	3. RK
Horizontalne diagonale spodaj (u) in zgoraj (o)	W1u	8.0	8.0	0.8	10.00	10.00	3. RK
	W2u	7.0	7.0	0.8	8.75	8.75	3. RK
	W1o	12.0	12.0	1.3	9.23	9.23	3. RK
	W2o	12.0	12.0	1.1	10.91	10.91	3. RK
	W3o	10.0	10.0	1.2	8.33	8.33	3. RK
	W4o	10.0	10.0	1.0	10.00	10.00	3. RK
	W5o	9.0	9.0	0.9	10.00	10.00	3. RK
	W6o	8.0	8.0	0.8	10.00	10.00	3. RK
Vezi	Spodnja vez00	8.0	8.0	0.8	10.00	10.00	3. RK
	Spodnja vez1166	7.0	7.0	0.8	8.75	8.75	3. RK
	Bočna vez	7.0	7.0	0.8	8.75	8.75	3. RK
Diagonala bočne vezi	7.0	7.0	0.8	8.75	8.75	3. RK	
Prečna diagonala00	10.0	10.0	1.2	8.33	8.33	3. RK	
Prečna diagonala1166	7.0	7.0	0.8	8.75	8.75	3. RK	

Preglednica 4.4: Kompaktnost sestavljenih elementov

Element	Notranji tlačni del				Zunanji previsni del				
	c [cm]	t [cm]	c/t	Razred	c [cm]	t [cm]	c/t	Razred	
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	31.8	0.9	35.33	2. RK	41.0	0.9	45.56	4. RK
	O2	27.6	1.9	14.33	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O3	27.6	2.8	9.77	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O4	27.6	3.7	7.41	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O5	27.6	4.6	5.97	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O6	27.6	4.6	5.97	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	31.8	1.1	28.91	1. RK	41.0	0.9	45.56	4. RK
	O2a	27.6	2.1	12.98	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O3a	27.6	3.2	8.56	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O4a	27.6	4.3	6.38	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O5a	27.6	5.4	5.09	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
	O6a	27.6	5.4	5.09	1. RK	41.0	1.8	22.78	4. RK
Zunanji vzdolžnik	54.0	1.0	54.00	4. RK	10.5	2.0	5.25	1. RK	
Notranji vzdolžnik	40.0	1.0	40.00	3. RK	9.0	2.0	4.50	1. RK	
Krajna vertikalna	12.6	0.9	13.94	1. RK	8.0	0.8	10.00	2. RK	
Vertikalna					10.0	0.8	12.50	3. RK	
Prečnik	62	0.9	68.89	4. RK	11.8	1.2	9.83	2. RK	
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	10.9	1.2	9.08	2. RK	40.0	0.9	44.44	4. RK
	U2	10.9	1.2	9.08	2. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U3	11.5	2.0	5.75	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U4	11.5	3.6	3.19	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U5	11.5	3.6	3.19	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U6	11.5	4.4	2.61	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	11.5	3.4	3.38	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U4a	11.5	4.5	2.56	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U5a	11.5	5.7	2.02	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK
	U6a	11.5	5.7	2.02	1. RK	40.0	1.8	22.22	4. RK

Preglednica 4.5: Kompaktnost elementov v strigu

Element	hw [cm]	tw [cm]	hw/tw	Razred	
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	41.0	0.9	45.6	Kompaktna stojina
	O2	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O3	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O4	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O5	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O6	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	41.0	0.9	45.6	Kompaktna stojina
	O2a	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O3a	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O4a	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O5a	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
	O6a	41.0	1.8	22.8	Kompaktna stojina
Zunanji vzdolžnik	54.0	1.0	54.0	Kompaktna stojina	
Notranji vzdolžnik	40.0	1.0	40.0	Kompaktna stojina	
Prečnik	62.0	0.9	68.9	Vitka stojina	
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	40.0	0.9	44.4	Kompaktna stojina
	U2	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U3	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U4	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U5	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U6	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U4a	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U5a	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina
	U6a	40.0	1.8	22.2	Kompaktna stojina

#### 4.4 Izračun geometrijskih karakteristik

Geometrijske karakteristike bruto prečnega prereza izračunamo glede na osnovne nominalne dimenzije brez upoštevanja lukenj za zakovice. Pri izračunu neto geometrijskih karakteristik se upošteva bruto površina, od katere se odšteje površina lukenj za zakovice. Sodelujoče geometrijske karakteristike izračunamo po standardu [6]. Sodelujoč prečni prerez za posamezni element izračunamo z enačbami od 4.4 do 4.9.

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c \quad (4.4)$$

Uporabljene oznake:

$A_{c,eff}$  : površina sodelujočega prečnega prereza

$\rho$  : faktor redukcije prečnega prereza

Faktor redukcije za pločevine, prečno podprte ob obeh vzdolžnih robovih:

$$\rho = 1; \quad \bar{\lambda}_p \leq 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \Psi} \quad (4.5)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055 \cdot 3 + \Psi}{\bar{\lambda}_p^2}; \quad \bar{\lambda}_p > 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \Psi} \quad (4.6)$$

Faktor redukcije za pločevine z enim prostim vzdolžnim robom:

$$\rho = 1; \quad \bar{\lambda}_p \leq 0.748 \quad (4.7)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.188}{\bar{\lambda}_p^2}; \quad \bar{\lambda}_p > 0.748 \quad (4.8)$$

Kjer je:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28.4 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (4.9)$$

Uporabljene oznake:

$\Psi$  : razmerje napetosti na robovih pločevin

$\bar{b}$  : ustrezna širina pločevine (preglednici 4.6 in 4.7)

$t$  : debelina pločevine

$\varepsilon$  : koeficient, glej enačbo 4.24

$k_\sigma$  : koeficient lokalnega izbočenja (preglednici 4.6 in 4.7)

Preglednica 4.6: Sodelujoča širina pri pločevinah, podprtih ob obeh vzdolžnih robovih (vir: [2])

razporeditev napetosti			sodelujoča širina $b_{eff}$			
			$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5b_{eff}$			
			$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$			
			$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot \bar{b}}{1-\psi}$ $b_{e1} = 0,4b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6b_{eff}$			
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi \geq 0$	0	$0 > \psi \geq -1$	-1	$-1 > \psi > 3$
$k_\sigma$	4,0	$\frac{8,2}{1,05+\psi}$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1-\psi)^2$

Preglednica 4.7: Sodelujoča širina pri pločevinah z enim prostim vzdolžnim robom (vir: [2])

razporeditev napetosti			sodelujoča širina $b_{eff}$		
			$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot c$		
			$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1-\psi}$		
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	0	-1	$-1 > \psi > -3$	
$k_\sigma$	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
			$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot c$		
			$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1-\psi}$		
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
$k_\sigma$	0,43	$0,578/(\psi+0,34)$	1,70	$1,7 - 5,0\psi + 17,1\psi^2$	23,8



Pri izračunu sodelujočih geometrijskih karakteristik ne upoštevamo velikosti napetosti, ki vplivajo na to, koliko prečnega prereza se pod obtežbo izboči in posledično nič ne prispeva k nosilnosti. V standardu [6] je podan računski postopek za določitev velikosti izbočenih delov prerezov, ki niso polno elastično obremenjeni. Odločimo se, da vpeljemo poenostavitev, da se zaradi minimalnih napetosti pri največji možni obremenitvi v nakaterih prerezih vitki deli ne izbočijo. Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik je v preglednicah podan za obtežbo C2. Zaradi ločenega izračuna sodelujočih geometrijskih karakteristik zaradi delovanja osne sile in obeh momentov so rezultati za obtežbo C2 in C4 enaki.

Pri elementih zgornjega in spodnjega pasu paličja določimo koeficient  $\Delta c$ . To je vrednost, za katero se skrajša previsni del prereza v 4. razredu kompaktnosti. Za novo geometrijo prereza določimo sodelujoče geometrijske parametre. Podani so v preglednicah od 4.8 in 4.11. Določimo še sodelujočo geometrijo prerezov za izračun kontrole bočne zvrnitve in potrebne geometrijske parametre, ki so podani v preglednici 4.12.

Preglednica 4.8: Geometrijske karakteristike elementov pasov paličja in pripadajoče obremenitve

Element	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_h$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$W_{el,y,zg}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,y,sp}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,z,levo}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,z,desno}$ [cm <sup>3</sup> ]	$N_{min}$ [kN]	$M_y$ [kNcm]	$M_z$ [kNcm]
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	195.72	195.72	47657	64987	3709	3868	3868	-569	1280	2093
	O2	335.64	335.64	85302	93054	5721	2370	5539	-1856	2739	-2615
	O3	391.44	391.44	96599	110930	7092	2530	6603	-2775	3918	-2758
	O4	447.24	447.24	106274	128803	8322	2662	7667	-3377	4557	-4102
	O5	503.04	503.04	114944	146678	9422	2776	8731	-3758	5573	-4564
	O6	503.04	503.04	114944	146678	9422	2776	8731	-3862	6074	-4564
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	208.12	208.12	49613	68959	4040	1278	4105	-641	-1202	2065
	O2a	348.04	348.04	87998	97026	6036	2410	5775	-2356	3534	-2721
	O3a	416.24	416.24	101060	118870	7656	2591	7076	-3598	4533	-3005
	O4a	484.44	484.44	112140	140720	9073	2739	8376	-4535	5590	-4495
	O5a	552.64	552.64	122120	162570	10288	2871	9677	-5106	7217	-5027
	O6a	552.64	552.64	122120	162570	10288	2871	9677	-5305	7605	-5027
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	135.12	135.12	33795	42068	1044	4429	1570	-1	1201	1073
	U1	135.12	104.76	33795	42068	1044	1917	1570	1048	1201	1073
	U2	270.24	212.40	67589	70539	2088	3834	2632	2400	2413	1089
	U3	307.04	242.16	78125	81465	2263	4802	2973	2909	3056	-635
	U4	380.64	301.68	95445	103320	2523	6551	3771	3528	3951	-907
	U5	380.64	301.68	95445	103320	2523	6551	3771	3855	4574	-908
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U6	417.44	331.44	102970	114240	2772	7329	4169	3976	5138	-893
	U3a	371.44	294.24	93470	100580	2495	6346	3671	3676	3777	-761
	U4a	422.04	335.16	103870	115610	2643	7419	4219	4595	5067	-1063
	U5a	477.24	379.80	114280	132000	2787	8459	4818	5134	6322	-1066
	U6a	477.24	379.80	114280	132000	2787	8459	4818	5286	6726	-1064

Preglednica 4.9: Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja (osna sila  $N$ )

Osna sila														
Element	Zunanji previsni del													
	$\sigma_{zg}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sp}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	c/t	RK	b [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_6$	$\lambda_{p}$	k	$\rho$	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Element	Zunanji previsni del													
	$\sigma_{zg}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sp}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	c/t	RK	b [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_6$	$\lambda_{p}$	k	$\rho$	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	-3.25	-3.25	45.56	4. RK	41.0	0.90	1.00	0.43	2.44	0.748	0.38	149.81	25.51
	O2	-5.53	-5.53	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	290.30	12.59
	O3	-7.09	-7.09	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	346.10	12.59
	O4	-7.55	-7.55	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	401.90	12.59
	O5	-7.47	-7.47	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	457.70	12.59
	O6	-7.68	-7.68	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	457.70	12.59
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	-3.08	-3.08	45.56	4. RK	41.0	0.90	1.00	0.43	2.44	0.748	0.38	162.21	25.51
	O2a	-6.77	-6.77	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	302.70	12.59
	O3a	-8.64	-8.64	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	370.90	12.59
	O4a	-9.36	-9.36	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	439.10	12.59
	O5a	-9.24	-9.24	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	507.30	12.59
	O6a	-9.60	-9.60	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	507.30	12.59
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	-0.01	-0.01	44.44	4. RK	40.0	0.90	1.00	0.43	2.38	0.748	0.39	90.95	24.54
	U1	7.76	7.76	44.44	4. RK								104.76	
	U2	8.88	8.88	22.22	4. RK								212.40	
	U3	9.47	9.47	22.22	4. RK								242.16	
	U4	9.27	9.27	22.22	4. RK								301.68	
	U5	10.13	10.13	22.22	4. RK								301.68	
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U6	9.52	9.52	22.22	4. RK								331.44	
	U3a	9.90	9.90	22.22	4. RK								294.24	
	U4a	10.89	10.89	22.22	4. RK								335.16	
	U5a	10.76	10.76	22.22	4. RK								379.80	
	U6a	11.08	11.08	22.22	4. RK								379.80	
														Prerez v nategu.
														Prerez v nategu.



Preglednica 4.11: Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja (moment  $M_z$ )

Moment $M_z$														
Element	Zunanji previsni del													
	$\sigma_{\text{levo}}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{\text{desno}}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	c/t	RK	b [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_5$	$\lambda_{\text{p}}$	k	$\rho$	$A_{\text{eff}}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Zunanji previsni del														
	$\sigma_{\text{levo}}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{\text{desno}}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	c/t	RK	b [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_5$	$\lambda_{\text{p}}$	k	$\rho$	$A_{\text{eff}}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	0.54	-0.54	45.56	4. RK	41.0	0.90	1.00	0.43	2.45	0.748	0.38	172.75	25.53
	O2	-0.47	0.47	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	312.90	12.63
	O3	-0.42	0.42	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	368.70	12.63
	O4	-0.54	0.54	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	424.50	12.63
	O5	-0.52	0.52	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	480.30	12.63
	O6	-0.52	0.52	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	480.30	12.63
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	0.50	-0.50	45.56	4. RK	41.0	0.90	1.00	0.43	2.45	0.748	0.38	185.15	25.53
	O2a	-0.47	0.47	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	325.30	12.63
	O3a	-0.42	0.42	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	393.50	12.63
	O4a	-0.54	0.54	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	461.70	12.63
	O5a	-0.52	0.52	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	529.90	12.63
	O6a	-0.52	0.52	22.78	4. RK	41.0	1.80	1.00	0.43	1.22	0.748	0.69	529.90	12.63
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	0.68	-0.68	44.44	4. RK	40.0	0.90	1.00	0.43	2.39	0.748	0.39	113.02	24.56
	U1	0.68	-0.68	44.44	4. RK								135.12	
	U2	0.41	-0.41	22.22	4. RK								270.24	
	U3	-0.21	0.21	22.22	4. RK								307.04	
	U4	-0.24	0.24	22.22	4. RK								380.64	
	U5	-0.24	0.24	22.22	4. RK								380.64	
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U6	-0.21	0.21	22.22	4. RK								417.44	
	U3a	-0.21	0.21	22.22	4. RK								371.44	
	U4a	-0.25	0.25	22.22	4. RK								422.04	
	U5a	-0.22	0.22	22.22	4. RK								477.24	
	U6a	-0.22	0.22	22.22	4. RK								477.24	

Preglednica 4.12: Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik elementov pasov paličja za kontrolo bočne zvrnitve

Element		N [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]	σ <sub>desno</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>levo</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	t <sub>w,c</sub> [cm]	2·t <sub>w,c</sub> /3 [cm]	A <sub>eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>eff,y</sub> [cm]	i <sub>r,y</sub> [cm]
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	-569	2093	-3.91	-1.91	31.8	21.2	93.09	23095	15.75
	O2	-1856	-2615	-4.66	-6.40	27.6	18.4	160.56	41223	16.02
	O3	-2775	-2758	-6.32	-7.86	27.6	18.4	184.32	46563	15.89
	O4	-3377	-4102	-6.56	-8.54	27.6	18.4	208.08	51231	15.69
	O5	-3758	-4564	-6.51	-8.44	27.6	18.4	231.84	55463	15.47
	O6	-3862	-4564	-6.71	-8.64	27.6	18.4	231.84	55463	15.47
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	-641	2065	-4.01	-2.15	31.8	21.2	98.09	24004	15.64
	O2a	-2356	-2721	-5.90	-7.64	27.6	18.4	165.84	42485	16.01
	O3a	-3598	-3005	-7.86	-9.43	27.6	18.4	194.88	48704	15.81
	O4a	-4535	-4495	-8.37	-10.35	27.6	18.4	223.92	54090	15.54
	O5a	-5106	-5027	-8.28	-10.20	27.6	18.4	252.96	58985	15.27
	O6a	-5305	-5027	-8.64	-10.56	27.6	18.4	252.94	58985	15.27
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	-1	-516	0.32	-0.34	0.0	0.0	67.56	16897	15.81
		N [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]	σ <sub>desno</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>levo</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	t <sub>w,c</sub> [cm]	2·t <sub>w,c</sub> /3 [cm]	A <sub>eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>eff,y</sub> [cm]	i <sub>r,y</sub> [cm]
	U1	Prerez v nategu.								
	U2									
	U3									
	U4									
	U5									
U6										
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	Prerez v nategu.								
	U4a									
	U5a									
	U6a									

Efektivne karakteristike izračunamo še za elemente prečnik, zunanji vzdolžnik, notranji vzdolžnik, vmesna vertikala in krajna vertikala. Vrednost spremenljivke  $\Delta c$  pri teh elementih pomeni, koliko je dolg nesodelujoči del stojine elementov. Sodelujoče geometrijske karakteristike so podane v preglednicah 4.13 in 4.14. Sodelujoče geometrijske karakteristike prerezov, ki so potrebne za izračun kontrole bočne zvrnitve po metodi tlačene pasnice, so podane v preglednici 4.15. Vrednost spremenljivke  $2 \cdot t_{w,c}/3$  pove višino sodelujočega dela stojine, ki se uporabi v izračunu sodelujočih geometrijskih karakteristik.

Preglednica 4.13: Geometrijske karakteristike prerezov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal s pripadajočimi obremenitvami

Element	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$W_{el,y,zg}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,y,sp}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,z,levo,n}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,z,desno,n}$ [cm <sup>3</sup> ]	$N_{min}$ [kN]	$M_y$ [kNcm]	$M_z$ [kNcm]
Zunanji vzdolžnik	182.00	166.00	163356	2727	27.00	27.00	0.50	0.50	6050	6050	5454	5454	-278	33084	1057
Notranji vzdolžnik	184.00	168.00	119321	3891	20.00	20.00	0.50	0.50	5966	5966	7782	7782	-561	25539	1561
Prečnik	205.44	191.04	227398	6139	24.36	37.64	0.45	0.45	9335	6041	13642	13642	-1	52284	7117
Vmesna vertikala	55.04	48.64	22496	1235	26.00	26.00	10.45	10.45	865	865	118	118	-158	1207	1414
Krajna vertikala	235.92	/	76992	45443	26.50	26.50	25.00	25.00	2905	2905	1818	1818	-156	453	15652

Preglednica 4.14: Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik prerezov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

Element	Osna sila		Notranji element										
	$\sigma_{zg}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sp}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	RK	$\bar{b}$ [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_{\delta}$	$\bar{\lambda}_p$	k	$\rho$	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Zunanji vzdolžnik	-1.53	-1.53	4RK	54.00	1.00	1.00	1.00	4.00	0.951	0.673	0.81	171.66	10.34
Notranji vzdolžnik	-3.05	-3.05	3RK	Ni redukcije.									
Prečnik	Prerez vedno v nategu.												
Vmesna vertikala	/	/	/	Ni redukcije.									
Krajna vertikala	/	/	3RK	Ni redukcije.									

Element	Moment $M_y$		Notranji element										
	$\sigma_{zg}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sp}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	RK	$\bar{b}$ [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_{\delta}$	$\bar{\lambda}_p$	k	$\rho$	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Zunanji vzdolžnik	-5.47	5.47	4RK	54.00	1.00	1.00	-1.00	23.92	0.389	0.874	1.00	Ni redukcije.	
Notranji vzdolžnik	-4.28	4.28	3RK	Ni redukcije.									
Prečnik	-5.60	8.65	4RK	62.00	0.90	1.00	-1.55	38.74	0.390	0.912	1.00	Ni redukcije.	
Vmesna vertikala	/	/	/	Ni redukcije.									
Krajna vertikala	/	/	3RK	Ni redukcije.									

Element	Moment $M_z$		Notranji element										
	$\sigma_{levo}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{desno}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	RK	$\bar{b}$ [cm]	t [cm]	$\epsilon$	$\psi$	$k_{\delta}$	$\bar{\lambda}_p$	k	$\rho$	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]
Zunanji vzdolžnik	-0.19	0.19	4RK	Ni redukcije, premajhne napetosti.									
Notranji vzdolžnik	-0.20	0.20	3RK	Ni redukcije.									
Prečnik	-0.52	0.52	4RK	Ni redukcije, premajhne napetosti.									
Vmesna vertikala	/	/	/	Ni redukcije.									
Krajna vertikala	/	/	3RK	Ni redukcije.									

Preglednica 4.15: Izračun sodelujočih geometrijskih karakteristik prerezov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal za kontrolo bočne zvrnitve

Element	N [kN]	$M_y$ [kNm]	$\sigma_{zg}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sp}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$t_{w,c}$ [cm]	$2 \cdot t_{w,c} / 3$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$l_{eff,z}$ [cm]	$i_{f,z}$ [cm]
Zunanji vzdolžnik	-278	33084	-7.09	3.85	21.8	14.6	71.23	1362	4.37
Notranji vzdolžnik	-561	25539	-7.33	1.23	40.0	26.7	85.3	1945	4.78
Prečnik	-1	52284	-5.62	8.67	33.6	22.4	94.70	4165	6.63
Vmesna vertikala	-158	1207	-4.27	-2.31	0.0	0.0	27.52	618	4.74
Krajna vertikala	-156	453	-0.82	-0.51	0.0	0.0	117.96	22721	13.88

#### 4.5 Kontrola mejnega stanja nosilnosti mostu

V preglednici 4.16 so zbrani vsi uporabljeni varnostni faktorji pri kontroli nosilnosti prereзов in materialne karakteristike, ki jih določimo na podlagi podatkov v poglavju 3.2.

Preglednica 4.16: Materialne karakteristike in delni varnostni faktorji

<i>S</i> 235		Varnostni faktorji	
$f_y$	23.5 kN/cm <sup>2</sup>	$\gamma_{M0}$	1.05
$f_u$	34.0 kN/cm <sup>2</sup>	$\gamma_{M1}$	1.05
		$\gamma_{M2}$	1.20

Kontrole nosilnosti in stabilnosti naredimo za vsak tip prečnega prereza oziroma elementa. Začetno analizo naredimo na kombinaciji največjih notranjih statičnih količin. Iz rezultatov analize odčitamo največjo vrednost posamezne notranje statične količine, ki se pojavi v kateremkoli elementu z obravnavanim prečnim prerezom. Pri kontroli stabilnosti upoštevamo enako kombinacijo notranjih statičnih količin in njihov najbolj neugoden potek po elementu. Takšen način preverbe je v principu napačen, saj se v posamezni točki izbranega prečnega prereza hkrati nikoli ne pojavijo vse največje ali najmanjše vrednosti notranjih statičnih količin. Ne glede na to so rezultati preverb na varni strani, poleg tega pa na takšen način pohitrimo analizo, saj ne iščemo kritičnega prereza posameznega elementa glede nosilnosti ali kritičnega elementa glede stabilnosti.

V primeru, ko preverbe nosilnosti in stabilnosti za posamezen prerez oziroma element pokažejo, da je izkoriščenost večja od ena, izvedemo natančnejšo analizo. Poiščemo najbolj obremenjen prerez posameznega elementa, v katerem odčitamo pripadajoče notranje statične količine. Glede na te natančnejše vrednosti in sam potek notranjih statičnih količin izračunamo dejansko izkoriščenost prereza in stabilnost elementa.



#### 4.5.1 Kontrola nosilnosti paličnih elementov

Za palične elemente konstrukcije izvedemo kontrolo nosilnosti na osno silo. Pri tlačnih elementih upoštevamo pri kontroli nosilnosti bruto prerez, v primeru, da je element v 4. razredu kompaktnosti, pa sodelujoči prerez. Izkaže se, da pri tlaku upoštevamo vedno samo bruto prerez, saj noben izmed elementov ni v 4. razredu kompaktnosti. Enako velja za kontrolo upogibnega uklona, pri kateri na bruto prerezu kontroliramo samo uklon okoli šibke osi. Pri nateznih elementih izvedemo izračun nosilnosti prereza za bruto in neto prerez ter uporabimo najmanjšo nosilnost prereza za merodajno. V kontrolah uporabimo enačbe podane v standardu [5].

##### 4.5.1.1 Kontrola natezne osne sile

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0; \quad N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) \quad (4.10)$$

Projektna nosilnost bruto prereza:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \quad \text{vsi razredi kompaktnosti} \quad (4.11)$$

Projektna nosilnost neto prereza:

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}; \quad \text{vsi razredi kompaktnosti} \quad (4.12)$$

Uporabljene oznake:

- $N_{Ed}$  : projektna osna sila
- $N_{t,Rd}$  : merodajna projektna nosilnost prereza na natezno osno silo
- $N_{pl,Rd}$  : projektna nosilnost bruto prereza na natezno osno silo za vse razrede kompaktnosti
- $N_{u,Rd}$  : projektna nosilnost neto prereza na natezno osno silo za vse razrede kompaktnosti
- $A$  : bruto prečni prerez elementa
- $A_{net}$  : neto prečni prerez elementa

##### 4.5.1.2 Kontrola tlačne osne sile

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (4.13)$$

Projektna nosilnost bruto prereza:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \quad 1., 2., 3. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.14)$$

Projektna nosilnost sodelujočega prereza:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \quad 4. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.15)$$

Uporabljene oznake:

$N_{c,Rd}$  : projektna nosilnost prereza na tlačno osno silo

$A_{eff}$  : sodelujoč prečni prerez elementa

#### 4.5.1.3 Kontrola upogibnega uklona

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (4.16)$$

Projektna uklonska nosilnost elementa na bruto prerezu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}; \quad 1., 2., 3. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.17)$$

Projektna uklonska nosilnost elementa na sodelujočem prerezu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}; \quad 4. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.18)$$

Uporabljene oznake:

$N_{b,Rd}$  : projektna uklonska nosilnost elementa na tlačno osno silo

$\chi$  : brezdimenzionalna odpornost proti uklonu

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}; \quad \chi \leq 1.0 \quad (4.19)$$

$$\Phi = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2) \quad (4.20)$$

Uporabljene oznake:

$\bar{\lambda}$  : brezdimenzijska vitkost

$\alpha$  : faktor nepopolnosti

Brezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr} \cdot 1}{i \cdot \lambda_1}; \quad 1., 2., 3. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.21)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{i \cdot \lambda_1}; \quad 4. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.22)$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \cdot \varepsilon \quad (4.23)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1; \quad f_y [N/mm^2] \quad (4.24)$$

Uporabljene oznake:

$N_{cr}$  : elastična kritična uklonska sila bruto prereza

$L_{cr}$  : uklonska dolžina

$i$  : vztrajnostni radij bruto prereza

#### 4.5.2 Kontrola nosilnosti elementov na osno silo, upogibni moment in prečno silo

Kontroliramo še elemente, ki so obremenjeni z osno silo, prečno silo in upogibnim momentom. Ugotovimo lahko, da je pri nekaterih elementih prečna sila zanemarljivo majhna, zato lahko za te elemente naredimo nekaj kontrol manj. Preverimo samo natezno in tlačno osno silo (poglavji 4.5.1.1 in 4.5.1.2), kontrolo enoosnega upogiba, kontrolo enoosnega uklona v šibki smeri (poglavje 4.5.1.3), kontrolo striga ter kontrolo interakcije med osno silo in upogibnim momentom. Elemente, pri katerih prečna sila ni več zanemarljiva, preverimo še na interakcijo osne sile, prečne sile in upogibnega momenta. Vse kontrole izvedemo v skladu s standardom [5].

##### 4.5.2.1 Kontrola striga

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (4.25)$$

Projektna plastična strižna nosilnost prereza:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}; \quad \text{kompaktni prerezi v strigu} \quad (4.26)$$

Uporabljene oznake:

- $V_{Ed}$  : projektna prečna sila  
 $V_{pl,Rd}$  : projektna plastična strižna nosilnost prereza  
 $A_v$  : ploščina strižnega prereza

Pri izračunu ploščine strižnega prereza elementov smo upoštevali prerez pločevine, ki predstavlja stojino elementa. Kjer stojina ni očitna, pa smo upoštevali prerez tistega kraka kotnika, ki je usmerjen v smeri delovanja prečne sile.

#### 4.5.2.2 Kontrola enoosnega upogiba

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (4.27)$$

Projektna plastična odpornost prereza na enoosni upogib:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \quad 1., 2. \text{ razred kompaktnosti} \quad (4.28)$$

Projektna elastična odpornost prereza na enoosni upogib:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \quad 3. \text{ razred kompaktnosti}^1 \quad (4.29)$$

Projektna elastična odpornost sodelujočega prereza na enoosni upogib:

$$M_{c,Rd} = M_{eff,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \quad 4. \text{ razred kompaktnosti}^1 \quad (4.30)$$

Uporabljene oznake:

- $M_{Ed}$  : projektni upogibni moment  
 $M_{c,Rd}$  : projektna upogibna odpornost prereza  
 $W_{pl}$  : plastični odpornostni moment prereza  
 $W_{el}$  : elastični odpornostni moment prereza  
 $W_{eff}$  : elastični odpornostni moment sodelujočega prereza

#### 4.5.2.3 Kontrola bočne zvrnitve

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (4.31)$$

<sup>1</sup> $W_{el,min}$  in  $W_{eff,min}$  sta izračunana za vlakno z največjo elastično napetostjo

Projektna odpornost elementa na bočno zvrnitev:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.32)$$

$$W_y = \begin{cases} W_y = W_{pl,y}; & 1. \text{ in } 2. \text{ razred kompaktnosti} \\ W_y = W_{el,y}; & 3. \text{ razred kompaktnosti} \\ W_y = W_{eff,y}; & 4. \text{ razred kompaktnosti} \end{cases} \quad (4.33)$$

Uporabljene oznake:

$M_{b,Rd}$  : projektna odpornost elementa na bočno zvrnitev

$\chi_{LT}$  : brezdimenzionalna odpornost proti bočni zvrnitvi

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}; \quad \chi_{LT} \leq 1.0 \quad (4.34)$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) \quad (4.35)$$

Brezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad (4.36)$$

Uporabljene oznake:

$\bar{\lambda}_{LT}$  : brezdimenzijska vitkost bočne zvrnitve

$\alpha_{LT}$  : faktor nepopolnosti bočne zvrnitve

$M_{cr}$  : elastični kritični moment bočne zvrnitve

Težava nastane pri izračunu elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve, saj enostavne enačbe za določanje slednjega veljajo le za dvojnosiometrične prereze. Ker vsi prerezi, ki jih kontroliramo na bočno zvrnitev, niso dvojnosiometrični (elementi zgornjega in spodnjega pasu paličnih nosilcev), raje uporabimo poenostavljeno metodo preverjanja bočne zvrnitve (metoda tlačene pasnice). Pri njej se upošteva, da pri elementih, ki imajo bočno podprto tlačeno pasnico, ni nevarnosti bočne zvrnitve v primeru, ko je izpolnjen pogoj:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{f,z} \cdot \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad (4.37)$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0.1 = 0.4 + 0.1 = 0.5 \quad (4.38)$$

Uporabljene oznake:

$\bar{\lambda}_f$  : vitkost tlačene pasnice

$k_c$  : korekcijski faktor, ki upošteva potek momentov vzdolž elementa (slika 4.15)









$L_c$  : razmak med sosednjima bočnima podporama

$i_{f,z}$  : vztrajnostni polmer nadomestnega elementa v tlaku, pri katerem se upošteva vpliv tlačene pasnice in tretjine tlačenelega dela stojine, izračuna se okoli šibke osi

$\lambda_1$  : po enačbi 4.23

$M_{c,Rd}$  : projektna odpornost na upogibni moment, upoštevan  $W_y$  glede na enačbo 4.33

$M_{y,Ed}$  : največja projektna vrednost upogibnega momenta okoli močne osi

Razporeditev momentov	$k_c$
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Slika 4.15: Korekcijski faktor  $k_c$  (vir: [5])

#### 4.5.2.4 Kontrola interakcije med osno silo in upogibnim momentom

Kontrolo interakcije med osno silo in upogibnim momentom opravimo samo za elemente, pri katerih je prečna sila zanemarljiva - izkoriščenost nosilnosti prereza na prečno silo je veliko manjša od 0.5.

Prečni prerezi elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (elementi z oznakama O in U) spadajo v 4. razred kompaktnosti, zato za te prereze naredimo samo kontrolo napetosti po enačbi:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y,min} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z,min} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (4.39)$$

Uporabljene oznake:

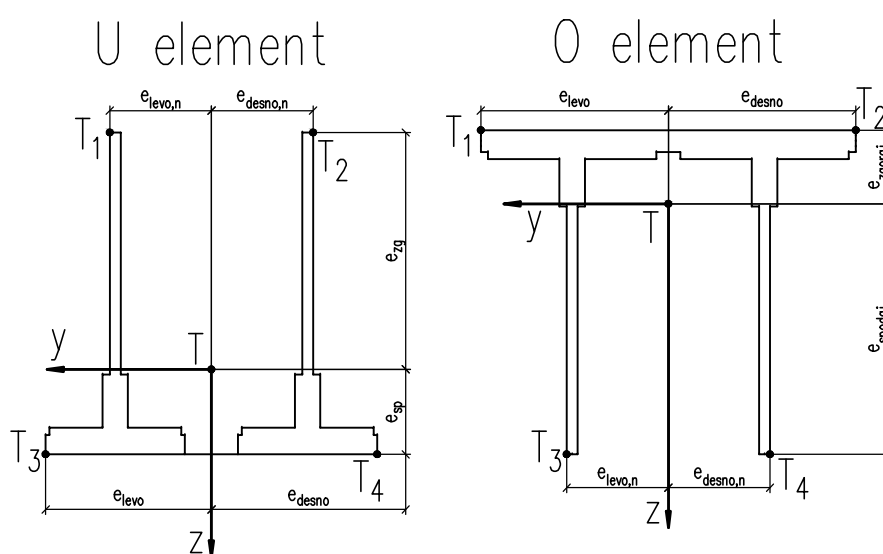
$\sigma_{x,Ed}$  : projektna vrednost normalnih napetosti v računski točki

$A_{eff}$  : površina sodelujočega prečnega prereza pri čistem tlaku

$W_{eff}$  : elastični odpornostni moment sodelujočega prereza pri čistem upogibu okoli obravnavane osi

$e_N$  : premik težiščne osi sodelujočega prereza glede na osnovni prerez pri čistem tlaku

Določiti moramo največjo napetost v celotnem prerezu, zato kontroliramo 4 kritične točke prereza ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ), koordinatni sistem postavimo v težišče obravnavanega prereza in tako določimo razdalje, potrebne za izračun odpornostnih momentov (slika 4.16).



Slika 4.16: Točke izračuna normalnih napetosti pri O in U elementih

#### 4.5.2.5 Kontrola interakcije med osno silo, prečno silo in upogibnim momentom

Glavne nosilce in vzdolžnike preverimo tudi na interakcijo delovanja prečne sile, saj je izkoriščenost prereza na strig veliko večja kot pri ostalih elementih. Pri kontroli interakcije osne sile, prečne sile in momenta se ravnamo po standardu [6]. Ta navaja kontrolo po enačbi:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1.0; \quad \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad (4.40)$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \quad (4.41)$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \quad (4.42)$$

Uporabljene oznake:

$M_{f,Rd}$  : plastična upogibna nosilnost sodelujočega dela pasnic

$M_{Ed}$  : projektni upogibni moment

$M_{pl,Rd}$  : plastična upogibna nosilnost prereza sestavljena iz sodelujočega prereza pasnic in celotne stojine ne glede na razred kompaktnosti

$V_{Ed}$  : projektna prečna sila

$V_{bw,Rd}$  : projektna strižna nosilnost stojine prereza

Projektna strižna nosilnost stojine prereza:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} \quad (4.43)$$

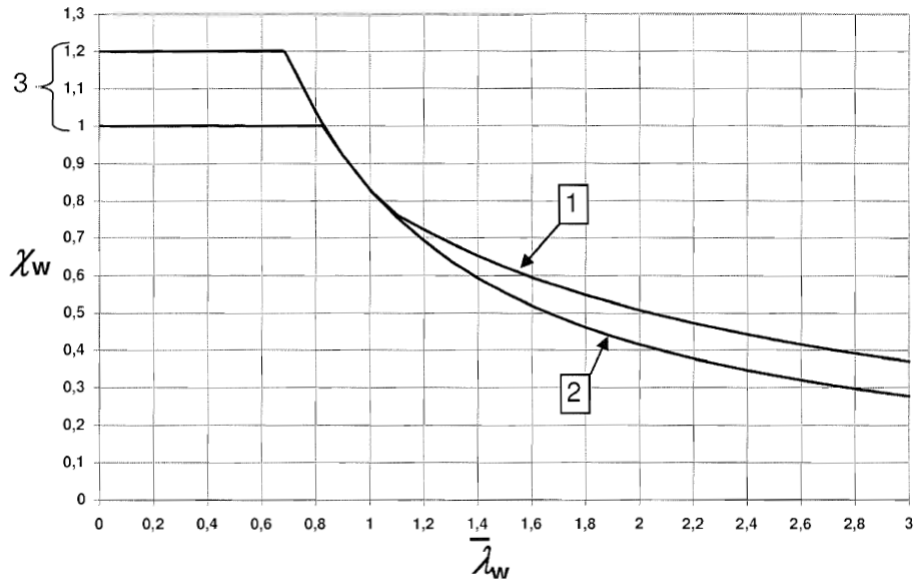
Uporabljene oznake:

$\chi_w$  : brezdimenzionalna strižna nosilnost

$f_{yw}$  : meja tečenja stojine

$h_w$  : višina stojine v strigu

$t$  : debelina stojine v strigu



- 1 Togo vpet rob
- 2 Netogo vpet rob
- 3 Meja priporočenega  $\eta$

Slika 4.17: Strižni uklonski faktor  $\chi_w$  (vir: prirejeno po [6])



Z enačbo 4.44 izračunamo strižno vitkost stojine  $\lambda_w$  za obravnavane prereze, nato pa z uporabo diagrama na sliki 4.17 določimo strižni uklonski faktor. Izkazuje se, da so glede na enačbo 4.44 vse stojine kompaktne, kar pomeni, da je za vse prereze strižni uklonski faktor manjši od 0.8, zato uporabimo  $\chi_w = 1$ .

$$\lambda_w = \frac{h_w}{86.4 \cdot t \cdot \epsilon} \quad (4.44)$$

Pri elementih, pri katerih faktor  $\bar{\eta}_3$  ne preseže vrednosti 0.50, ne pride do redukcije upogibne nosilnosti prereza zaradi prečne sile. Prerez lahko tako kontroliramo samo na interakcijo osne sile in momenta v kritičnih točkah (slika 4.18), v katerih kontroliramo normalne napetosti.

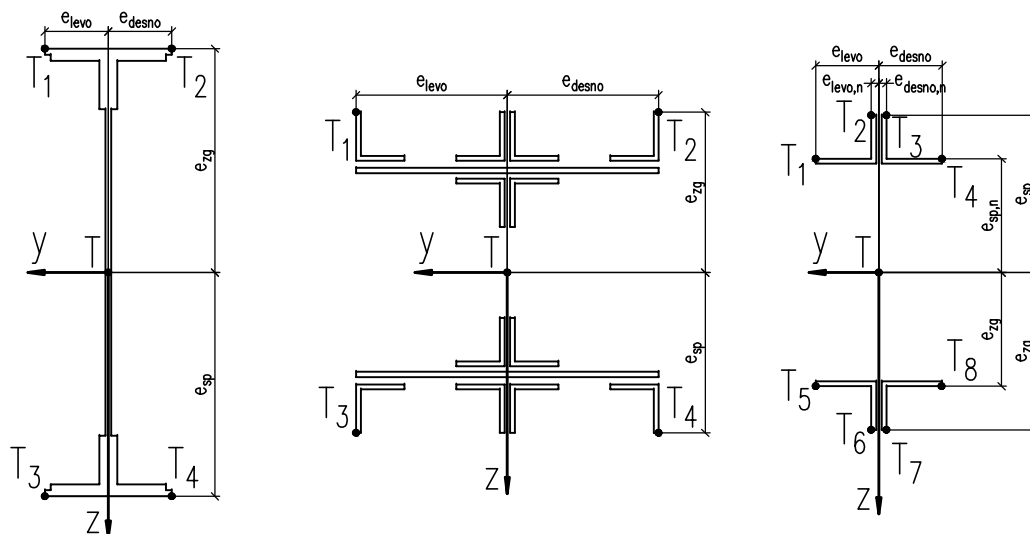
Pri elementih, ki so izpostavljeni večji prečni sili (faktor  $\bar{\eta}_3$  preseže vrednosti 0.50), moramo njen vpliv dodatno upoštevati. Ker enačba 4.40 upošteva le interakcijo med momentom in prečno silo, moramo delovanje osne sile upoštevati z zmanjšanjem plastične momentne odpornosti prereza. Ker so prerezi, pri katerih je prečna sila merodajna, v 4. razredu kompaktnosti, naredimo po priporočilu standarda [5] samo kontrolo s sodelujočimi karakteristikami. Standard [6] sicer v 7. poglavju podaja natančnejši izračun, vendar se zanj ne odločim. Dodatno preverimo napetosti v robnih točkah prereza (slika 4.18), kjer so normalne napetosti največje in strižne napetosti enake 0. Prav tako preverimo še napetosti v težišču prereza po von Misesovemu kriteriju, kjer delujejo največje strižne napetosti in pripadajoče normalne napetosti zaradi delovanja osne sile. Vrednosti normalnih napetosti določimo na podlagi enačb iz poglavja 4.5.2.4. Vsoto strižnih in normalnih napetosti določimo s spodnjimi enačbami:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t} \quad (4.45)$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow \frac{\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \leq 1.0 \quad (4.46)$$

Uporabljene oznake:

- $\tau_{Ed}$  : projektna vrednost strižnih napetosti v računski točki
- $S$  : vrednost statičnega momenta prereza nad računsko točko glede na težišče celotnega prereza
- $I$  : pripadajoči vztrajnostni moment prereza
- $t$  : debelina prereza v računski točki pravokotno na delovanje prečne sile
- $\sigma_{x,Ed}$  : projektna vrednost normalnih napetosti v računski točki



Slika 4.18: Točke izračuna normalnih napetosti pri vzdolžnikih, prečnikih in vertikalah

#### 4.5.3 Kontrola nosilnosti na obtežbo C4

Izvedemo kontrolo za obtežbo C4, obremenitve so podane v preglednicah 3.8 in 3.9. Pri določevanju ovojnica za posamezen konstrukcijski element upoštevamo kombinaciji obtežb po enačbah 3.8 in 3.9, kjer se faktor  $\Phi_3$  razlikuje glede na izbran konstrukcijski element (poglavje 3.4.1).

Ne preverjamo vsakega elementa posebej, ampak za vsak element iz programa Scia Engineer odčitamo največje in najmanjše vrednosti notranjih statičnih količin iz ovojnice obtežb MSN1 in MSN2. Izjema so prečne sile, kjer odčitamo absolutno največjo vrednost. Na ta način ne dobimo realne izkoriščenosti najbolj obremenjenega prereza, smo pa tako krepko na varni strani, saj upoštevamo, da se največje obremenitve na posameznem prerezu pojavijo v isti točki. V primeru, da se kontrole za posamezen element ne izidejo, v programu Scia Engineer določimo prerez elementa, kjer se pojavijo največje normalne napetosti na bruto prerezu in tam odčitamo notranje statične količine.

Iz preglednic na naslednjih straneh lahko ugotovimo, da mostna konstrukcija ne vzdrži obtežbe C4 pri hitrosti prehoda  $V = 80 \text{ km/h}$ . To se ujema s poročilom [10] (poglavje 3.4.4.1), kjer je zapisano, da most takšne obtežbe ne vzdrži in da se mora hitrost vlakov omejiti na  $V = 35 \text{ km/h}$ .

V poročilu se račun notranjih statičnih količin izvede po posameznih sklopih konstrukcije, kar pomeni, da se razmerja obremenitev med 3D modelom v programu Scia Engineer in računom v poročilu razlikujejo. Za ta namen naredimo primerjavo v poglavju 4.5.5, s katero primerjamo obremenitve v najbolj obremenjenih elementih glede na celoten 3D model, model členkasto podprtih glavnih prečnikov in model členkasto podprtih vzdolžnikov.

### 4.5.3.1 Nosilnost paličnih elementov

Ugotovimo, da so palični elementi W1u, W2u in diagonala bočne vezi v najbolj obremenjenem delu prereza prekomerno obremenjeni.

Preglednica 4.17: Izkoriščenost paličnih elementov (C4,  $V = 80 \text{ km/h}$ )

Element		Geometrijske karakteristike		Ovojnica osnih sil		Maksimalna izkoriščenost prereza
		$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	
Diagonale notranjega paličnega nosilca	Z1b	123.24	95.68	0	1158	0.47
	Z2b	99.84	75.84	0	924	0.48
	Z3b	84.00	64.54	-25	722	0.44
	Z4b	68.00	44.40	-81	500	0.44
	Z5b	55.04	40.96	-146	362	0.35
	Z6b	55.04	40.96	-224	234	0.29
	D1b	141.00	141.00	-1423	90	0.56
	D2b	123.24	123.24	-1022	0	0.46
	D3b	91.96	91.96	-738	0	0.47
	D4b	80.64	80.64	-574	58	0.50
	D5b	55.04	40.96	-347	136	0.45
	D6b	55.04	40.96	-242	212	0.31
	Diagonale zunanjega paličnega nosilca	Z1a	141.00	108.40	0	1668
Z2a		123.24	94.64	0	1647	0.68
Z3a		107.64	81.82	0	1258	0.60
Z4a		83.16	62.48	0	926	0.58
Z5a		68.00	49.87	-165	624	0.49
Z6a		55.04	40.96	-385	351	0.50
D1a		171.24	145.55	-2504	0	0.78
D2a		141.00	119.85	-1647	0	0.64
D3a		123.24	104.75	-1374	0	0.61
D4a		99.84	84.86	-1040	0	0.61
D5a		80.64	59.20	-719	158	0.63
D6a		55.04	40.96	-366	367	0.47
Horizontalne diagonale spodaj (u) in zgoraj (o)		W1u	24.32	17.92	-308	452
	W2u	21.12	14.72	-286	401	1.44
	W1o	59.02	45.50	-459	207	0.58
	W2o	50.38	39.82	-196	73	0.29
	W3o	45.12	33.60	-125	51	0.25
	W4o	38.00	29.20	-95	21	0.23
	W5o	30.78	23.58	-50	24	0.17
	W6o	24.32	17.92	-46	20	0.23
Vezi	Spodnja vez00	48.64	42.24	0	357	0.33
	Spodnja vez1166	42.24	42.24	-133	0	0.35
	Bočna vez	42.24	35.84	-255	61	0.34
Diagonala bočne vezi		10.56	8.96	-201	204	1.54
Prečna diagonala00		90.24	51.84	-498	311	0.36
Prečna diagonala1166		21.12	17.92	-126	99	0.86

#### 4.5.3.2 Nosilnost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

Ugotovimo, da so prekomerno obremenjeni elementi zgornjega pasu zunanjega paličnega nosilca (O3a, O4a, O5a in O6a) in element spodnjega pasu notranjega paličnega nosilca U1. Elementi U4a in U6a imajo ravno še zadovoljivo nosilnost.

Preglednica 4.18: Izkoriščenost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja ( $C4, V = 80 \text{ km/h}$ )

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin								Maksimalna izkoriščenost prereza	
	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$ V_y _{\max}$ [kN]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$ V_z _{\max}$ [kN]		
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	-669	0	-855	2134	13	-1248	6304	10	0.49
	O2	-2125	0	-1070	2980	26	-9748	6290	15	0.61
	O3	-3192	0	-1070	4302	2	-9751	1754	15	0.73
	O4	-3893	0	-1122	5026	11	-13650	1664	17	0.78
	O5	-4338	0	-1122	6129	4	-14758	1665	19	0.76
	O6	-4461	0	-1067	6758	1	-14758	1620	18	0.78
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	-793	0	-2515	1106	13	-1473	6286	12	0.58
	O2a	-3325	0	-2515	5217	26	-10152	6268	24	0.90
	O3a	-5080	0	-472	6054	3	-10406	1820	17	1.04
	O4a	-6389	0	-472	7509	12	-14987	1841	22	1.11
	O5a	-7173	0	-181	9615	5	-16329	1840	25	1.07
	O6a	-7430	0	0	10143	2	-16328	1820	25	1.10
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	-703	0	-272	1696	7	-804	3603	8	0.52
		$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$ V_y _{\max}$ [kN]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$ V_z _{\max}$ [kN]	Maksimalna izkoriščenost prereza
	U1	0	2133	-272	1696	7	-804	3603	8	1.05
	U2	0	3533	-845	3374	13	-3660	3655	11	0.84
	U3	0	3370	-825	3439	2	-3028	559	12	0.70
	U4	0	4093	-894	4411	4	-3980	402	14	0.68
	U5	0	4467	-887	5131	1	-3975	399	14	0.74
U6	0	4602	-736	5784	1	-3764	311	14	0.70	
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	0	5458	-139	5181	3	-3634	489	16	0.91
	U4a	0	6805	0	6979	5	-4687	491	17	1.00
	U5a	0	7563	0	8587	1	-4675	494	18	0.98
	U6a	0	7709	0	9171	2	-4527	392	18	1.00

#### 4.5.3.3 Nosilnost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov

Izkaže se, da so najbolj obremenjeni deli vertikal, prečnikov in vzdolžnikov prekomerno obremenjeni.

Preglednica 4.19: Izkoriščenost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov ( $C4, V = 80 \text{ km/h}$ )

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin - globalno največje vrednosti								Maksimalna izkoriščenost prereza
	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$ V_y _{\max}$ [kN]	$ V_z _{\max}$ [kN]	
Zunanji vzdolžnik	-375	2086	-52440	52971	-2559	4795	66	569	1.45
Notranji vzdolžnik	-2224	419	-31003	27794	-3914	7669	81	294	1.39
Prečnik	-180	462	-8647	94881	-15833	16237	190	-796	2.17
Vmesna vertikala	-202	635	-3918	2785	-4027	3860	38	37	2.18
Krajna vertikala	-1701	93	-318	1363	-30965	30619	295	13	1.07

#### 4.5.4 Kontrola nosilnosti na obtežbo C2

Pri analizi mejnega stanja nosilnosti v poglavju 4.5.3 smo ugotovili, da veliko elementov, predvsem najbolj kritični elementi mostu, na katere najbolj neposredno deluje obtežba vlakov, ne vzdrži obtežne sheme C4 pri hitrosti  $V = 80 \text{ km/h}$ . Zato naredimo kontrolo na obtežno shemo C2, za katero je ta proga tudi klasificirana. Poleg znižanja obtežbe, znižamo še računsko hitrost  $V = 80 \text{ km/h}$  na  $V = 30 \text{ km/h}$  in uporabimo dinamični faktor za realne vlake, ta je opisan v poglavju 4.6.2.1, kar še dodatno zmanjša računske obremenitve. Glede na izračun v poglavju 4.6.2.1 se pojavi sprememba, saj na tem mestu računamo dinamični faktor za kontrolo mejnega stanja nosilnosti. Enačba 4.71 se tako spremeni v enačbo 4.47.

$$\varphi = 1 + \varphi' + \varphi'' \quad (4.47)$$

Nove vertikalne in horizontalne obremenitve za obtežno shemo C2 pri hitrosti  $V = 30 \text{ km/h}$  so podane v preglednicah 4.20 in 4.21, nov dinamični faktor je podan v preglednici 4.22. Dinamični faktorja  $\varphi$  sta na nek način ekvivalentna dinamičnemu  $\Phi_3$  iz poglavja 3.4.1 (dinamični faktor za standardno vzdrževanje proge). Nove vrednosti dinamičnega faktorja uporabimo, ker je računsko hitrost  $V = 30 \text{ km/h}$  bistveno manjša od največje hitrosti  $V = 200 \text{ km/h}$ , za katero še velja dinamični faktor  $\Phi_3$ . Pri izračunu nosilnosti zato uporabimo dinamični faktor  $\varphi$ , ki ga izračunamo po Aneksu C, saj je izračun tako natančnejši.

Preglednica 4.20: Obtežba pri  $V = 30 \text{ km/h}$

	Vertikalne sile				Horizontalne sile			
	Zunanji vzdolžnik		Notranji vzdolžnik		Zunanji vzdolžnik		Notranji vzdolžnik	
	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]	$Q_{tk}$ [kN]	$q_{tk}$ [kN/m]	$Q_{tk}$ [kN]	$q_{tk}$ [kN/m]
C2	113.57	36.34	86.43	27.66	2.36	0.76	2.36	0.76

Preglednica 4.21: Obtežba pri  $V = 0 \text{ km/h}$

	Vertikalne sile			
	Zunanji vzdolžnik		Notranji vzdolžnik	
	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]	$Q_{vk}$ [kN]	$q_{vk}$ [kN/m]
C2	91.14	29.17	108.86	34.83

Preglednica 4.22: Dinamični faktor za mejno stanje nosilnosti  $\varphi$  za  $V = 30 \text{ km/h}$  (Aneks C)

	Elementi glavnega paličnega nosilca	Vzdolžni nosilci	Prečniki
$L [m]$	53.46	4.86	3.90
$L_{\Phi} [m/s]$	53.46	7.86	7.80
$v [m/s]$	8.33		
$n_0 [Hz]$	4.10		
$\alpha$	1.0		
$K$	0.019	0.129	0.130
$\varphi'$	0.019	0.148	0.150
$\varphi''$	0.001	0.046	0.047
$\varphi$	1.02	1.19	1.20

V preglednici 4.23 naredimo še primerjavo dinamičnih faktorjev za kontrolo mejnega stanja nosilnosti po standardu [4] in po Aneksu C istega standarda za hitrost  $V = 30 \text{ km/h}$ .

Preglednica 4.23: Primerjava dinamičnih faktorjev

	Elementi glavnega paličnega nosilca	Vzdolžni nosilci	Prečniki
$\varphi$ (Aneks C)	1.02	1.19	1.20
$\Phi_3$	1.03	1.56	1.56

#### 4.5.4.1 Nosilnost paličnih elementov

Ugotovimo, da palični elementi v splošnem niso prekomerno obremenjeni. Podrobnejši izračun je podan v preglednici E1.

Preglednica 4.24: Izkoriščenost paličnih elementov ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ )

Element		Geometrijske karakteristike		Ovojnica osnih sil		Maksimalna izkoriščenost prereza
		$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	
Diagonale notranjega paličnega nosilca	Z1b	123.24	95.68	0	1012	0.41
	Z2b	99.84	75.84	0	814	0.42
	Z3b	84.00	64.54	0	622	0.38
	Z4b	68.00	44.40	0	428	0.38
	Z5b	55.04	40.96	-48	305	0.29
	Z6b	55.04	40.96	-175	169	0.23
	D1b	141.00	141.00	-1253	0	0.49
	D2b	123.24	123.24	-896	0	0.40
	D3b	91.96	91.96	-638	0	0.41
	D4b	80.64	80.64	-495	0	0.43
	D5b	55.04	40.96	-294	53	0.38
	D6b	55.04	40.96	-178	166	0.23
Diagonale zunanjega paličnega nosilca	Z1a	141.00	108.40	0	1213	0.44
	Z2a	123.24	94.64	0	1143	0.47
	Z3a	107.64	81.82	0	873	0.42
	Z4a	83.16	62.48	0	637	0.40
	Z5a	68.00	49.87	-80	422	0.33
	Z6a	55.04	40.96	-250	229	0.32
	D1a	171.24	145.55	-1611	0	0.50
	D2a	141.00	119.85	-1169	0	0.46
	D3a	123.24	104.75	-980	0	0.44
	D4a	99.84	84.86	-730	0	0.43
	D5a	80.64	59.20	-497	66	0.43
	D6a	55.04	40.96	-249	231	0.32
Horizontalne diagonale spodaj (u) in zgoraj (o)	W1u	24.32	17.92	155	38	0.57
	W2u	21.12	14.72	117	-10	0.59
	W1o	59.02	45.50	-227	6	0.29
	W2o	50.38	39.82	-114	0	0.17
	W3o	45.12	33.60	-73	0	0.15
	W4o	38.00	29.20	-59	8	0.14
	W5o	30.78	23.58	-29	14	0.10
W6o	24.32	17.92	-17	15	0.08	
Vezi	Spodnja vez00	48.64	42.24	0	96	0.09
	Spodnja vez1166	42.24	42.24	-116	0	0.30
	Bočna vez	42.24	35.84	-219	22	0.29
Diagonala bočne vezi		10.56	8.96	-61	64	0.47
Prečna diagonala00		90.24	51.84	-242	10	0.18
Prečna diagonala1166		21.12	17.92	-54	40	0.37

#### 4.5.4.2 Nosilnost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

Ugotovimo, da elementi zgornjega in spodnjega pasu obeh paličnih nosilcev niso prekomerno obremenjeni. Podrobnejši izračun je podan v preglednicah od E2 do E5.

Preglednica 4.25: Izkoriščenost elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ )

Element		Ovojnica notranjih statičnih količin							Maksimalna izkoriščenost prereza	
		$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$ V_y _{\max}$ [kN]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]		$ V_z _{\max}$ [kN]
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	-569	0	-796	1280	4	-511	2093	8	0.38
	O2	-1856	0	-769	2739	8	-2615	2090	15	0.48
	O3	-2775	0	-265	3918	1	-2758	1468	15	0.59
	O4	-3377	0	-74	4557	4	-4102	1349	16	0.62
	O5	-3758	0	-74	5573	2	-4564	1350	20	0.60
	O6	-3862	0	0	6074	1	-4564	1397	17	0.62
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	-641	0	-1202	952	4	-617	2065	9	0.41
	O2a	-2356	0	-1202	3534	8	-2721	2059	18	0.59
	O3a	-3598	0	-288	4533	1	-3005	1517	17	0.71
	O4a	-4535	0	-288	5590	4	-4495	1487	20	0.75
	O5a	-5106	0	-2	7217	2	-5027	1486	23	0.73
	O6a	-5305	0	0	7605	1	-5027	1486	24	0.76
Spodnji notranji pas pačilnega nosilca	U1	-1	0	-51	1201	2	-516	1073	6	0.15
		$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$ V_y _{\max}$ [kN]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$ V_z _{\max}$ [kN]	Maksimalna izkoriščenost prereza
	U1	0	1048	-51	1201	2	-516	1073	6	0.51
	U2	0	2400	-244	2413	3	-771	1089	3	0.55
	U3	0	2909	-244	3056	1	-635	498	12	0.57
	U4	0	3528	0	3951	1	-907	330	12	0.56
	U5	0	3855	0	4574	1	-908	327	14	0.61
U6	0	3976	0	5138	1	-893	271	13	0.58	
Spodnji zunanji pas pačilnega nosilca	U3a	0	3676	-88	3777	1	-761	416	14	0.59
	U4a	0	4595	0	5067	2	-1063	400	15	0.65
	U5a	0	5134	0	6322	1	-1066	403	17	0.65
	U6a	0	5286	0	6726	1	-1064	322	17	0.67

#### 4.5.4.3 Nosilnost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov

Izkaže se, da sta preobremenjena le oba druga prečnika na obeh straneh mostne konstrukcije, na kateri odpade tudi največ obtežbe. Podrobnejši izračun je podan v preglednicah od E6 do E12.

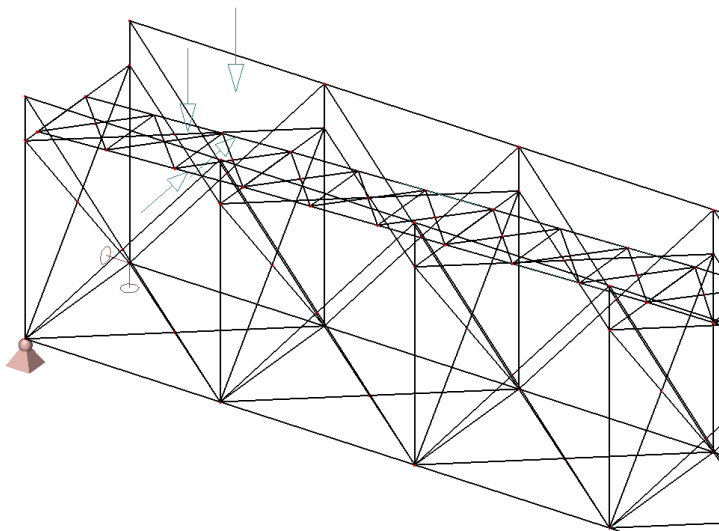
Preglednica 4.26: Izkoriščenost elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ )

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin - globalno največje vrednosti								Maksimalna izkoriščenost prereza
	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$ V_y _{\max}$ [kN]	$ V_z _{\max}$ [kN]	
Zunanji vzdolžnik	-278	387	-22245	33084	-651	1057	11	355	0.43
Notranji vzdolžnik	-561	110	-20156	25539	-901	1561	13	293	0.42
Prečnik	-1	238	-799	52284	-7117	7115	83	528	1.04
Vmesna vertikala	-158	349	-1207	841	-1414	1377	13	11	0.86
Krajna vertikala	-156	157	-133	453	-15628	15652	149	4	0.57

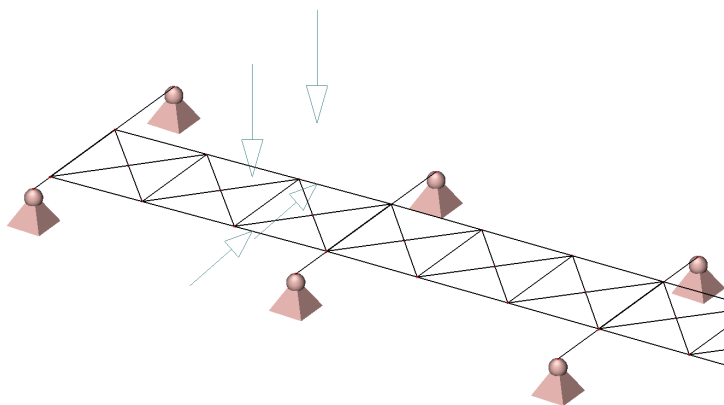


#### 4.5.5 Primerjava notranjih statičnih količin glede na način modeliranja konstrukcije

Način modeliranja močno vpliva na vertikalno togost konstrukcije. 3D model celotne konstrukcije mostu (brana, podprta s paličnimi nosilci (A) - slika 4.19) ima manjšo vertikalno togost kot model vzdolžnikov pripetih na členkasto podprte prečnike (brana podprta z nepomičnimi členkastimi podporami (B) - slika 4.20). Zaradi spremenjene togosti se spremenijo notranje statične količine.



Slika 4.19: Model brane podprte s paličnimi nosilci



Slika 4.20: Model brane podprte z nepomičnimi členkastimi podporami

Kolikšen vpliv imajo podpore na obnašanje računalniškega modela konstrukcije, je razvidno iz preglednice 4.28. Primerjamo notranje statične količine dveh krajnjih zunanjih in notranjih vzdolžnikov ter dveh krajnjih prečnikov. Vrednosti notranjih statičnih količin izpišemo v središčni točki vzdolžnikov, pri prečnikih pa v točki, kjer se nanj pripenja zunanji vzdolžnik.

Preglednica 4.27: Notranje statične količine ob spremembi podpiranja (C2,  $V = 30 \text{ km/h}$ )

	Brana podprta s paličnimi nosilci (A)						Brana podprta z nepomičnimi členkastimi podporami (B)					
	Nad podporo						Nad podporo					
	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]
Zunanji vzdolžnik 1	-118	27	-21468	5089	-651	462	-15	21	-20803	1654	-10	477
Zunanji vzdolžnik 2	-156	118	-16260	7701	-629	268	-17	21	-20824	1999	-34	478
Notranji vzdolžnik 1	-56	110	-15910	6586	-1	1561	-15	18	-19007	1181	-212	449
Notranji vzdolžnik 2	-228	45	-15343	5495	-131	807	-14	28	-16868	2000	-195	378
Prečnik 1	0	212	0	0	0	0	-80	10	0	0	0	0
Prečnik 2	0	219	0	0	0	0	-131	4	0	0	0	0

	Brana podprta s paličnimi nosilci (A)						Brana podprta z nepomičnimi členkastimi podporami (B)					
	V polju						V polju					
	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]
Zunanji vzdolžnik 1	-68	34	-4936	30197	-286	118	-11	13	-4156	28520	-327	16
Zunanji vzdolžnik 2	-97	73	-5645	28215	-363	20	-24	15	-8107	23712	-338	24
Notranji vzdolžnik 1	-21	77	-9837	24791	-375	156	-14	10	-14267	23725	-415	180
Notranji vzdolžnik 2	-174	22	-7183	20773	-396	104	-23	16	-15299	18730	-347	161
Prečnik 1	0	232	-1681	37230	-1170	0	0	91	-195	37119	-85	0
Prečnik 2	0	151	0	52757	-4517	1123	0	149	0	50032	-1817	1698

Ugotovimo lahko, da se ob večji togosti konstrukcije (primer B, kjer je brana podprta z nepomičnimi členkastimi podporami) osne sile  $N$  po večini zmanjšajo. Najmanjše vrednosti momenta  $M_y$  se povečajo nad podporo in v polju, največje se povečajo nad podporo, med tem ko največje vrednosti v polju ostanejo praktično enake. Vrednosti momenta  $M_z$  se spreminjajo brez očitnega vzorca. Razmerja med notranjimi statičnimi količinami so podana v preglednici 4.27.

Preglednica 4.28: Razmerja notranjih statičnih količin ob spremembi podpiranja

	Nad podporo (B/A)					
	$N_{\min}$	$N_{\max}$	$M_{y,\min}$	$M_{y,\max}$	$M_{z,\min}$	$M_{z,\max}$
Zunanji vzdolžnik 1	0.13	0.78	0.97	0.33	0.02	1.03
Zunanji vzdolžnik 2	0.11	0.18	1.28	0.26	0.05	1.78
Notranji vzdolžnik 1	0.27	0.16	1.19	0.18	212.00	0.29
Notranji vzdolžnik 2	0.06	0.62	1.10	0.36	1.49	0.47
Prečnik 1	/	0.05	/	/	/	/
Prečnik 2	/	0.02	/	/	/	/

	V polju (B/A)					
	$N_{\min}$	$N_{\max}$	$M_{y,\min}$	$M_{y,\max}$	$M_{z,\min}$	$M_{z,\max}$
Zunanji vzdolžnik 1	0.16	0.38	0.84	0.94	1.14	0.14
Zunanji vzdolžnik 2	0.25	0.21	1.44	0.84	0.93	1.20
Notranji vzdolžnik 1	0.67	0.13	1.45	0.96	1.11	1.15
Notranji vzdolžnik 2	0.13	0.73	2.13	0.90	0.88	1.55
Prečnik 1	/	0.39	0.12	1.00	0.07	/
Prečnik 2	/	0.99	/	0.95	0.40	1.51

## 4.6 Ocena preostale življenjske dobe

Postopek ocene preostale življenjske dobe je zasnovan na način, da postopno izločujemo nekritične elemente. V prvem koraku tako naredimo analizo z največjo možno obtežbo na mostu, uporabili smo jo že za mejno stanje nosilnosti v poglavju 4.5.4. Uporabimo obtežno kombinacijo za utrujanje, ki jo podamo v poglavju 3.4.5. Elementi, katerih stopnja varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat}$  presega vrednost 1.0, so zagotovo varni in nadaljna analiza ni več potrebna.

V drugem koraku se uporabi natančnejši izračun dinamičnega faktorja, prav tako pa se upoštevajo različni tipi obtežb, ki prečkajo mostno konstrukcijo. V tem primeru ne dobimo samo koeficienta, ki nam pove izkoriščenost posameznega elementa, ampak dejansko življenjsko dobo mostu v letih. Ta se izračuna glede na dnevno število prehodov vlakov čez most. Drugo fazo lahko nadgradimo z določitvijo dejanskega števila ciklov (metoda Rainflow) za posamezen prehod posameznega tipa vlaka in tako še natančneje izračunamo življenjsko dobo mostu.

V tretjem koraku se uporabijo še natančnejše preiskave. Na konstrukciji se locirajo že obstoječe poškodbe. Podatki o le-teh se nato z uporabo mehanike loma uporabijo v izračunu dejanske življenjske dobe obravnavanega elementa oziroma čas, v katerem se bo razvila kritična dolžina razpoke. Za takšen izračun se potrebujejo natančni podatki o materialnih karakteristikah obravnavanega elementa. Ker je magistrska naloga že sedaj zelo obširna in ker bi bilo podatke za tretji korak ocene težko pridobiti, se odločimo, da ga ne bomo obravnavali na praktičnem primeru.

### 4.6.1 Prvi korak: začetna ocena stanja

Pri začetni oceni varnosti mostne konstrukcije uporabimo obtežno shemo  $C2$  (preglednici 4.20 in 4.21). Na podlagi najmanjših in največjih notranjih statičnih količin določimo spremembe napetosti na posameznem elementu konstrukcije. Na prerezhih, pri katerih strižne sile niso bile merodajne že pri kontroli mejnega stanja nosilnosti, izračunamo samo vpliv normalnih napetosti, pri glavnih prečnikih in elementih obeh vzdolžnikov pa upoštevamo tudi dodaten vpliv strižnih napetosti. Tako dobimo začetno oceno varnosti elementov proti utrujanju.

#### 4.6.1.1 Ekvivalentni faktor poškodb

Ekvivalentni faktor poškodb prevede dejansko obtežbo na obtežbo, ki bi nastopila pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih, kar omogoča izračun kontrole z vrednostjo kategorije detajla. Vrednost  $\lambda$  je odvisna od količine in sestave prometa, predvidene življenjske dobe in statičnega sistema. Odvisna je tudi od naklona  $m$  merodajne S-N krivulje (enačbi 4.49 in 4.50). Ravno zaradi upoštevanja vseh vplivov je koeficient  $\lambda$  sestavljen iz štirih delnih koeficientov (standard [8], preglednice 9.3 do 9.7), kot je razvidno iz enačbe:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \leq \lambda_{max} \quad (4.48)$$

Uporabljene oznake:

- $\lambda$  : ekvivalentni faktor poškodb  
 $\lambda_1$  : faktor dolžine vplivnice za posamezen konstrukcijski element  
 $\lambda_2$  : faktor vpliva količine prometa  
 $\lambda_3$  : faktor projektne življenjske dobe mostu  
 $\lambda_4$  : faktor vpliva števila obtežb  
 $\lambda_{max}$  : največja vrednost ekvivalentnega faktorja poškodb

### Delni faktor poškodb $\lambda_1$

Vrednost delnega faktorja poškodb  $\lambda_1$  za železniške mostove je odvisna od kritične dolžine  $L_1$ .

Uporabljene oznake:

- $L_1$  : kritična dolžina določena v skladu s poglavjem 9.5.3, odstavek 4, iz standarda [8] [m]

### Glavni palični nosilec

$$L_1 = 53.46 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0.63 \quad (\text{kombinacija vlakov Standardni promet})$$

$$\lambda_1 = 0.66 \quad (\text{kombinacija vlakov z osno obtežbo 25 t})$$

### Vzdolžni nosilci

$$L_1 = 4.86 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 1.03 \quad (\text{kombinacija vlakov Standardni promet})$$

$$\lambda_1 = 1.07 \quad (\text{kombinacija vlakov z osno obtežbo 25 t})$$

### Prečniki

$$L_1 = 2 \cdot 4.86 \text{ m} = 9.72 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0.85 \quad (\text{kombinacija vlakov Standardni promet})$$

$$\lambda_1 = 0.93 \quad (\text{kombinacija vlakov z osno obtežbo 25 t})$$

### Ostali elementi

Elementi konstrukcije, za katere vplivna dolžina ni v naprej določena v standardu [8], imajo kritično dolžino enako dolžini njihove vplivnice, na primer vertikalne in horizontalne diagonale glavnega paličja. Pri obravnavanem mostu je dolžina vplivnice za vsak element enaka dolžini mostu  $L = 53.46 \text{ m}$ , kar pomeni, da je vplivna dolžina za te elemente enaka dolžini mostu. Faktor  $\lambda_1$  je tako za vse te preostale elemente enak dinamičnemu faktorju za glavni palični nosilec.

### Delni faktor poškodb $\lambda_2$

Vrednost delnega faktorja poškodb  $\lambda_2$  je odvisna od količine prometa preko mostu in ga določimo glede na predpostavljeno količino tovora po enačbi [26]:

$$\lambda_2 = \left( \frac{TV}{25 \cdot 10^6 \text{ ton/progo}} \right)^{1/m} \quad (4.49)$$

Uporabljene oznake:

$TV$  : letna količina tovora

$m$  : naklon S-N krivulje obravnavanega detajla; za vse kovičene detajle velja  $m = 5$

$\lambda_2 = 1.00$  : upoštevana je količina pretovora  $25 \cdot 10^6 \text{ t/progo}$

$\lambda_2 = 0.83$  : upoštevana je količina pretovora  $10 \cdot 10^6 \text{ t/progo}$

### Delni faktor poškodb $\lambda_3$

Delni faktor poškodb  $\lambda_3$  upošteva vpliv projektne življenjske dobe objekta. Za kontrolo trenutnega stanja mostu upoštevamo  $\lambda_3$  za življenjsko dobo 120 let. Od leta 1905 do danes, je sicer minilo 111 let, vendar smo tako na varni strani. Ker bo most v uporabi še kar nekaj let, nas zanima še vrednost  $\lambda_3$  za obdobje 160 let, to je leta 2065. Z enačbo 4.50 [26] določimo iskane vrednosti.

$$\lambda_3 = \left( \frac{DL}{100 \text{ let}} \right)^{1/m} \quad (4.50)$$

Uporabljene oznake:

$DL$  : predvidena življenjska doba oziroma predvideno življenjsko obdobje v letih

$m$  : naklon S-N krivulje obravnavanega detajla; za vse kovičene detajle velja  $m = 5$

$\lambda_3 = 1.04$  : upoštevana življenjska doba 120 let (trenutno stanje mostu)

$\lambda_3 = 1.10$  : upoštevana življenjska doba 160 let

### Delni faktor poškodb $\lambda_4$

Z delnim faktorjem poškodb  $\lambda_4$  upoštevamo vpliv števila železniških prog preko mostu. Ker je most entiren, upoštevamo razmerje  $\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_{1+2} = 1$ .

$\lambda_4 = 1.00$  : entiren most

**Omejitev faktorja poškodb  $\lambda_{max}$** 

V standardu [8] je definirana največja vrednost ekvivalentnega faktorja poškodb:

$$\lambda_{max} = 1.40 \quad : \quad \text{največja dovoljena vrednost}$$

Realno gledano, omejitev največje vrednosti ni funkcionalna, saj v primeru, da želimo upoštevati zelo dolgo življenjsko dobo konstrukcije, koeficient  $\lambda_3$  naraste. Pri upoštevanju življenjske dobe 300 let, dobi koeficient  $\lambda_3$  že vrednost 1.25. Zaradi tega bi bilo verjetno prav, da se pri omejitvi največje vrednosti ekvivalentnega faktorja poškodb  $\lambda$  koeficient  $\lambda_3$  ne upošteva.

**4.6.1.2 Normalne napetosti**

Normalne napetosti, ki jih povzroča delovanje momenta in osne sile izračunamo po enačbi 4.51. Vrednost ploščine  $A$  in odpornostnega momenta  $W$  upoštevamo skladno s priporočili [13], kjer je definirano, da se napetosti računajo na neto prerezu na mestu stika med elementi in na mestu izven območja stika. Na elementih, za katere vemo, da imajo prerez pretežno v tlaku, računamo napetosti na sodelujočem prerezu. Elementi obravnavanega mostu imajo čez celotno dolžino praktično enako razporeditev kovic, zato napetosti računamo v najbolj obremenjeni točki elementa, kjer predpostavimo, da je tudi najbolj oslavljen del prereza. Razlike napetosti kontroliramo v točkah, ki smo jih definirali v poglavjih 4.5.2.4 in 4.5.2.5.

$$\sigma_{xx,min/max} = \pm \frac{N_{Ed}}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} \quad (4.51)$$

Razlika napetosti tako sledi:

$$\Delta\sigma_{xx} = |\sigma_{xx,min} - \sigma_{xx,max}| \quad (4.52)$$

Uporabljene oznake:

- $\sigma_{xx,min/max}$  : najmanjša in največja normalna napetost v kritični točki prereza
- $N_{Ed}$  : projektna osna sila v kritičnem prerezu
- $A$  : prečni prerez kritičnega dela prereza ( $A_{neto}$ ,  $A_{eff}$ ,  $A$ )
- $M_{Ed}$  : projektni moment v kritičnem prerezu
- $W$  : odpornostni moment kritičnega dela prereza ( $W_{neto}$ ,  $W_{eff}$ ,  $W$ )
- $\Delta\sigma_{xx}$  : razlika normalnih napetosti v kritični točki prereza

Z enačbo 4.53 določimo odpornost elementa proti utrujanju. Če je stopnja varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat,s}$  večja od ena, to pomeni, da življenjska doba mostu še ni prekoračena.

$$\mu_{fat,s} = \frac{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} = \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}} \quad (4.53)$$

Ekvivalentno amplitudo napetosti  $\Delta\sigma_{E,2}$  določimo z enačbo:

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{xx} \quad (4.54)$$

Uporabljene oznake:

- $\mu_{fat,s}$  : stopnja varnosti proti utrujanju pri delovanju normalnih napetosti
- $\Delta\sigma_c$  : odpornost detajla na utrujanje pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih, poglavje 2.2.2
- $\Delta\sigma_{E,2}$  : ekvivalentna amplituda napetosti pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih
- $\gamma_{Mf}$  : delni varnostni faktor za odpornost proti utrujanju  $\Delta\sigma_c$ , standard [7], poglavje 3.1:  
 $\gamma_{Mf} = 1.35$  (nična toleranca do poškodb, visoka stopnja posledic ob poružitvi)
- $\gamma_{Ff}$  : delni varnostni faktor amplitude napetosti  $\Delta\sigma_{E,2}$ , standard [8], poglavje 9.3:  
 $\gamma_{Ff} = 1.0$  (priporočena vrednost, sicer je vrednost odvisna od kontrole izvedbe detajlov)
- $\lambda$  : ekvivalentni faktor poškodb
- $\Phi_2$  : dinamični faktor za utrujanje

#### 4.6.1.3 Strižne napetosti

Strižne napetosti kontroliramo pri elementih, na katere ne deluje zanemarljivo majhna prečna sila (glavni prečnik in vzdolžnika). Podobno kot v poglavju 4.5.2.5 računamo strižne napetosti v težišču prereza, saj so tam le-te največje. Izračunamo jih po enačbi:

$$\tau_{min/max} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t} \quad (4.55)$$

Razlika napetosti tako sledi:

$$\Delta\tau = |\tau_{min} - \tau_{max}| \quad (4.56)$$

Uporabljene oznake:

- $\tau_{min/max}$  : najmanjša in največja strižna napetost v kritični točki prereza
- $V_{Ed}$  : projektna prečna sila v kritičnem prerezu
- $S$  : vrednost statičnega momenta prereza nad računsko točko glede na težišče celotnega prereza
- $I$  : pripadajoči vztrajnostni moment prereza
- $t$  : debelina prereza v računski točki pravokotno na delovanje prečne sile
- $\Delta\tau$  : razlika strižnih napetosti v kritični točki prereza

Z enačbo 4.57 določimo odpornost elementa proti utrujanju. Če je stopnja varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat}$  večja od ena, to pomeni, da življenjska doba mostu še ni prekoračena.

$$\mu_{fat,t} = \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}} \quad (4.57)$$

Ekvivalentno amplitudo napetosti  $\Delta\tau_{E,2}$  določimo z enačbo 4.58.

$$\Delta\tau_{E,2} = \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\tau \quad (4.58)$$

Uporabljene oznake:

- $\mu_{fat,t}$  : stopnja varnosti proti utrujanju pri delovanju strižnih napetosti
- $\Delta\sigma_c$  : odpornost detajla na utrujanje pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih, poglavje 2.2.2
- $\Delta\sigma_{E,2}$  : ekvivalentna amplituda napetosti pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih
- $\Delta\tau_c$  : odpornost detajla v strigu na utrujanje pri rangi napetosti  $2 \cdot 10^6$  ciklov
- $\Delta\tau_{E,2}$  : ekvivalentna amplituda napetosti za strig pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih
- $\gamma_{Mf}$  : delni varnostni faktor za odpornost proti utrujanju  $\Delta\sigma_c$ , standard [7], poglavje 3.1:  
 $\gamma_{Mf} = 1.35$  (nična toleranca do poškodb, visoka stopnja posledic ob poružitvi)
- $\gamma_{Ff}$  : delni varnostni faktor amplitude napetosti  $\Delta\sigma_{E,2}$ , standard [8], poglavje 9.3:  
 $\gamma_{Ff} = 1.0$  (priporočena vrednost)
- $\lambda$  : ekvivalentni faktor poškodb
- $\Phi_2$  : dinamični faktor za utrujanje

Pri izračunu faktorja  $\mu_{fat}$  za središčno točko prereza, kjer so strižne napetosti največje, moramo dodatno upoštevati tudi normalne napetosti, ki nastanejo zaradi delovanja osne sile. Ravnamo se po enačbi 4.59 iz standarda [7], ki predstavlja pogoj, koliko je prerez izkoriščen glede na kriterij utrujanja. Za namen izračuna vrednosti koeficienta  $\mu_{fat}$ , ki upošteva vpliv delovanja normalnih in strižnih napetosti, to enačbo nekoliko spremenimo in uporabimo enačbo 4.60.

$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1.0$$

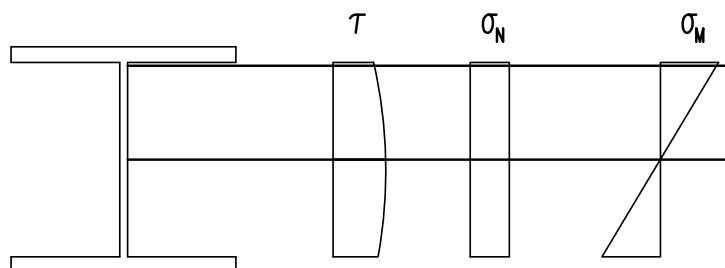
$$(\mu_{fat,s}^{-1})^3 + (\mu_{fat,t}^{-1})^5 \leq 1.0 \quad (4.59)$$

$$\mu_{fat} = \left( (\mu_{fat,s}^{-1})^3 + (\mu_{fat,t}^{-1})^5 \right)^{-1} \quad (4.60)$$

V standardu [7] sta podana detajla  $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$  in  $\Delta\sigma_c = 100 \text{ MPa}$  za izvednotenje odpornosti proti utrujanju ob delovanju strižnih napetosti. V članku [18] zasledimo, da avtorji podajajo še višjo kategorijo detajla  $\Delta\sigma_c = 117 \text{ MPa}$ . V svojih izračunih najprej uporabimo najnižjo vrednost le-tega,  $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$ , ki se v naslednjih poglavjih izkaže za zadostno, zato višje kategorije detajla ne uporabimo.



Po kasnejšem razmisleku ugotovimo, da kontrolirana točka pri interakciji strižnih in normalnih napetosti ne da najbolj neugodnega rezultata. Kot je razvidno iz slike 4.21 je verjetno najbolj kritičen prerez tik pod pasnico, kjer strižne napetosti sicer niso največje, so pa zato normalne napetosti toliko večje. Kontrole teh točk naknadno ne izvedemo.



Slika 4.21: Prikaz poteka napetosti

#### 4.6.1.4 Izračun ocene preostale življenjske dobe

Pri izračunu preostale življenjske dobe upoštevamo projektno življenjsko dobo 160 let in pretovor  $25 \cdot 10^6$  ton. Prav tako upoštevamo obremenitve glede na ovojnico, ki zajema obremenitve vlaka obtežne sheme C2, ki prečka most s hitrostjo 30 km/h in 0 km/h. Če je vrednost stopnje varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat}$  večja od ena, element še ni bil izpostavljen preveliki obtežbi. V primeru, da varnost ni zagotovljena, se ti elementi kontrolirajo z natančnejšimi metodami v naslednjih poglavjih. V principu to pomeni, če ima  $\mu_{fat}$  vrednost manjšo od ena, je za kontroliran element zelo verjetno, da se je na njem razpoka že razvila ali pa se bo razvila v zelo bližnji prihodnosti.

Pri analizi paličnih elementov ugotovimo, da noben izmed elementov ni bil izpostavljen prekomernim obremenitvam. Podrobnejši izračun je podan v preglednici F1.

Preglednica 4.29: Kontrola prve faze utrujanja za palične elemente ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ )

Element		Ovojnica osnih sil		Razlika napetosti	Faktorirana amplituda napetosti	Odpornost
		$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{E,z}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\mu_{\text{rat}}$
Diagonale notranjega paličnega nosilca	Z1b	-25	444	4.76	3.37	1.56
	Z2b	-35	350	4.83	3.41	1.54
	Z3b	-42	267	4.44	3.14	1.68
	Z4b	-56	192	4.82	3.41	1.54
	Z5b	-78	152	4.56	3.22	1.63
	Z6b	-114	111	3.95	2.79	1.88
	D1b	-559	36	2.63	1.86	2.82
	D2b	-391	26	2.11	1.49	3.52
	D3b	-278	34	2.18	1.54	3.41
	D4b	-224	54	2.34	1.65	3.18
	D5b	-150	75	3.47	2.45	2.15
	D6b	-116	110	3.95	2.79	1.88
Diagonale zunanjega paličnega nosilca	Z1a	-6	548	5.08	3.59	1.46
	Z2a	-17	518	5.56	3.93	1.34
	Z3a	-35	400	5.08	3.59	1.46
	Z4a	-63	302	5.29	3.74	1.41
	Z5a	-105	218	5.30	3.74	1.40
	Z6a	-162	148	5.38	3.80	1.38
	D1a	-744	0	2.61	1.84	2.85
	D2a	-539	10	2.38	1.68	3.13
	D3a	-456	23	2.44	1.72	3.05
	D4a	-352	54	2.75	1.95	2.70
	D5a	-260	102	3.66	2.59	2.03
	D6a	-161	148	5.37	3.79	1.39
Horizontalne diagonale spodaj (u) in zgoraj (o)	W1u	-40	80	5.45	3.85	1.36
	W2u	-23	59	4.66	3.30	1.60
	W3u	-17	62	4.69	3.32	1.58
	W4u	-13	62	4.58	3.24	1.62
	W5u	-10	63	4.56	3.23	1.63
	W6u	-10	62	4.50	3.18	1.65
	W1o	-111	33	1.85	1.31	4.01
	W2o	-55	12	0.96	0.68	7.78
	W3o	-34	10	0.75	0.53	9.92
	W4o	-29	9	0.77	0.54	9.71
	W5o	-16	10	0.74	0.52	10.11
	W6o	-12	9	0.80	0.56	9.32
Vezi	Spodnja vez00	-2	51	1.23	0.87	6.04
	Spodnja vez1166	-50	0	0.71	0.50	10.48
	Bočna vez	-129	16	2.28	1.61	3.26
Diagonala bočne vezi		-40	42	6.96	4.92	1.07
Prečna diagonala00		-120	36	1.49	1.05	4.99
Prečna diagonala1166		-32	24	2.25	1.59	3.31

Pri analizi elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja ugotovimo, da noben element ni bil izpostavljen prekomernim obremenitvam in da življenjska doba teh elementov ni prekoračena. Podrobnejši izračun je podan v preglednicah F2 in F3. Pri izračunu niso upoštevane največje obremenitve, ki se pojavijo v posameznem tipu elementa, ampak so obremenitve odčitane v prerezu, kjer se pojavijo največje normalne napetosti. V preglednicah F4 in F5 je prikazan izračun napetosti za posamezen tip elementa in določitev merodajnega oziroma najbolj obremenjenega prereza.

Preglednica 4.30: Kontrola prve faze utrujanja za elemente zgornjega in spodnjega pasu paličja (C2,  $V = 30 \text{ km/h}$ )

Element		Ovojnica notranjih statičnih količin						Razlika napetosti	Faktorirana amplituda napetosti	Odpornost
		$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\mu_{fat}$
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	-249	6	-226	926	-418	1286	3.24	2.29	2.29
	O2	-815	22	-209	1564	-1753	932	3.89	2.75	1.91
	O3	-1205	41	-184	1907	-1766	723	4.60	3.25	1.62
	O4	-1455	53	-202	2126	-2620	962	4.89	3.45	1.52
	O5	-1613	62	-181	2607	-2890	959	4.92	3.47	1.51
	O6	-1655	66	-180	2607	-2890	959	5.02	3.55	1.48
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	-277	6	-427	588	-464	1289	3.10	2.19	2.40
	O2a	-1056	0	-149	2007	-1825	965	4.57	3.23	1.63
	O3a	-1623	0	-220	2228	-1928	787	5.38	3.80	1.38
	O4a	-2051	0	-232	3046	-2874	1056	5.99	4.23	1.24
	O5a	-2314	0	-285	3831	-3190	1089	6.09	4.31	1.22
	O6a	-2407	0	-285	3831	-3189	1088	6.27	4.43	1.19
		$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$M_{z,\min}$ [kNcm]	$M_{z,\max}$ [kNcm]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\mu_{fat}$
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	-5	511	-11	739	-302	473	5.71	4.04	1.30
	U2	-1	1087	-21	1171	-537	240	5.69	4.02	1.31
	U3	-85	1258	-62	1463	-391	126	5.92	4.18	1.26
	U4	-105	1527	-90	1579	-589	224	5.80	4.10	1.28
	U5	-113	1668	-104	2044	-547	216	6.39	4.52	1.16
	U6	-111	1722	-104	2043	-548	216	6.00	4.24	1.24
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	0	1662	0	1809	-441	173	6.17	4.36	1.20
	U4a	-3	2073	-2	2374	-689	272	6.85	4.84	1.09
	U5a	-1	2313	-7	2921	-653	259	6.83	4.82	1.09
	U6a	-1	2376	-7	2965	-626	249	7.00	4.95	1.06

Pri analizi elementov vertikal, prečnikov in vzdolžnikov prav tako kontroliramo najbolj obremenjen prerez posameznega tipa elementa. Pri določitvi le-tega si pomagamo z računalniškim programom Scia Engineer. Vpliv normalnih napetosti kontroliramo v prerezu, kjer se pojavi največja razlika normalnih napetosti. Vpliv strižnih in normalnih napetosti kontroliramo v prerezu, kjer se pojavijo največje strižne napetosti. Ugotovimo, da je življenjska doba ob najbolj konzervativnih predpostavkah v najbolj obremenjenem prerezu zunanjega vzdolžnika, notranjega vzdolžnika ter prečnika in vmesne vertikale prekoračena, kar se tiče vpliva normalnih napetosti (preglednica 4.31). Pri prej omenjenih elementih je prekoračena tudi v primeru, ko znižamo letni pretovor na  $10 \cdot 10^6 \text{ t}$  in upoštevamo življenjsko dobo 120 let za ugotovitev trenutnega stanja mostu (preglednica 4.32). Podrobnejši izračun je podan v preglednicah od F6 do F15.

Preglednica 4.31: Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (normalne napetosti) (C2,  $V = 30 \text{ km/h}$ )

Element	Vpliv normalnih napetosti						$\mu_{fat}$
	Ovojnica notranjih statičnih količin						
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]	
Zunanji vzdolžnik	-20	9	-8650	17432	-238	8	0.68
Notranji vzdolžnik	-20	18	-8278	15761	-243	170	0.64
Prečnik	-1	85	-880	19610	-437	2746	0.55
Vmesna vertikala	-7	195	-775	320	-816	212	0.60
Krajna vertikala	-405	4	-100	279	-7617	421	1.35

Preglednica 4.32: Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (normalne napetosti, spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb) (C2,  $V = 30 \text{ km/h}$ )

Element	Vpliv normalnih napetosti						$\mu_{fat}$
	Ovojnica notranjih statičnih količin						
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]	
Zunanji vzdolžnik	-20	9	-8650	17432	-238	8	0.87
Notranji vzdolžnik	-20	18	-8278	15761	-243	170	0.81
Prečnik	-1	85	-880	19610	-437	2746	0.70
Vmesna vertikala	-7	195	-775	320	-816	212	0.76
Krajna vertikala	-405	4	-100	279	-7617	421	1.73

Pri izračunu življenjske dobe za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov glede na vpliv strižnih napetosti in pripadajočih normalnih napetosti v središču najbolj obremenjenega prereza elementa ugotovimo, da ni za noben element prekoračena (preglednica 4.33). Ko spremenim delne faktorje poškodb na najugodnejše, dobimo še boljše rezultate (preglednica 4.34). Glede na te rezultate lahko tako zaključimo, da je vpliv strižnih napetosti na življenjsko dobo elementa zelo majhen v primerjavi z vplivom normalnih napetosti, zato vpliva le-teh ne kontroliramo v naslednjih korakih ocene preostale življenjske dobe.

Preglednica 4.33: Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (strižne in normalne napetosti) (C2,  $V = 30 \text{ km/h}$ )

Element	Vpliv strižnih in pripadajočih normalnih napetosti						
	Ovojnica notranjih statičnih				Odpornost		
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$ V_y _{max}$ [kN]	$ V_z _{max}$ [kN]	$\mu_{fat,\sigma}$	$\mu_{fat,\tau}$	$\mu_{fat}$
Zunanji vzdolžnik	-20	9	3	188	34.81	1.98	30
Notranji vzdolžnik	-30	31	6	186	15.99	1.39	5.16
Prečnik	-2	26	10	268	36.24	1.39	5.15
Vmesna vertikala	Ni vpliva striga.						
Krajna vertikala	Ni vpliva striga.						

Preglednica 4.34: Kontrola prve faze utrujanja za elemente vertikal, prečnikov in vzdolžnikov (strižne in normalne napetosti, spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb) ( $C2, V = 30 \text{ km/h}$ )

Element	Vpliv strižnih in pripadajočih normalnih napetosti						
	Ovojnica notranjih statičnih				Odpornost		
	$N_{\min}$ [kN]	$N_{\max}$ [kN]	$M_{y,\min}$ [kNcm]	$M_{y,\max}$ [kNcm]	$\mu_{fat,\sigma}$	$\mu_{fat,\tau}$	$\mu_{fat}$
Zunanji vzdolžnik	-20	9	3	188	43.96	2.06	37
Notranji vzdolžnik	-30	31	6	186	20.19	1.75	17
Prečnik	-2	26	10	268	45.77	1.75	17
Vmesna vertikala	Ni vpliva striga.						
Krajna vertikala	Ni vpliva striga.						

#### 4.6.2 Drugi korak: podrobne preiskave

V drugem koraku ocene preostale življenjske dobe obravnavamo elemente, za katere se po prvem koraku ocene izkaže, da je življenjska doba že prekoračena. Podrobnejšo oceno utrujanja naredimo na podlagi v naprej določenih obtežnih shem (poglavje 3.4.4.3). Te so podane s kombinacijo točkovnih sil, za katere določimo pripadajoče centrifugalne sile (proga v krivini) in pripadajoče sile ekscentričnosti tovora (tovor je neenakomerno naložen na vagone). Končne izračunane vrednosti so podane v preglednici 4.35.

Preglednica 4.35: Obtežba utrujanja pri  $V = 30 \text{ km/h}$

	Vertikalne sile		Horizontalne sile	
	Zunanji vzdolžnik	Notranji vzdolžnik	Zunanji vzdolžnik	Notranji vzdolžnik
	$Q_{vk}$ [kN]	$Q_{vk}$ [kN]	$Q_{tk}$ [kN]	$Q_{tk}$ [kN]
Sila 225 kN	127.77	97.23	2.66	2.66
Sila 200 kN	113.57	86.43	2.36	2.36
Sila 170 kN	96.54	73.46	2.01	2.01
Sila 150 kN	85.18	64.82	1.77	1.77
Sila 110 kN	62.46	47.54	1.30	1.30
Sila 70 kN	39.75	30.25	0.83	0.83

V tem koraku predpostavimo, da se ob prehodu posamezne obtežne sheme zgodi samo ena sprememba napetosti  $\Delta\sigma_{xx}$ . S programom Scia Engineer tako za vsako obtežno shemo najprej določimo notranje statične količine v najbolj obremenjenem prerezu obravnavanega elementa, nato določimo še največjo razliko napetosti v posamezni točki prereza. Te napetosti še dodatno faktoriramo z dinamičnim faktorjem realnih vlakov  $\varphi$  (poglavje 4.6.2.1) in koeficientom vpliva sekundarnih napetosti  $k$  (poglavje 4.6.2.2):

$$\Delta\sigma_f = \varphi \cdot k \cdot \Delta\sigma_{xx} \quad (4.61)$$

Z enačbami od 4.62 do 4.64 določimo največje število ciklov  $N_i$ , ki jih obravnavan prerez pri izbrani spremembi napetosti prenese. Pri tem izračunu upoštevamo Wöhlerjevo krivuljo kategorije 71.

$$N_i = 2 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_f} \right)^m; \quad \Delta\sigma_f \geq \Delta\sigma_D \text{ in } m = 3 \quad (4.62)$$

$$N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_f} \right)^m; \quad \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_f \leq \Delta\sigma_D \text{ in } m = 5 \quad (4.63)$$

$$N_i = 10^8; \quad \Delta\sigma_f \leq \Delta\sigma_L \text{ in } m = \infty \quad (4.64)$$

$$\Delta\sigma_D = 0.737 \cdot \Delta\sigma_c \quad (4.65)$$

$$\Delta\sigma_L = 0.549 \cdot \Delta\sigma_D \quad (4.66)$$

Uporabljene oznake:

$\Delta\sigma_{xx}$  : razlika normalnih napetosti v kritični točki prereza

$\Delta\sigma_f$  : faktorirana razlika normalnih napetosti v kritični točki prereza

$N_i$  : največje število ciklov za območje razpona napetosti  $\Delta\sigma_f$

$\Delta\sigma_c$  : odpornost detajla na utrujanje pri  $2 \cdot 10^6$  ciklih

$\Delta\sigma_D$  : odpornost detajla na utrujanje pri  $5 \cdot 10^6$  ciklih

$\Delta\sigma_L$  : odpornost detajla na utrujanje pri nivoju napetosti trajne trdnosti

$m$  : naklon krivulje utrujanja

Pri izračunu stopnje utrujanja upoštevamo najnovejša priporočila, ki smo jih predstavili v poglavju 2.2.2. Za začetek upoštevamo Wöhlerjevo krivuljo kategorije 71. V primeru, da se kontrola ne izide in članek [26] priporoča boljši detajl, le-tega tudi uporabimo.

Za vsak obravnavan element izračunamo razliko napetosti  $\Delta\sigma_{xx}$  ob delovanju različnih tipov obtežnih shem in določimo najbolj obremenjeno točko kritičnega prereza. V njej izračunamo napetost, ki nastane zaradi delovanja obtežne kombinacije FAT1 (poglavje 3.4.5). To je napetost ( $\sigma_m$ ), ki se v tej točki pojavi. Največjo napetost  $\Delta\sigma_{max}$  in najmanjšo napetost  $\Delta\sigma_{min}$  izračunamo po enačbah 4.67 in 4.68, pri čemer napetosti  $\sigma_{xx,min}$  in  $\sigma_{xx,max}$  izračunamo glede na notranje statične količine po obtežbi FAT2 (poglavje 3.4.5)

$$\Delta\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_{xx,max} \quad (4.67)$$

$$\Delta\sigma_{min} = \sigma_m + \sigma_{xx,min} \quad (4.68)$$

Z enačbami iz poglavja 2.2.2.1 določimo za vsak tip obtežbe napetostno razmerje  $R$ , faktor napetostnega razmerja  $f(R)$  in odpornost na utrujanje  $\Delta\sigma_c(R)$ . Za izračun največjega števila ciklov za razliko napetosti posameznega tipa obtežbe uporabimo pripadajočo vrednost koeficienta  $\Delta\sigma_c(R)$  za obravnavani element. Na podlagi tega koeficienta nato izračunamo pripadajoče vrednosti  $\Delta\sigma_L$  in  $\Delta\sigma_D$ , s katerima določimo največje število ciklov  $N_i$  za posamezen tip obtežbe oziroma pripadajočo razliko napetosti

$\Delta\sigma_{xx}$ . Iz tega izvrednotimo razmerje  $\frac{n_i}{N_i}$ , ki vrednoti količino izrabljene življenjske dobe elementa v enem letu glede na predpisano število prehodov posameznega tipa obtežbe v enem letu (preglednica 3.14). S temi vrednostmi lahko nato izvrednotimo predvideno življenjsko dobo elementa z enačbo 4.69, preostalo življenjsko dobo pa po enačbi 4.70.

$$\text{Predvidena življenjska doba} = \frac{1}{\sum(n_i/N_i)} \quad (4.69)$$

$$\begin{aligned} \text{Preostala življenjska doba} = \\ = \text{predvidena življenjska doba} - (\text{trenutno leto} - \text{leto izgradnje}) \end{aligned} \quad (4.70)$$

#### 4.6.2.1 Dinamični faktor realnih vlakov

Pri podrobnejši analizi preostale življenjske dobe, pri kateri se uporabijo natančnejše obtežne sheme (realni vlaki) in dejanske razlike napetosti, se mora uporabiti natančnejši dinamični faktor  $\varphi$  za utrujanje, ki se določi z enačbo 4.71. V osnovi se določi na podlagi Aneksa C v standardu [4], v Aneksu D pa so vpeljane določene poenostavitve, zato enačbe veljajo za hitrosti vlakov, ki so nižje od 200 km/h. Primerjava rezultatov je podana v preglednici 4.36.

$$\varphi = 1 + 0.5 \cdot (\varphi' + 0.5 \cdot \varphi'') \quad (4.71)$$

#### Aneks C

$$\varphi' = \begin{cases} \frac{K}{1 - K + K^4}; & K < 0.76 \\ 1.325; & K \geq 0.76 \end{cases} \quad (4.72)$$

$$K = \frac{v}{2 \cdot L_{\Phi} \cdot n_0} \quad (4.73)$$

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \cdot \left( 56 \cdot e^{-\left(\frac{L_{\Phi}}{10}\right)^2} + 50 \cdot \left(\frac{L_{\Phi} \cdot n_0}{80} - 1\right) \cdot e^{-\left(\frac{L_{\Phi}}{20}\right)^2} \right); \quad \varphi'' \geq 0.0 \quad (4.74)$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{v}{22}; & v \leq 22 \text{ m/s} \\ 1.0; & v > 22 \text{ m/s} \end{cases} \quad (4.75)$$

Uporabljene oznake:

$\varphi', \varphi''$ : delna dinamična faktorja

$v$ : največja hitrost vlakov [ $m/s$ ]

$L_{\Phi}$ : vplivna dolžina določena v skladu s preglednico 6.2 iz standarda [4], odvisna od dolžine  $L$  obravnavanega elementa [m] (poglavje 3.4.1)

$n_0$ : prva lastna frekvenca mostu pri upoštevanju mase stalne obtežbe na mostu [ $Hz$ ] (poglavje 4.2)

$\alpha$ : koeficient hitrosti

#### Aneks D

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4} \quad (4.76)$$

$$K = \begin{cases} \frac{v}{160}; & L \leq 20 \text{ m} \\ \frac{v}{47.16 \cdot L^{0.408}}; & L > 20 \text{ m} \end{cases} \quad (4.77)$$

$$\varphi'' = 0.56 \cdot e^{-\left(\frac{L_{\Phi}^2}{100}\right)} \quad (4.78)$$

Uporabljene oznake:

$\varphi'$ : prvi delni dinamični faktor

$\varphi''$ : drugi delni dinamični faktor

$v$ : največja hitrost vlakov [ $m/s$ ]

$L_{\Phi}$ : vplivna dolžina določena v skladu s preglednico 6.2 iz standarda [4], odvisna od dolžine  $L$  obravnavanega elementa [m] (poglavje 3.4.1)



Preglednica 4.36: Primerjava izračuna dinamičnega faktorja  $\varphi$

	Elementi glavnega paličnega nosilca	Vzdolžni nosilci	Prečniki
$L$ [m]	53.46	4.86	3.90
$L_{\Phi}$ [m/s]	53.46	7.86	7.80
$v$ [m/s]	8.33		
$n_0$ [Hz]	4.10		
$\alpha$	1.0		
Aneks C			
$K$	0.019	0.129	0.130
$\varphi'$	0.019	0.148	0.150
$\varphi''$	0.001	0.046	0.047
$\varphi$	1.01	1.09	1.09
Aneks D			
$K$	0.035	0.052	0.052
$\varphi'$	0.036	0.055	0.055
$\varphi''$	0.000	0.302	0.305
$\varphi$	1.02	1.10	1.10

Kot je bilo pričakovano, pride pri izračunu po različnih aneksih do razlik pri vrednostih dinamičnega faktorja  $\varphi$ . Odločimo se, da v nadaljnjem izračunu upoštevamo največje vrednosti dinamičnega faktorja  $\varphi$  za posamezen tip elementov in smo tako na varni strani. Razlika v dinamičnem faktorju po enem in drugem postopku je sicer minimalna.

#### 4.6.2.2 Koeficient vpliva sekundarnih napetosti

V priporočilu [13] avtorji izpostavijo vpliv sekundarnih napetosti na proces utrujanja konstrukcije in koeficient  $k$ , s katerim te napetosti upoštevamo v izračunu. Določimo ga po enačbi 4.79, kjer upoštevamo, da so spoji v programu Scia Engineer pravilno modelirani in povečanje obremenitev nastane samo zaradi ekscentričnosti spojenih elementov.

$$k = 1 + k_1 + k_2 = 0.00 + 0.08 = 1.08 \quad (4.79)$$

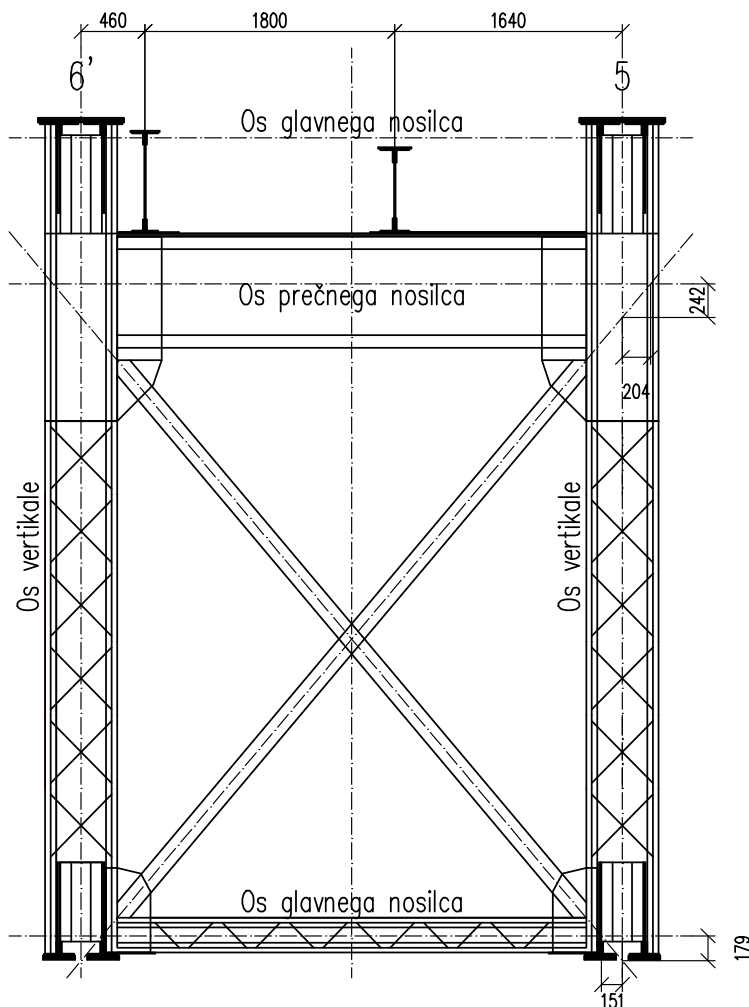
Uporabljene oznake:

$k$  : koeficient vpliva sekundarnih napetosti

$k_1$  : koeficient togosti vpetja (členek/polno vpetje), privzamemo  $k_1 = 0.00$

$k_2$  : koeficient ekscentričnosti spojenih elementov, priporočena vrednost je  $k_2 = 0.08$

Na sliki 4.22 se lepo vidi, kaj pomeni ekscentričnost spojenih elementov v praksi. Prikazan je potek osi elementov v prečnem prerezu na sredini mostu. Model v programu Scia Engineer smo zasnovali tako, da smo upoštevali glavne osi vertikal, prečnih in glavnega nosilca, osi prečnih diagonal pa smo morali nekoliko spremeniti. Dejanskega vpliva ekscentričnosti nismo računali, privzeli smo le priporočeno vrednost.



Slika 4.22: Prikaz ekscentričnosti na prečnem prerezu mostne konstrukcije

### 4.6.2.3 Izračun preostale življenjske dobe

Najprej se odločimo preveriti najbolj obremenjen element notranjega vzdolžnika (Notranji vzdolžnik 1), v prerezu, kjer se pojavijo največje normalne napetosti - 1.6254 m od zunanjega roba mostu. Odpornost tega prereza v prvi fazi znaša  $\mu_{fat} = 0.64$  po najstrožjih pogojih oziroma  $\mu_{fat} = 0.81$ , če upoštevamo nižji letni pretovor preko mostu in življenjsko dobo konstrukcije, ki opiše trenutno stanje mostu. Ugotovimo, da je preostala življenjska doba tega prereza 449 let (preglednica 4.37). Preostanek izračuna je podan v prilogi G.1.

Preglednica 4.37: Izračun preostale življenjske dobe Notranjega vzdolžnika 1,  $l = 1.6254$  m

NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, $l = 1.6254$ m											
Bruto prerez										Efektivni prerez	
$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{zg,n}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{sp,n}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta t_z$ [cm]
119321	3891	-31.00	0.00	31.00	0.00	12.00	0.00	-12.00	0.00	184.00	0.00

$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\phi$	1.103	[/]
k	1.08	[/]
Leto izgradnje:	1905	
Trenutno leto:	2016	

Tip vlaka	$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
1	4.77	5.69	2190	5672750	0.0003861
2	3.84	4.58	2190	16061713	0.0001363
3	3.64	4.33	1095	21668773	0.0000505
4	3.10	3.69	1095	49127185	0.0000223
6	5.12	6.11	2190	4411324	0.0004964
7	5.25	6.26	1460	4146964	0.0003521
8	5.58	6.65	1095	3193361	0.0003429
			$\Sigma n_i =$	11315	
					$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.001787

Predvidena življenjska doba	560	[let]
Preostala življenjska doba	449	[let]

Kontrolo naredimo še za najbolj obremenjen prečnik, Prečnik 11. Največje normalne napetosti se pojavijo na razdalji 0.8528 m od notranjega paličnega nosilca mostu. Odpornost tega prereza v prvi fazi je  $\mu_{fat} = 0.55$  po najstrožjih pogojih oziroma  $\mu_{fat} = 0.70$ , če upoštevamo nižji letni pretovor preko mostu in življenjsko dobo konstrukcije, ki opiše trenutno stanje mostu. Ugotovimo, da je preostala življenjska doba tega prereza že prekoračena za 68 let (preglednica 4.38). Celoten izračun je podan v prilogi G.2.

Preglednica 4.38: Izračun preostale življenjske dobe Prečnika 11,  $l = 0.8528 m$ 

PREČNIK 11, $l = 0.8528 m$											
Bruto prerez										Efektivni prerez	
$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{zg,n}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{sp,n}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta t_z$ [cm]
227398	6139	-34.56	0.00	46.64	0.00	14.00	0.00	-14.00	0.00	191.04	0.00

$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Phi$	1.103	[/]
$k$	1.08	[/]
Leto izgradnje:	1905	
Trenutno leto:	2016	

Tip vlaka	$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
1	7.52	8.96	2190	778931	0.0028115
2	6.60	7.86	2190	994181	0.0022028
3	6.55	7.81	1095	1019403	0.0010742
4	6.24	7.43	1095	1137583	0.0009626
6	9.84	11.73	2190	352853	0.0062066
7	11.42	13.61	1460	232786	0.0062719
8	10.41	12.40	1095	299533	0.0036557
			$\sum n_i =$ 11315		$\sum (n_i/N_i) =$ 0.023185

Predvidena življenjska doba	43	[let]
Preostala življenjska doba	-68	[let]

Ugotovimo, da rezultati v preglednicah 4.37 in 4.38 potrjujejo izračune v poglavju 4.6.1.4, ki pravijo, da ima najbolj obremenjena točka notranjega vzdolžnika na razpolago še nekaj preostale življenjske dobe in da je življenjska doba najbolj obremenjene točke prečnika že izkoriščena.

Zanimiva je sprememba koeficienta odpornosti na utrujanje, odvisnega od napetostnega razmerja  $R$ ,  $\Delta\sigma_c(R)$ . Pri obravnavanem elementu notranjega vzdolžnika se koeficient odpornosti na utrujanje poveča, saj je kritična točka izpostavljena tlačnim in nateznim napetostim. Pri obravnavanem elementu prečnika pa je kritična točka večinoma v nategu. Zato se na elementu vzdolžnika odpornost na utrujanje poveča (povprečna vrednost za vse tipe obtežnih shem je  $\Delta\sigma_c(R) = 7.89 \text{ kN/cm}^2$ ), pri elementu prečnika pa se ta vrednost zmanjša (povprečna vrednost za vse tipe obtežnih shem je  $\Delta\sigma_c(R) = 6.42 \text{ kN/cm}^2$ ). To ima velik vpliv na preostalo življenjsko dobo elementa.

Postopek izračuna natančnejšega koeficienta odpornosti na utrujanje  $\Delta\sigma_c(R)$  je podrobno opisan v poglavju 2.2.2.1. Izračun prikažemo za element Prečnik 11 (enačba 4.80), pri tem kontroliramo točko T3. V kontroliranem prerezu na razdalji  $l = 0.8528 m$  od roba konstrukcije odčitamo notranje statične količine, ki nastanejo zaradi delovanja lastne in stalne obtežbe, iz katerih izračunamo napetosti v obravnavani točki. Izračunana napetost je  $\sigma_{xx} = 3.15 \text{ kN/cm}^2$ , ki jo lahko označimo kot srednjo vrednost napetosti, okoli katere niha napetost ob delovanju posameznega tipa obtežbe vlakovne kompozicije. Nato odčitamo največje in najmanjše vrednosti notranjih statičnih količin za obtežbo vlakovne kompozicije

tip 1 in iz njih za obravnavano točko T3 izračunamo največjo  $\sigma_{xx,max}$  in najmanjšo  $\sigma_{xx,min}$  napetost. Izračunamo še absolutno največjo  $\Delta\sigma_{max}$  in najmanjšo  $\Delta\sigma_{min}$  napetost v točki T3 in na podlagi teh napetosti določimo napetostno razmerje  $R$ . Z uporabo ustrezne enačbe iz preglednice 2.1 določimo koeficient  $f(R)$ , s katerim množimo začetno odpornost na utrujanje  $\Delta\sigma_{c,0}$ , da dobimo odpornost na utrujanje  $\Delta\sigma_c(R)$ .

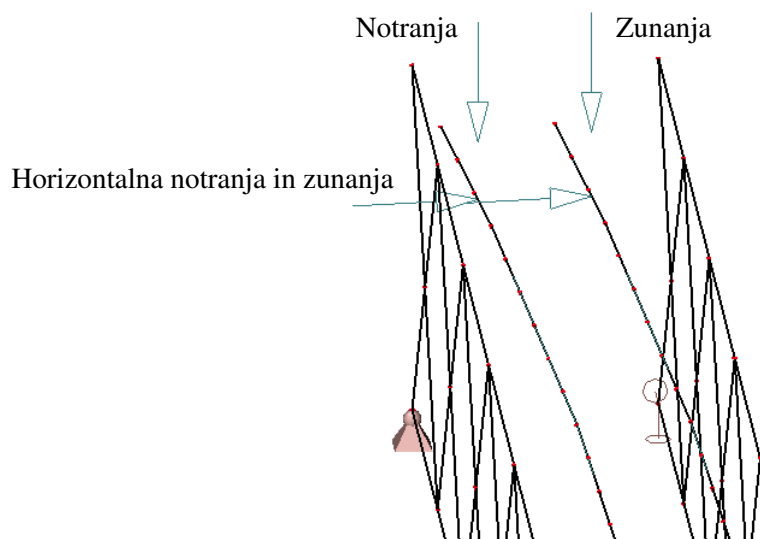
$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_{c,0} &= 7.1 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xx} &= 3.15 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xx,min} &= -1.42 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{xx,max} &= 6.66 \text{ kN/cm}^2 \\
 \Delta\sigma_{min} &= \sigma_{xx} + \sigma_{xx,min} = 3.15 \text{ kN/cm}^2 - 1.42 \text{ kN/cm}^2 = 1.73 \text{ kN/cm}^2 \\
 \Delta\sigma_{max} &= \sigma_{xx} + \sigma_{xx,max} = 3.15 \text{ kN/cm}^2 + 6.66 \text{ kN/cm}^2 = 9.82 \text{ kN/cm}^2 \\
 R &= \frac{\Delta\sigma_{min}}{\Delta\sigma_{max}} = \frac{1.73 \text{ kN/cm}^2}{9.82 \text{ kN/cm}^2} = 0.176 \\
 f(R) &= \frac{1 - R}{1 - 0.60 \cdot R} = \frac{1 - 0.176}{1 - 0.60 \cdot 0.176} = 0.921 \\
 \Delta\sigma_c(R) &= f(R) \cdot \Delta\sigma_{c,0} = 0.921 \cdot 7.1 \text{ kN/cm}^2 = 6.54 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned} \tag{4.80}$$

#### 4.6.3 Drugi korak: podrobne preiskave z upoštevanjem dejanskega števila ciklov

V poglavju 4.6.2 uporabimo poenostavitev pri izračunu preostale življenjske dobe, saj ob enem prehodu vlaka upoštevamo samo en cikel spremembe napetosti. Ta izračun nadgradimo tako, da za vsak tip obtežne sheme določimo potek napetosti v izbrani točki prereza, ki se zgodi ob enem prehodu. Na podlagi poteka napetosti določimo število posameznih ciklov sprememb napetosti  $\Delta\sigma$ , ki nam pomagajo natančneje izračunati preostalo življenjsko dobo za posamezen element. Izkaže se, da se na tak način dobijo točnejši rezultati, ki navadno dajejo nižje vrednosti preostale življenjske dobe kot rezultati pri poenostavljeni metodi drugega koraka.

##### 4.6.3.1 Določitev spreminjanja napetosti v odvisnosti od položaja vlaka

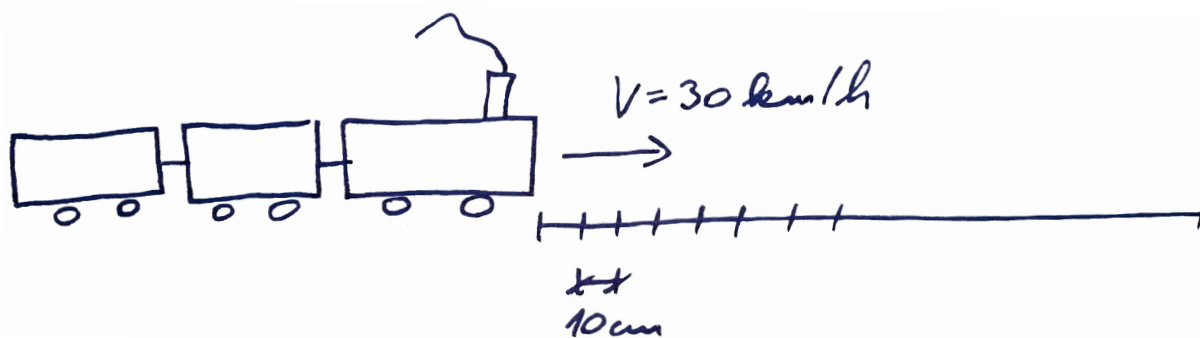
Pri določitvi poteka napetosti v izbrani točki najprej za z normalnimi napetostmi najbolj obremenjen prerez obravnavanega elementa iz programa Scia Engineer izvozimo podatke o vplivnici za osno silo  $N$ , moment  $M_y$  in moment  $M_z$  za vse obtežne poti - notranja, zunanja, horizontalna notranja in horizontalna zunanja (slika 4.23). Program po tej poti zapelje enotsko silo, vrednosti notranjih statičnih količin v izbrani točki se med "potovanjem" sile spreminjajo. Prav te vrednosti pa so vrednosti vplivnice, ki jih uporabimo v izračunu. Na vsakega izmed vzdolžnikov zato nanese dve obtežni poti, vertikalno in horizontalno, po katerih zapeljemo vertikalno obtežbo teže vlakov in horizontalno obtežbo centrifugalnih sil pri gibanju vlaka v krivini.



Slika 4.23: Prikaz obtežnih poti

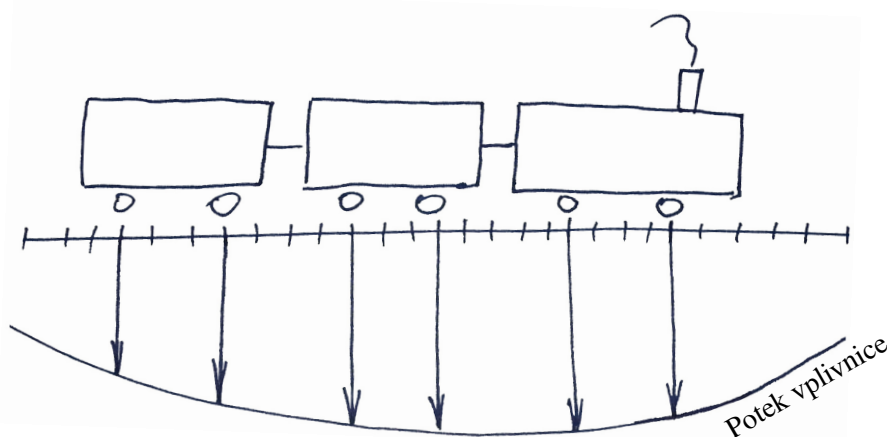
Celoten postopek izrednotenja vplivnic in izračun poteka napetosti v izbrani točki sprogramiramo v programu Wolfram Mathematica. Podatki za posamezno vplivnico so določeni v spremenljivem rastru, vendar ne več kot na vsakih 10 cm. Odločimo se, da vpeljemo raster 10 cm, na katerega prilagodimo vrednosti vplivnic. Zaradi tega takoj po branju podatkov v programu Wolfram Mathematica vpeljemo algoritem, ki interpolira sosednji vrednosti vplivnice in določi potrebno vrednost vplivnice v okviru rastra 10 cm. Zaradi uporabljenega rastra 10 cm moramo malenkost predelati obtežni shemi tip 3 in 4, saj njuna razporeditev obtežbe ne sovпада z izbranim rastrom. Shemi tip 3 in 4 zato spremenimo tako, da vsako medosno razdaljo, ki ni v rastru 10 cm, zaokrožimo navzdol. Spremenjeni shemi zaradi tega sicer nista več popolnoma točni, sta pa na varni strani.

V Wolfram Mathematico nato uvozimo potek posameznega tipa obtežbe (v nadaljevanju: vlak), ki ga prej določim v programu Excel. Ustvarimo matriko ustrezne velikosti, v katero zapisujemo na katerih mestih so osi vlaka in obtežbe glede na položaj vlaka med prečkanjem mostu. Algoritem se začne tako, da je rob posameznega vlaka na robu mostu oziroma na prvi točki vplivnice (slika 4.24). Vlak se nato začne "pomikati" čez most s korakom 10 cm. Položaj osi koles posameznega vlaka se zapiše v prej ustvarjene matrike za vsak korak, dokler celotna kompozicija ne prečka mostu. Algoritem se zaključí, ko je zadnji rob vlaka na mestu zadnje točke mostu oziroma zadnje točke vplivnice.



Slika 4.24: Prikaz poti vlaka preko mosta

Samo vplivnico iz vrednotimo tako, da množimo vrednosti vplivnice v posamezni točki mostu z vrednostjo obtežbe v posamezni točki mostu in seštevanje le-teh za vsakega izmed položajev vlaka (slika 4.25). Tako dobimo potek osne sile  $N$ , momenta  $M_y$  in momenta  $M_z$  med prečkanjem vlaka preko mosta. V poglavju 4.6.2 smo že določili kritično točko, za katero opravimo kontrolo utrujanja zaradi delovanja normalnih napetosti. Za isto točko nato izračunamo potek napetosti glede na potek notranjih statičnih količin ( $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ). Pri tem upoštevamo še reduciran vpliv tlačenih napetosti na utrujanje (standard [7]), vse negativne napetosti namreč zmanjšamo za faktor 0.6. Izračunan potek napetosti nato uvozimo v algoritem Rainflow metode, ki ga prav tako spišemo v programu Wolfram Mathematica.



Slika 4.25: Vrednotenje vplivnice

#### 4.6.3.2 Kontrola rezultatov peš računa

Rezultate "peš računa" v programu Mathematica preverimo z rezultati, ki jih dobimo v programu Scia Engineer (preglednica 4.39). Kontrolo podamo le za obtežbo vlaka tip 1 pri kontroli Notranjega vzdolžnika 1. Ugotovimo lahko, da se največje in najmanjše vrednosti posameznih notranjih statičnih za vsako obtežno pot ujemajo. Nekaj večje odstopanje je le pri najmanjši vrednosti osne sile za notranjo horizontalno obtežno pot. To razliko lahko pripišemo dejstvu, da moramo vrednosti vsake vplivnice interpolirati tako, da dobimo podatke o vrednostih vplivnice v rastru 10 cm. Pri tem se lahko zgodi, da se med interpolacijo delno izgubijo lokalno največje oziroma najmanjše vrednosti vplivnice, kar se odraža pri minimalnem odstopanju rezultatov.

Preglednica 4.39: Primerjava vrednosti notranjih statičnih količin

		SCIA	Mathematica	Razmerje
Zunanja	min N	-2.49	-2.521	0.99
	max N	18.61	18.632	1.00
	min My	-1.01	-1.033	0.98
	max My	7.59	7.636	0.99
	min Mz	-0.11	-0.112	0.98
	max Mz	0.36	0.362	0.99
Notranja	min N	-4.26	-4.263	1.00
	max N	5.73	5.828	0.98
	min My	-16.28	-16.619	0.98
	max My	120.27	118.816	1.01
	min Mz	-0.001	-0.001	1.00
	max Mz	0.84	0.845	0.99
Zunanja horizontalne	min N	-1.32	-1.337	0.99
	max N	2.77	2.768	1.00
	min My	-0.006	-0.006	1.00
	max My	0.45	0.452	1.00
	min Mz	-0.96	-0.962	1.00
	max Mz	0.01	0.005	1.00
Notranja horizontalne	min N	-1.73	-1.530	1.13
	max N	2.74	2.745	1.00
	min My	0.00	-0.002	1.00
	max My	0.51	0.498	1.02
	min Mz	-1.31	-1.268	1.03
	max Mz	0.014	0.014	1.00

Določimo še ovojnico notranjih statičnih količin tako, da seštejemo največje in najmanjše vrednosti notranjih statičnih količin za posamezno obtežno pot (stolpca Vsota v preglednici 4.40). Na ta način dobimo točno ujemanje z rezultati iz programa Scia Engineer. Do razlike pride pri "peš računu", ki ga izvedemo v programu Mathematica, saj ne seštevamo absolutno največjih oziroma najmanjših vrednosti (stolpec Pot vlaka), kot naredi program Scia Engineer, ampak seštevamo sprotne vrednosti notranjih statičnih količin, ki jih povzroča vlakovna kompozicija med premikanjem čez most. V tem primeru so odstopanja veliko večja. Vsa razmerja so večja od ena, kar pomeni, da so vrednosti ovojnice v programu Scia Engineer napačne, še vedno pa so na varni strani, saj so večje od dejanskih.

Preglednica 4.40: Primerjava vrednosti ovojnice notranjih statičnih količin

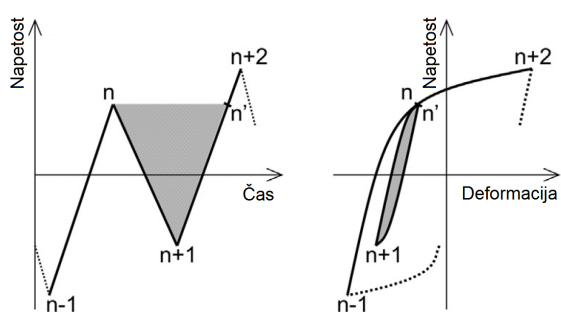
	Ovojnica SCIA			Ovojnica Mathematica (primerjava s SCIA)			
	Vsota	SCIA	Razmerje	Vsota	Razmerje	Pot vlaka	Razmerje
min N	-9.80	-9.81	1.00	-9.65	1.02	-1.158	8.47
max N	29.85	29.85	1.00	29.97	1.00	20.126	1.48
min My	-17.30	-17.29	1.00	-17.66	0.98	-14.216	1.22
max My	128.82	128.82	1.00	127.40	1.01	123.466	1.04
min Mz	-2.38	-2.38	1.00	-2.34	1.02	-1.355	1.76
max Mz	1.22	1.23	0.99	1.23	1.00	0.825	1.49



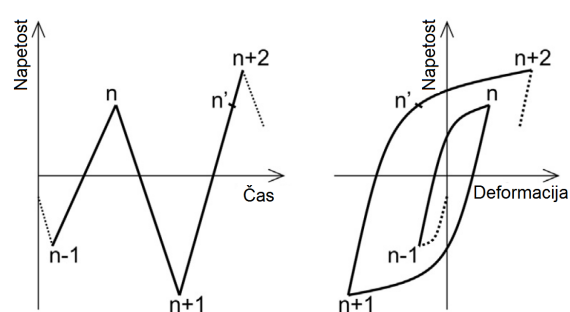
### 4.6.3.3 Rainflow metoda

Obstaja več metod za določanje števila obremenitvenih ciklov iz zgodovine poteka obremenitev. Najbolj znane so metoda štetja prehodov prek nivojev, štetje konic obremenitvenih ciklov in štetje zaključenih obremenitvenih ciklov. Slednja je poznana pod imenom Rainflow metoda štetja ciklov in je ena izmed zaneslivejših in merodajnih metod štetja ciklov [9].

Metoda temelji na predpostavki, da se porabljena energija, ki jo opiše ploščina histerezne zanke pri  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramu, pretvori v utrujnostno poškodbo. S tem namenom iz zgodovine obremenitev izločimo celotne cikle, ki predstavljajo zaprto histerezno zanko v  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramu (slika 4.26). Nato preštejemo še polcikle, ki predstavljajo odprto histerezno zanko (slika 4.27).



Slika 4.26: Potek napetosti pri zaprti histerezni zanki (vir: prirejeno po [14])



Slika 4.27: Potek napetosti pri odprti histerezni zanki (vir: prirejeno po [14])

Za izvedenotenje sprememb napetosti, spišemo program v računalniškem programu Wolfram Mathematica. Obstaja več različnih algoritmov za štetje ciklov in polciklov napetosti, odločimo se za tritočkovni algoritem, ki je podan v [9] in je vključen tudi v standard za štetje ciklov [1].

V algoritmu se pojavijo vrednosti: vrednost  $x$ , ki je razlika napetosti med drugo in tretjo točko v trenutnem računskem koraku ( $x = |S_{i+1} - S_{i+2}|$ ), vrednost  $y$ , ki je razlika napetosti med prvo in drugo točko v trenutnem računskem koraku ( $y = |S_i - S_{i+1}|$ ), in začetno točko  $a$ . Malenkost spremenjen algoritem iz knjige [9] tako sledi:

*Korak 1 : Preberi naslednji set podatkov. Če podatkov ni več, pojdi na korak 6.*

*Korak 2 : Če so na razpolago manj kot tri točke, pojdi na korak 1.*

*Če ne, izračunaj vrednosti  $x$  in  $y$  iz trenutnega seta podatkov.*

*Korak 3 : Primerjaj vrednosti  $x$  in  $y$ .*

*Če  $x < y$ , pojdi na korak 1.*

*Če  $x \geq y$ , pojdi na korak 4.*

*Korak 4 : Če trenutni set vsebuje prvo točko preostalih podatkov, pojdi na korak 5.*

*Če ne, šteje vrednost  $y$  kot en cikel in*

*iz podatkov izbriši točki za izračun vrednosti  $y$ .*

*Korak 5 : Šteje vrednost  $y$  kot polcikel.*

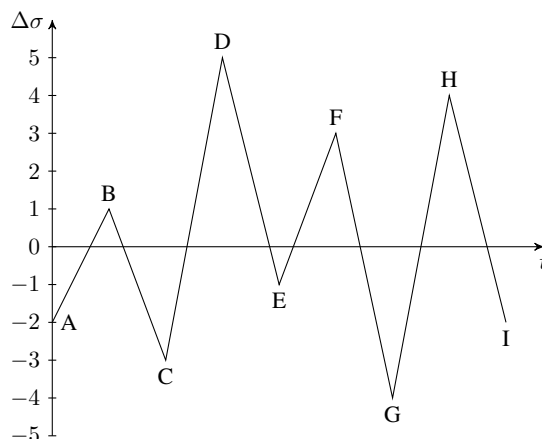
*Iz podatkov izbriši prvo točko za izračun vrednosti  $y$ . Pojdi na korak 2.*

*Korak 6 : Preštej vsako razliko napetosti med preostalimi zaporednimi točkami.*

Iz vrednotene cikle in polcikle nato razvrstimo v kategorije, ki se med sabo razlikujejo za napetost  $1 \text{ kN/cm}^2$ . Število polcikov razpolovimo, saj s tem dobimo število celih ciklov, ki jih nato prištejemo že prej določenim celim ciklom.

#### 4.6.3.4 Delovanje metode Rainflow

Za opis delovanja postopka metode Rainflow uporabimo primer, ki je podan v knjigi [9]. Potek napetosti si sledi  $\sigma = \{-2, 1, -3, 5, -1, 3, -4, 4, -2\}$ , kot prikazuje slika 4.28. Enote za prikaz postopka niso pomembne, zato jih v izračunu ne podajamo.



Slika 4.28: Primer poteka napetosti

*Korak 1 : začetna točka a = A*

*set podatkov : A, B, C*

$$x = B - C = 1 - -3 = |4| = 4$$

$$y = A - B = -2 - 1 = | -3| = 3$$

$$x \geq y$$

*y = 3 → polcikel*

*briši točko A*

*Korak 2 : začetna točka a = B*

*set podatkov : B, C, D*

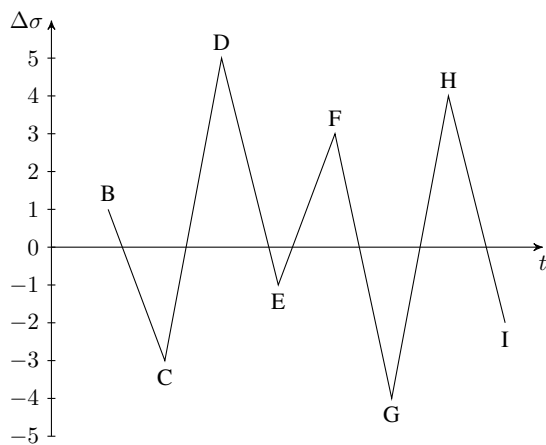
$$x = C - D = -3 - 5 = | -8| = 8$$

$$y = B - C = 1 - -3 = |4| = 4$$

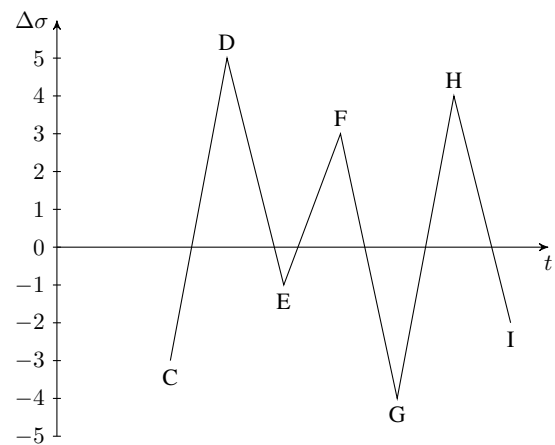
$$x \geq y$$

*y = 4 → polcikel*

*briši točko B*



Slika 4.29: Korak 1



Slika 4.30: Korak 2

*Korak 3 : začetna točka a = C*

*set podatkov : C, D, E*

$$x = D - E = 5 - -1 = |6| = 6$$

$$y = C - D = -3 - 5 = | -8| = 8$$

$$x < y$$

*izberem naslednji set podatkov*

*Korak 4 : začetna točka  $a = C$*

*set podatkov :  $D, E, F$*

$$x = E - F = -1 - 3 = |-4| = 4$$

$$y = D - E = 5 - -1 = |6| = 6$$

$$x < y$$

*izberem naslednji set podatkov*

*Korak 5 : začetna točka  $a = C$*

*set podatkov :  $E, F, G$*

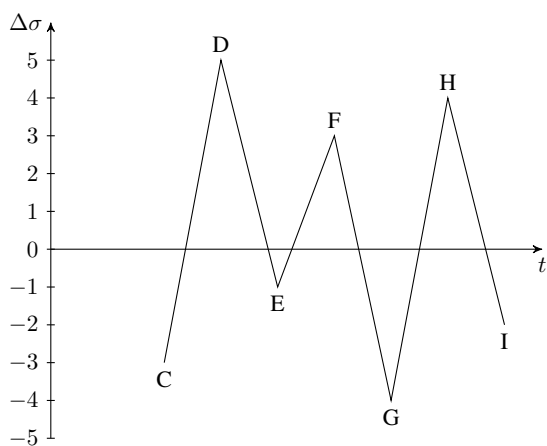
$$x = F - G = 3 - -4 = |7| = 7$$

$$y = E - F = -1 - 3 = |4| = 4$$

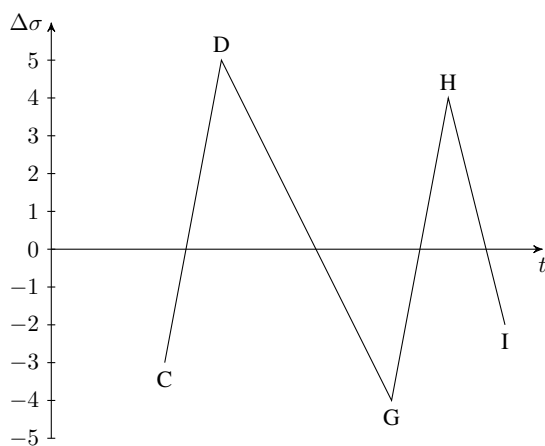
$$x \geq y$$

$$y = 4 \rightarrow \text{cikel}$$

*briši točki  $E$  in  $F$*



Slika 4.31: Korak 3 in 4



Slika 4.32: Korak 5

*Korak 6 : začetna točka  $a = C$*

*set podatkov :  $C, D, G$*

$$x = D - G = 5 - -4 = |9| = 9$$

$$y = C - D = -3 - 5 = |-8| = 8$$

$$x \geq y$$

$$y = 8 \rightarrow \text{polcikel}$$

*briši točko  $C$*

*Korak 7: začetna točka  $a = D$*

*set podatkov:  $D, G, H$*

$$x = G - H = -4 - 4 = |-8| = 8$$

$$y = D - G = 5 - -4 = |9| = 9$$

$$x < y$$

*izberem naslednji set podatkov*

*Korak 8: začetna točka  $a = D$*

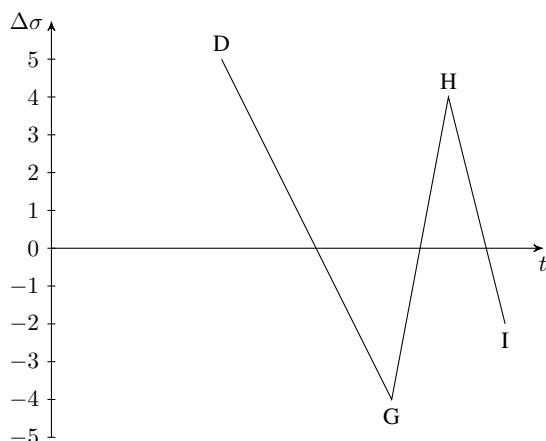
*set podatkov:  $G, H, I$*

$$x = H - I = 4 - -2 = |6| = 6$$

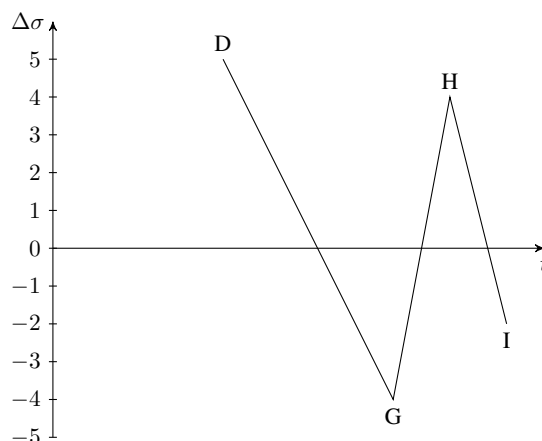
$$y = G - H = -4 - 4 = |-8| = 8$$

$$x < y$$

*izberem naslednji set podatkov*



Slika 4.33: Korak 6



Slika 4.34: Korak 7 in 8

*Korak 9: začetna točka  $a = D$*

*set podatkov: na začetek*

*Korak 10: začetna točka  $a = D$*

*set podatkov:  $D, G$*

$$x = G - D = -4 - 5 = |-9| = 9$$

$$x = 9 \rightarrow \text{polcikel}$$

*briši točko  $D$*

*Korak 11 : začetna točka a = G*

*set podatkov : G, H*

$$x = H - G = 4 - -4 = |8| = 8$$

*x = 8 → polcikel*

*briši točko G*

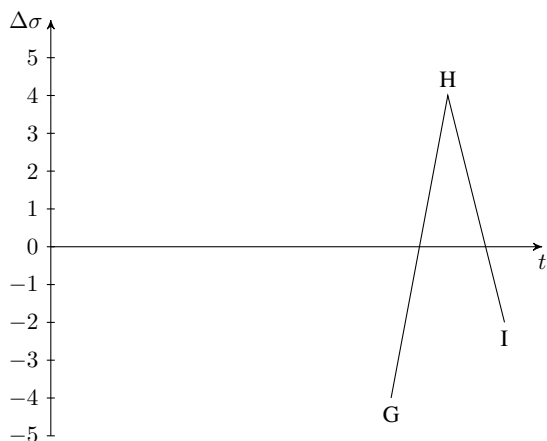
*Korak 12 : začetna točka a = H*

*set podatkov : H, I*

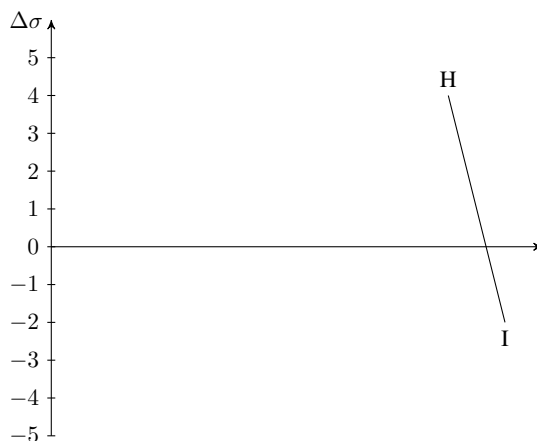
$$x = I - H = -2 - 4 = |-6| = 6$$

*x = 6 → polcikel*

*briši točki H in I*



Slika 4.35: Korak 9 in 10



Slika 4.36: Korak 11

#### 4.6.3.5 Metoda rezervoarja in primerjava z metodo Rainflow

Na sliki 4.37 prikažemo postopek praznenja "rezervoarjev".

*Korak 1 : Odprem C.*

$$5 - -3 = 8 \rightarrow \text{cikel}$$

*Korak 2 : Odprem A.*

$$1 - -2 = 3 \rightarrow \text{polcikel}$$

*Korak 3 : Odprem G.*

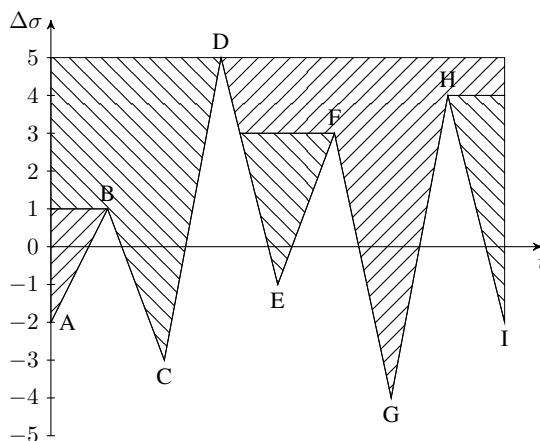
$$5 - -4 = 9 \rightarrow \text{cikel}$$

*Korak 4 : Odprem E.*

$$3 - -1 = 4 \rightarrow \text{cikel}$$

Korak 5: Odprem I.

$$4 - -2 = 6 \rightarrow \text{polcikel}$$



Slika 4.37: Prikaz praznenja "rezervoarjev"

V poglavju 4.6.3.4 smo po metodi Rainflow prikazali izračun sprememb napetosti za potek napetosti  $\Delta\sigma = \{-2, 1, -3, 5, -1, 3, -4, 4, -2\}$ . Izračun sprememb napetosti ponovimo še z metodo rezervoarja. V preglednici 4.41 podamo primerjavo števila izračunanih sprememb napetosti  $\Delta\sigma$  za obe metodi. Za namen prikaza primerjave uporabimo enoto  $kN/m^2$ .

Preglednica 4.41: Primerjava števila sprememb napetosti

Sprememba napetosti $\Delta\sigma$	Metoda Rainflow $N$	Metoda rezervoarja $N$
1 $kN/cm^2$	0	0
2 $kN/cm^2$	0	0
3 $kN/cm^2$	0.5	0.5
4 $kN/cm^2$	1.5	1
5 $kN/cm^2$	0	0
6 $kN/cm^2$	0.5	0.5
7 $kN/cm^2$	0	0
8 $kN/cm^2$	1	1
9 $kN/cm^2$	0.5	1

#### 4.6.3.6 Izračun preostale življenjske dobe po metodi Rainflow

Z metodo Rainflow v programu Wolfram Mathematica določimo število ciklov napetosti posameznega ranga za posamezen tip vlakovne obtežbe. Na podlagi izračunanih ciklov lahko po Minerjevem pravilu

natančneje določimo življenjsko dobo obravnavanega elementa, kot smo jo določili v poglavju 4.6.2, ko za element Notranji vzdolžnik 1 izračun pokaže, da je preostala življenjska doba enaka 449 let. Življenjska doba kontrolirane točke pa v tem primeru pade v negativno območje (preglednica 4.42), kar pomeni, da je že prekoračena za obdobje 21 let. Preostanek izračuna je podan v prilogi H.1.

Preglednica 4.42: Izračun preostale življenjske dobe Notranjega vzdolžnika 1,  $l = 1.6254$  m, metoda Rainflow

NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, $l = 1.6254$ m											
Bruto prerez										Efektivni prerez	
$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{zg,n}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{sp,n}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta t_z$ [cm]
119321	3891	-31.00	0.00	31.00	0.00	12.00	0.00	-12.00	0.00	184.00	0.00

$\phi$	1.103	[/]
k	1.08	[/]
Leto izgradnje:	1905	
Trenutno leto:	2016	

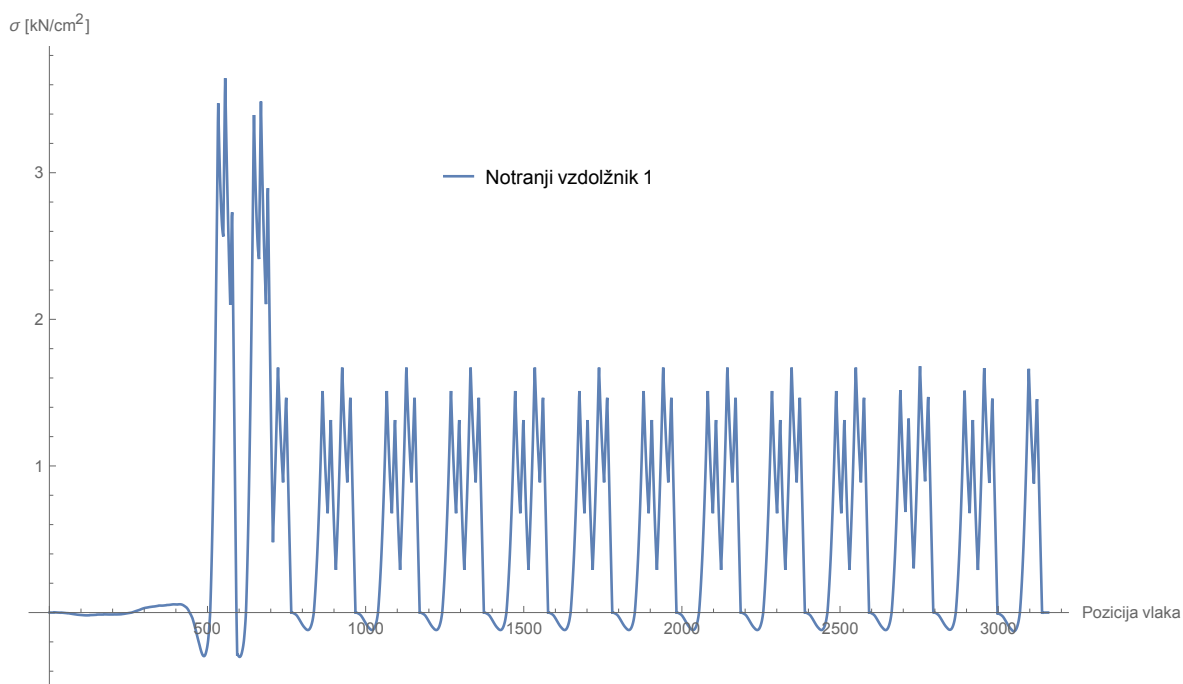
  

$\Delta\sigma_c$	7.89	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_L$	3.19	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.81	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Sigma n_i/N_i =$	0.0111	
Predvidena življenjska doba	90	[let]
Preostala življenjska doba	-21	[let]

Diagram na sliki 4.38 prikazuje potek napetosti v najbolj obremenjeni točki obravnavanega prereza elementa, točki T4, ob prečkanju vlakovne kompozicije tip 1. Lokomotiva vstopi na most z nasprotni strani glede na položaj obravnavanega elementa.



Slika 4.38: Potek napetosti v Notranjem vzdolžniku 1 med prečkanjem obtežne sheme tip 1,  $l = 1.6254$  m, metoda Rainflow



Izračun opravimo še za najbolj obremenjen prečnik, Prečnik 11. V poglavju 4.6.2 pokažemo, da je preostala življenjska doba že prekoračena za 68 let. Pri natančnejši analizi, ko upoštevamo dejansko število ciklov, ugotovimo, da je preostala življenjska doba prekoračena za 44 let (preglednica 4.43). Celoten izračun je podan v prilogi H.2.

Preglednica 4.43: Izračun preostale življenjske dobe Prečnika 11,  $l = 0.8528 m$ , metoda Rainflow

PREČNIK 11, $l = 0.8528 m$											
Bruto prerez										Efektivni prerez	
$I_y [cm^4]$	$I_z [cm^4]$	$e_{zg} [cm]$	$e_{zg,n} [cm]$	$e_{sp} [cm]$	$e_{sp,n} [cm]$	$e_{levo} [cm]$	$e_{levo,n} [cm]$	$e_{desno} [cm]$	$e_{desno,n} [cm]$	$A_{eff} [cm^2]$	$\Delta t_z [cm]$
227398	6139	-34.56	0.00	46.64	0.00	14.00	0.00	-14.00	0.00	191.04	0.00

$\phi$	1.103	[/]
$k$	1.08	[/]
Leto izgradnje:	1905	
Trenutno leto:	2016	

$\Delta\sigma_c$	6.42	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_L$	2.60	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.73	[kN/cm <sup>2</sup> ]

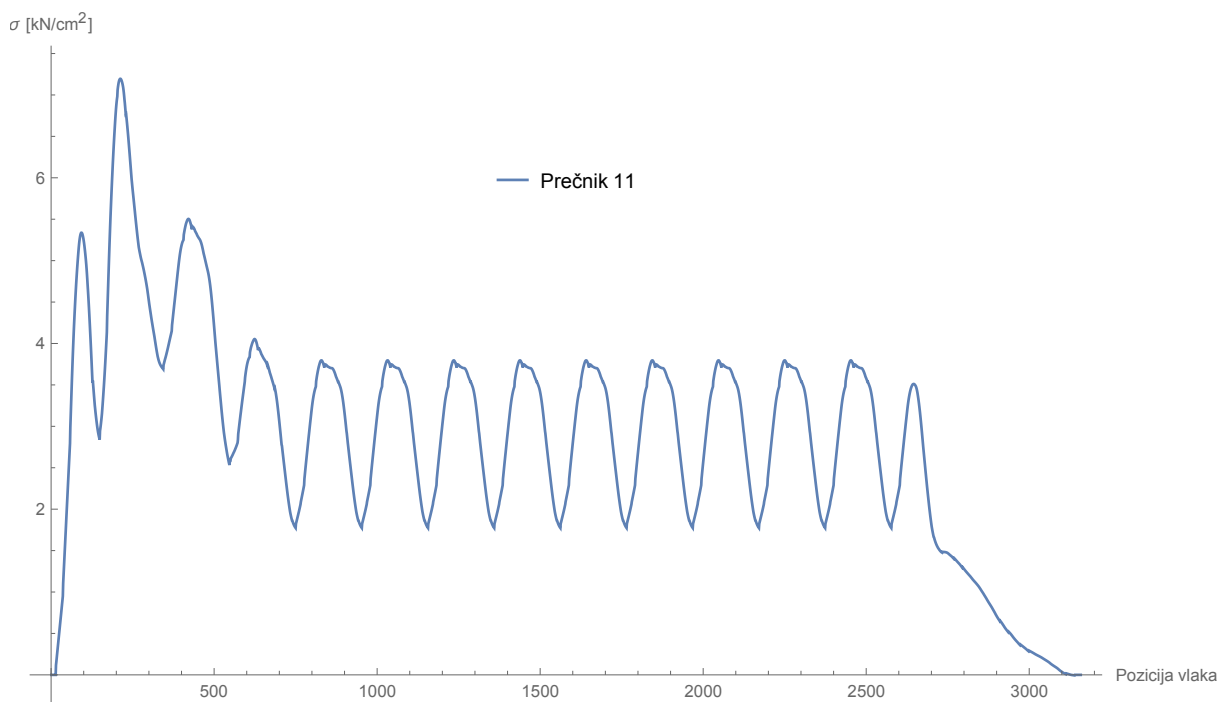
  

$\Sigma n_i/N_i =$	0.0289
--------------------	--------

Predvidena življenjska doba	35	[let]
Preostala življenjska doba	-76	[let]

Na sliki 4.39 prikažemo še potek napetosti v najbolj obremenjeni točki prereza, točki T3, ob prečkanju vlakovne kompozicije tip 1.



Slika 4.39: Potek napetosti v Prečniku 11 med prečkanjem obtežne sheme tip 1,  $l = 0.8528 m$ , metoda Rainflow

#### 4.6.4 Primerjava izračuna preostale življenjske dobe

Primerjava rezultatov analize v "Drugem koraku: podrobne preiskave" in v "Drugem koraku: podrobne preiskave z upoštevanje dejanskega števila ciklov" pokaže, da pride do relativno velikega odstopanja pri izračunani preostali življenjski dobi. V preglednici 4.44 pokažemo, kje pride do teh sprememb. Ugotovimo, da pri obtežbi tipa 1 in 2 metoda Rainflow (stolpec  $RF$  v preglednicah), ki jo uporabimo pri upoštevanju dejanskega števila ciklov v drugem koraku, pokaže manjšo koriščenost življenjske dobe pri enkratnem prehodu vlaka čez most. Pri vseh ostalih tipih obtežb pa metoda Rainflow pokaže večje koriščenost življenjske dobe kot pri poenostavljenem drugem koraku (stolpec  $FAT$  v preglednici). Največja razlika je pri obtežbi tip 6, kjer je to razmerje 0.080.

Preglednica 4.44: Izračun preostale življenjske dobe Notranjega vzdolžnika 1,  $l = 1.6254 m$

Tip obtežbe	q [kN/m']	l [m]	FAT	RF	Razmerje
1	25.3	262.10	0.00039	0.00032	1.194
2	18.9	281.10	0.00014	0.00008	1.777
3	24.4	385.52	0.00005	0.00031	0.165
4	21.5	237.60	0.00002	0.00024	0.093
6	43.0	333.10	0.00050	0.00618	0.080
7	52.7	196.50	0.00035	0.00346	0.102
8	48.7	212.50	0.00034	0.00055	0.629
$\Sigma(n_i/N_i) =$			0.00179	0.01113	[/]
Predvidena življenjska doba			560	90	[let]
Preostala življenjska doba			449	-21	[let]

Podobno se zgodi pri kontroli prečnika, kjer metoda Rainflow ponovno pokaže, da so rezultati manj ugodni. Razlika je v tem, da rezultati v drugem koraku (podrobne preiskave) pokažejo manjšo izkoriščenost pri obtežbah tip 1, 2, 3, 4 in 8, za obtežbene sheme tip 6 in 7 pa večjo izkoriščenost. To se odraža v tem, da je odstopanje rezultatov preostale življenjske dobe po eni in drugi metodi manjše.

Preglednica 4.45: Izračun preostale življenjske dobe Prečnika 11,  $l = 1.6254 m$

Tip obtežbe	q [kN/m']	l [m]	FAT	RF	Razmerje
1	25.30	262.10	0.00281	0.00240	1.174
2	18.90	281.10	0.00220	0.00087	2.524
3	24.40	385.52	0.00107	0.00049	2.192
4	21.50	237.60	0.00096	0.00092	1.047
6	43.00	333.10	0.00621	0.01310	0.474
7	52.70	196.50	0.00627	0.00991	0.633
8	48.70	212.50	0.00366	0.00120	3.053
$\Sigma(n_i/N_i) =$			0.02319	0.02888	[/]
Predvidena življenjska doba			43	35	[let]
Preostala življenjska doba			-68	-76	[let]

Kot smo že omenili v poglavju 4.6.2.3, na preostalo življenjsko dobo zelo vpliva tudi koeficient odpornosti na utrujanje  $\Delta\sigma_c(R)$ . V primeru, da bi bila vrednost koeficienta za prečnik enaka vrednosti koeficienta za vzdolžnik, bi bila preostala življenjska doba prekoračena samo za 44, namesto za 76 let.

Opazimo, da je odstopanje rezultatov izračuna preostale življenjske dobe pri sekundarnem elementu, kot je prečnik, manjše, kot pri primarnem elementu, kot je vzdolžnik, zato naredimo primerjavo rezultatov

še za terciarni element. Za ta namen izberemo najbolj izkoriščen element spodnjega paličja, ki ima najmanjšo vrednost koeficienta  $\mu_{fat}$ . Izberemo element U6a, za katerega ocena začetnega stanja podaja izkoriščenost  $\mu_{fat} = 1.06$  z upoštevanjem najstrožjih pogojev (življenjska doba 160 let in 25 milijonov ton letnega pretovora).

Preglednica 4.46: Izračun preostale življenjske dobe elementa U6a,  $l = 0 m$

Tip obtežbe	q [kN/m']	l [m]	FAT	RF	Razmerje	
1	25.3	262.10	0.00088	0.00040	2.198	
2	18.9	281.10	0.00037	0.00010	3.895	
3	24.4	385.52	0.00015	0.00005	3.219	
4	21.5	237.60	0.00012	0.00005	2.533	
6	43.0	333.10	0.00091	0.00081	1.117	
7	52.7	196.50	0.00107	0.00054	1.966	
8	48.7	212.50	0.00069	0.00041	1.703	
			$\Sigma(n_i/N_i)=$	0.00420	0.00236	[/]
<b>Predvidena življenjska doba</b>			238	424	[let]	
<b>Preostala življenjska doba</b>			127	313	[let]	

Ugotovimo, da je z uporabo metode Rainflow preostala življenjska doba elementa U6a spodnjega pasu paličja 313 let, medtem ko je življenjska doba ob uporabi predpostavk v drugem koraku (podrobne preiskave) samo 127 let. Podroben izračun se nahaja v prilogah G.3 in H.3. To je odraz tega, ker je večina ciklov sprememb napetosti v rangu napetosti trajne trdnosti, kar pomeni, da v teoriji konstrukcija ob minimalnih obremenitvah prenese neskončno mnogo ciklov obremenjevanja. Nizka amplituda napetosti je v obravnavanem elementu paličja odraz nižjega dinamičnega faktorja, ki se uporabi za analizo terciarnih in ostalih konstrukcijskih elementov. Potrebno pa je treba izpostaviti dejstvo, da se obremenitve najprej prenesejo na primarne elemente, s teh na sekundarne, terciarne in ostale elemente. Obremenitve se tako prek sistema elementov bolj ali manj enakomerno razporedijo in posledično so spremembe napetosti manjše.

#### 4.6.5 Tretji korak: mehanika loma

V tretjem koraku analize preostale življenjske dobe se z uporabo mehanike loma določi preostalo življenjsko dobo elementov, na katerih so utrujnostne razpoke že vidne. Metoda mehanike loma zahteva zelo specifična dodatna znanja, ki jih žal med študijem ne osvojimo. Prav tako bi takšna analiza potrebovala materialne podatke o uporabljenem jeklu, te bi zelo težko pridobili. Iz teh razlogov se ob posvetu z mentorjem odločimo, da tega koraka naprej ne izvajamo, navedemo le kratek povzetek postopka [13].

Pri vizualnem pregledu konstrukcije sta možni dve ugotovitvi:

- najdene ni nobene razpoke;
- najdena je ena ali več razpok.

#### 4.6.5.1 Element brez razpok

Potrebno je poudariti, da je pomembna ustrezna pogostost pregledov konstrukcij, ki so podvržene procesu utrujanja. Če ob pregledu razpoke niso vidne, to še ne pomeni, da se ne bodo razvile v bližnji prihodnosti. Ustrezna frekvenca pregledov (vsaj) najbolj kritičnih in najbolj obremenjenih elementov je tako zelo pomembna.

#### 4.6.5.2 Element z razpokami

V primeru, da pregled elementov razkrije razpoko, se za ugotavljanje njenega nadaljnjega razvoja lahko uporabi mehanika loma. Z določitvijo poteka rasti razpoke glede na pričakovano obremenjevanje elementa se določi čas do trenutka, ko element zaradi razpokanosti ni več zmožen prenašati obtežbe in bo prišlo do njegove porušitve. Glede na ta preostali čas se določijo podrobnejši pregledi, ki omogočajo kontrolo razvoja razpoke in primerjavo njene rasti glede na izračunan teoretični potek.

#### 4.6.6 Četrti korak: Sanacijski ukrepi

V četrti korak ocene preostale življenjske dobe, to je, kaj bi se moralo obnoviti v bližnji prihodnosti oziroma kakšne ojačitve bi bile pri nadgradnji potrebne, se prav tako ne poglobljamo. Najprej bi morali obstoječi računski model v programu Scia Engineer skalibrirati na podlagi statičnih in dinamičnih obremenilnih preizkusov na mostu, da bi dobili natančnejše rezultate notranjih statičnih količin.

Glede na vse opravljene izračune pa lahko vseeno opredelimo, katerim elementom je potrebno posvetiti večjo pozornost v prihodnosti. To so elementi prečnikov in elementi vzdolžnikov, prav tako so kritične tudi vmesne (nekončne) vertikale.

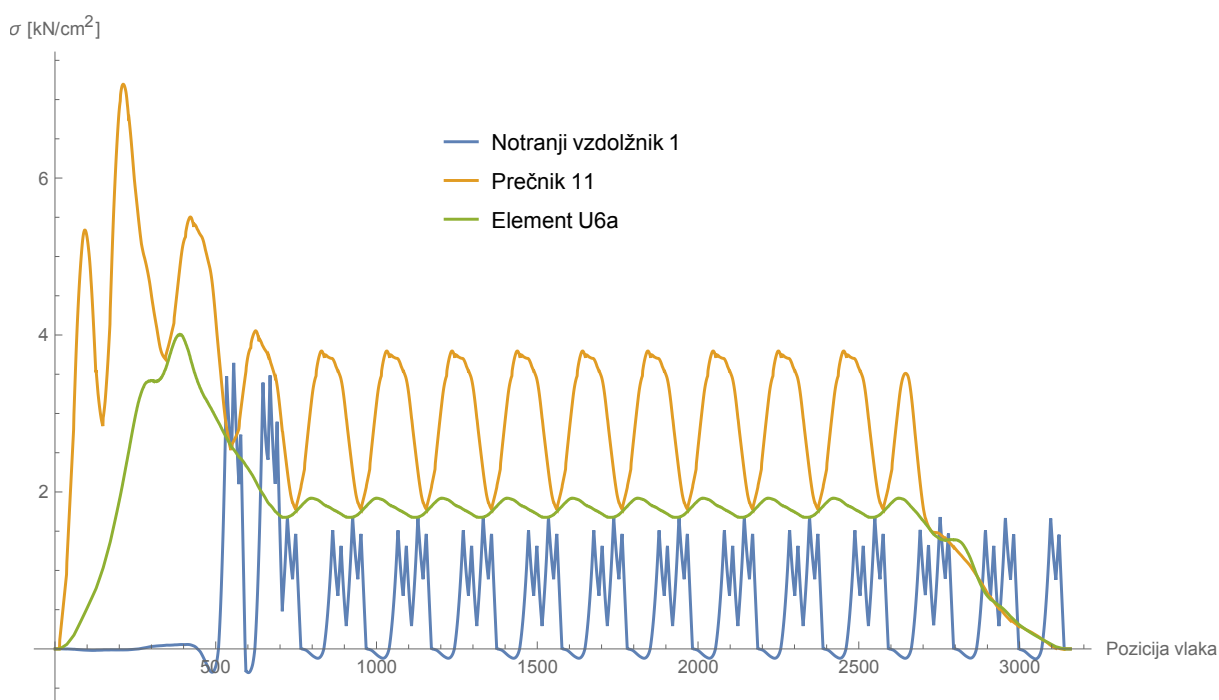
#### 4.6.7 Primerjava rezultatov prvega in drugega koraka ter drugega koraka z upoštevanjem dejanskega števila ciklov

Da primerjamo rezultate prvega in obeh drugih korakov, moramo pretvoriti rezultate prvega koraka v rezultate z enoto let, saj koeficient stopnje varnosti proti utrujanju  $\mu_{fat}$  ne pove prav veliko. V ta namen postavimo koeficient  $\mu_{fat}$  na vrednost ena in izračunamo potrebno vrednost ekvivalentnega faktorja poškodb  $\lambda_3$ , ki v izračun vključuje vpliv projektne življenjske dobe mostu (poglavje 4.6.1.1). Vse rezultate nato združimo v preglednici 4.47.

Preglednica 4.47: Primerjava rezultatov izračuna preostale življenjske dobe

Element	Prvi korak [ $\mu_{fat}$ ] [/]	Prvi korak [Leta]	Drugi korak [Leta]	Drugi korak (RF) [Leta]
Notranji vzdolžnik 1	0.64	-94	449	-21
Prečnik 11	0.55	-103	-68	-76
Element U6a	1.19	270	127	313

Do največje razlike v izračunih preostale življenjske dobe med drugim korakom in drugim korakom z upoštevanjem dejanskega števila ciklov pride pri elementu Notranji vzdolžnik 1, ki spada med primarne nosilne elemente konstrukcije. Na ta element in na elemente iste vrste deluje obtežba direktno in pri vsakem prehodu kolesa pride najprej do največje obremenitve elementa in nato praktično do popolne razbremenitve. Pri elementu Prečnik 11 razlika v izračunu ni več tako velika, saj gre za sekundarni element, kjer ne prihaja več do polnih obremenitev in razbremenitev elementov, sprememba napetosti ob prečkanju posameznega kolesa je zabrisana, vidni so le vplivi koles, ki so na večji medosni razdalji. Ko je vlak enkrat na mostni konstrukciji, njegova obtežba oziroma delovanje koles v sekundarnih, terciarnih in ostalih elementih ne povzroča več tako velikih sprememb napetosti. V principu gre bolj ali manj samo za postopno večanje napetosti pri poti vlaka na most in postopno nižanje napetosti pri poti vlaka z mostu. To se lepo vidi na slikah 4.38 in 4.39. Za lažji prikaz poteka napetosti združimo potek napetosti posameznih elementov na sliki 4.40, dodamo še potek napetosti za element U6a.



Slika 4.40: Primerjava potekov napetosti obtežbe tip 1

Potek napetosti, ki je prikazan na sliki 4.40, lahko prikažemo tudi s primerjavo števila posameznih rangov ciklov napetosti (preglednica 4.48). Padec števila višjih rangov je lepo viden.

Preglednica 4.48: Primerjava števila rangov ciklov napetosti obtežbe tip 1

Element	Rang napetosti [ $kN/cm^2$ ]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Notranji vzdolžnik 1	23	40.5	12	0	2	0	0	0	0	0	0
Prečnik 11	32.5	0	13	0	0	0	0	1	0	0	0
Element U6a	179	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

#### 4.6.8 Ugotovitve

Proti koncu pisanja magistrske naloge se je porodilo vprašanje, kakšni zaključki se lahko naredijo na podlagi opravljenega izračuna preostale življenjske dobe. Če se obravnava samo en objekt, je vrednost rezultatov ocene preostale življenjske dobe relativno majhna. Res je, da se na ta način locirajo kritična mesta na obravnavanem mostu, vendar tako ne dobimo širšega odgovora o stanju obravnavanega mostu v primerjavi z ostalimi mostovi na neki trasi. Ocena preostale življenjske dobe dobi bistveno večjo težo, če se z enakimi predpostavkami analizira večje število jeklenih mostov. Na ta način se vidi v kakšnem stanju so mostovi in na podlagi tega se lahko izdelata ugodnejša časovnica rednih pregledov mostnih konstrukcij. Bolj ohranjeni mostovi namreč potrebujejo manj redne preglede kot tisti manj ohranjeni. Še vedno se morajo pregledi konstrukcije skoncentrirati na bolj izkoriščene elemente v smislu preostale življenjske dobe, saj je zanje veliko bolj verjetno, da se bo ravno v njih začela razvijati razpoka.

Ker pri analizi mostu čez reko Idrijco sama količina preotovora ni (bila) velika in je proga, del katere je obravnavani most, klasificirana z nosilnostjo C2, upoštevamo obtežno shemo C2 za prvi korak ocene preostale življenjske dobe. Zaradi prej izpostavljene pomembnosti enakih predpostavk pri širši analizi mostnih konstrukcij je treba določiti predpostavke, s katerimi naredimo osnovno analizo mostne konstrukcije, nato pa te predpostavke prilagodimo vsaki obravnavani konstrukciji posebej, kot smo to naredili za obravnavan most. Navodila za oceno preostale življenjske dobe [13] podajajo, da se pri osnovni analizi mostne konstrukcije uporabi obtežna shema LM71, ki je pri načrtovanju novih mostov tudi edina merodajna. Pri analizi že obstoječih mostov je treba določiti še predpostavko glede hitrosti vlaka na mostni konstrukciji. V našem okolju bi bila ustrezna predpostavka  $V = 80 \text{ km/h}$  z ustreznim upoštevanjem centrifugalnih sil, če je most v krivini. Vprašanje je še, kateri dinamični faktor uporabiti. Za osnovno, začetno analizo bi se moral upoštevati dinamični faktor, ki ga navajajo same smernice, to je dinamični faktor za temeljito vzdrževane proge  $\Phi_2$ . Pri podrobnejši analizi se uporabi dinamični faktor realnih vlakov  $\varphi$ , ki upošteva vpliv hitrosti.

Izpostaviti je potrebno še dejstvo, da je metoda ocene preostale življenjske dobe mostov zelo občutljiva glede na vhodne podatke. Za potrebe analize v tej nalogi nismo uspeli pridobiti točnih podatkov o količini pretovora preko mostu, zato smo morali uvesti določene predpostavke na podlagi obremenitev na relacijah Koper-Šentilj in Jesenice-Dobova, te morajo biti na varni strani. Preostala življenjska doba kontroliranih elementov je neposredno odvisna od teh predpostavk in izračuni pokažejo, da je življenjska doba primarnih in sekundarnih elementov (vzdolžniki in prečniki) že prekoračena. Za prikaz vpliva predpostavke o letnem pretovoru preko mostu naredimo primerjavo, ki je podana v preglednici 4.49, kjer primerjamo vpliv med 5 in 10 milijoni ton letnega pretovora. Iz preglednice lahko ugotovimo, da do največje razlike pride pri elementu Notranji vzdolžnik 1. Pri elementu Prečnik 11 razlika ni več tako velika, saj je preostala življenjska doba v obeh primerih prekoračena. Do absolutno največje razlike pride pri elementu U6a, vendar glede na dejstvo, da preostala življenjska doba v obeh primerih ni prekoračena, ta razlika ni tako zelo pomembna. Ob upoštevanih vhodnih podatkih smo tako dokazali, da je najbolj izpostavljenim elementom preostala življenjska doba že potekla, most pa je še vedno v uporabi. Razlog, zakaj je temu tako, lahko najdemo v tem, da je verjetno realni pretovor preko mostu v preteklosti bil

nižji od upoštevanega v izračunih, kar pomeni, da bi izračun preostale življenjske dobe ob natančnejših vhodnih podatkih dal ugodnejše rezultate. Potrebno pa je še enkrat opozoriti, da prekoračena oziroma negativna preostala življenjska doba ne pomeni, da se bodo razpoke v kritičnih prerezih zagotovo pojavile in da bo hitro prišlo do razvoja kritične razpoke, ko se bo prerez pod obremenitvijo porušil. Izračun preostale življenjske dobe nam samo locira kritična mesta, ki jih moramo podrobneje in predvsem pogosteje pregledovati.

Preglednica 4.49: Primerjava preostale življenjske dobe glede na letni pretovor preko mosta

Element	Notranji vzdolžnik 1		Prečnik 11		U6a	
Letni pretovor [milijonov ton/leto]	10	5	10	5	10	5
Preostala življenjska doba [let]	-21	69	-76	-42	313	702
Razlika v preostali življenjski dobi [let]	90		35		388	

**“Ta stran je namenoma prazna.”**



## 5 ZAKLJUČEK

V magistrski nalogi smo analizirali most čez reko Idrijco v km 55+065, ki smo ga najprej preverili na mejno stanje nosilnosti. Ugotovili smo, da konstrukcija ne vzdrži obtežne sheme C4 pri hitrosti 80 *km/h*, ampak vzdrži obtežno shemo C2 pri reducirani hitrosti 30 *km/h*. Glede na to, da je proga uvrščeno v kategorijo obtežbe C2, ima most zadostno nosilnost. Problematična je le računsko največja dopustna hitrost, ki je zelo nizka, saj znaša samo 30 *km/h*.

Kar se tiče ocene preostale življenjske dobe, lahko kar dobro napovemo stanje elementov že s prvim korakom ocene, ta se hitro izvede in je dokaj preprost. Drugi korak že zahteva nekaj več znanja in časa, vendar pa vsaj za elemente vzdolžnikov ne da merodajnih rezultatov. Poenostavljena metoda z upoštevanjem enega cikla napetosti ob enem prehodu vlaka preprosto ni dovolj, saj ob prehodu daljših in težjih vlakovnih kompozicij pride do velikih razlik v primerjavi z natančnejšo metodo. Ravno zaradi tega je zelo priporočljivo v okviru drugega koraka uporabiti natančnejšo metodo, metodo Rainflow. Z njo namreč iz vseh sprememb napetosti izračunamo natančno število posameznih ciklov napetosti ob enem prehodu vlaka preko mostu in tako dobimo bistveno natančnejše rezultate. Izpostaviti je treba dejstvo, da je iz vrednotenje sprememb napetosti v kontrolirani točki prereza ob prečkanju posameznega tipa obtežbe na podlagi vplivnic zelo zamudno in brez poznavanja točnega poteka napetosti za metodo Rainflow brez pomena. Natančnejše metode namreč potrebujejo bolj natančne vhodne podatke. Za najstarejše mostove podatki o pretovoru verjetno niso na voljo za vsa leta od izgradnje, bi pa zadostovalo, da se na podlagi podatkov o pretovoru za čim daljše obdobje naredi statistična analiza iz katere se lahko določi merodajen povprečen letni pretovor. Za izvedbo tretjega koraka se morajo narediti podrobne preiskave materiala mostne konstrukcije. Na podlagi teh preiskav in na podlagi načrtovanega pretovora preko mosta se nato naredi izračun, koliko časa še lahko nek razpokan prerez vzdrži brez celotne sanacije elementa. V četrtem koraku se mora aktivno vključiti tudi vzdrževalec infrastrukture, ki se dokončno odloči, kakšna dela se bodo izvedla na konstrukciji glede na rezultate analize preostale življenjske dobe. V primeru, da razpoke na elementih s prekoračeno življenjsko dobo še niso bile odkrite, mora vzdrževalec infrastrukture ustrezno spremeniti časovnico rednih pregledov - pregledi konstrukcije morajo postati pogostejši in se osredotočiti na kritične elemente konstrukcije, za katere velja večja verjetnost, da se na njih pojavijo utrujnostne razpoke.

V Sloveniji je kar 78 od 150 mostov, ki so še v uporabi, bilo zgrajenih pred letom 1940, najstarejši med njimi pa že davnega leta 1860 (vir: Slovenske železnice, d.o.o.). Res je, da mostovi v svoji zgodovini niso bili polno obremenjeni in da frekvenca prevozov vlakov čez most ni (bila) ravno visoka, zato so mostovi še vedno sposobni prevzemati obremenitve, čeprav izračuni v tej magistrski nalogi temu nasprotujejo. Glede na to, da je del slovenske železniške infrastrukture tudi del evropskega železniškega prednostnega koridorja (koridor D: Barcelona - Budimpešta) in s sprejetjem interoperabilnosti evropskega železniškega prometa, je problematika nosilnosti premostitvenih objektov in preostale življenjske dobe še kako aktualna, zato bi se v praksi moralo več narediti na tem področju.

**VIRI**

- [1] ASTM E1049-85: Standard practices for cycle counting in fatigue analysis. 2011.
- [2] Beg, D. 2010. Projektiranje jeklenih konstrukcij v skladu z evrokodom 3: kratek povzetek: 113 str.
- [3] Berkopec, M., Raisner, J., Ferjan, M. 1963. Most v km 96.623 proge Jesenice - Sežana: Poročilo o preiskavi števil. 1284/6216-JEKON. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: loč. pag.
- [4] EN 1991-2:2003. Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges.
- [5] EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [6] EN 1993-1-5:2006. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: General rules - Plated structural elements.
- [7] EN 1993-1-9:2005. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue.
- [8] EN 1993-2:2006. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 2: Steel bridges.
- [9] Farahmand, B., Bockrath, G., Glassco, J. 1997. Fatigue and Fracture Mechanics of High Risk Parts: Application of LFM & FMDM Theory. S. 1., Springer US: XVIII, 370.
- [10] Grabnar, B., Bonač, L. 1982. Poročilo o kategorizaciji mostu v km 55.066 na progi Jesenice - Sežana. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: loč. pag.
- [11] Greiner, R., Taras, A., Brunner, H. 2007. Statistisch begründete Festigkeitskennwerte genieteter Bauteile – statische Festigkeit und Wöhlerlinienkatalog. Stahlbau 76, 8: 537 – 552.
- [12] Kilibarda, Z., Sekulić, L., Radošević, M., Miličević, M., Nišević, P., Cvetić, V., Gruber, N., Milošević, D., Mikoriji, M. 1982. Elaborat o ispitivanju železnič kog mosta na km 55+065 proge Jesenice - Nova Gorica. S. 1., Centar za istraživanje i projektovanje: loč. pag.
- [13] Kühn, B., Lukić, M., Nussbaumer, A., Günther, H.-P., Helmerich, R., Herion, S., Kolstein, M.H., Walbridge, S., Androic, B., Dijkstra, O., Bucak, Ö. 2008. Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life. S. 1., European Commission, Joint Research Centre: 89 str.
- [14] Marsh, G., Wignall, C., Thies, P. R., Barltrop, N., Incecik, A., Venugopal, V., Johanning, L. 2016. Review and application of Rainflow residue processing techniques for accurate fatigue damage estimation. International Journal of Fatigue 82, Part 3, 757 – 765.
- [15] Mensinger, M., Hacker, A., Langen, T. 2014. Assessment of Riveted Railway Bridges Across the River Pegnitz. V: The Eight International Conference “Bridges in Danube Basin”: New Trends in Bridge Engineering and Efficient Solutions for Large and Medium Span Bridges: p. 245 – 254.
- [16] Oehme, P. 1989. Schäden an Stahltragwerken – eine Analyse (Damage Analysis of Steel Structures). V: IABSE Proceedings 13 (P-139): p. 121 – 140.

- [17] ONR 24008 – Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn und Straßenbrücken im Bestand. 2006. FNA 014 Brückenbau – Allgemeines.
- [18] Pipinatoa, A., Molinarib, M., Pellegrinoa, C., Bursia, O. S., Modena, C. 2011. Fatigue tests on riveted steel elements taken from a railway bridge. *Structure and Infrastructure Engineering* 7, 12: 907 – 920.
- [19] Richtlinie 805 – Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken. 2010. DB Netz AG.
- [20] Richtlinie 805 – Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken. 2002. DB Netz AG.
- [21] Richtlinie zur Nachrechnung bestehender von Straßenbrücken im Bestand. 2011. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- [22] Rus, G., Saje, S., Šmid, G., Klun, M., Lombar, J. N., Ratej, J., Weiss, S., Demšar, N., Cvenkel, G., Cvenkel, A., Može, P., Sinur, F., Klemenc, J., Nagode, M., Hladnik, L., Gruden, G. 2015. Ocena stanja železniških jeklenih mostov s pregledom metodologij za oceno preostale življenjske dobe. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 148 str.
- [23] Seemann, K., Gümpel, P., Schwarze, J., Jäkle, V. 2000. Dynamische Festigkeitsuntersuchung an der Mettnau-Brücke in Radolfzell / Examination of the dynamic strength of a bridge in the town of Radolfzell. *Stahlbau* 69, 1: 1 – 9.
- [24] SIA 269 – Erhaltung von Tragwerken. 2011. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
- [25] Siebke, H. neobjavljeni podatki.
- [26] Taras, A., Greiner, R. 2010. Development and Application of a Fatigue Class Catalogue for Riveted Bridge Components. *Structural Engineering International* 20, 1: 90 – 103.
- [27] Ule, B., Lovrečič Saražin, M., J., Vojvodič Gvardjančič, Banovec, J., Kržič, F., Beg, D. 1996. Implementacija modernih lomno mehanskih metod za določevanje preostale življenjske dobe starih jeklenih konstrukcij: Preostala življenjska doba železniškega mostu čez Dravo na Ptuj. Ljubljana, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 37 str.
- [28] Uradni list Republike Slovenije, št. 4/2009: Uredba o kategorizaciji prog: 289 – 304.

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## **PRILOGE**

PRILOGA A: Postopek ocene preostale življenjske dobe obstoječih mostov

PRILOGA B: Geometrijske karakteristike uporabljenih prerezov

PRILOGA C: Postopek za določitev upoštevanja dinamične analize

PRILOGA D: Podatki o teži vlakov

D.1: Teža vlakov na trasi Koper–Šentilj

D.2: Teža vlakov na trasi Dobova–Jesenice

PRILOGA E: Kontrola mejnega stanja nosilnosti za obtežbo C4

E.1: Kontrola mejnega stanja nosilnosti paličnih elementov

E.2: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

E.3: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

PRILOGA F: Kontrola prve faze utrujanja

F.1: Kontrola utrujanja paličnih elementov

F.2: Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

F.3: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

PRILOGA G: Kontrola druge faze utrujanja (podrobne preiskave)

G.1: Podrobna preiskava Notranjega vzdolžnika 1

G.2: Podrobna preiskava Prečnika 11

G.3: Podrobna preiskava elementa U6a

PRILOGA H: Kontrola druge faze utrujanja (metoda Rainflow)

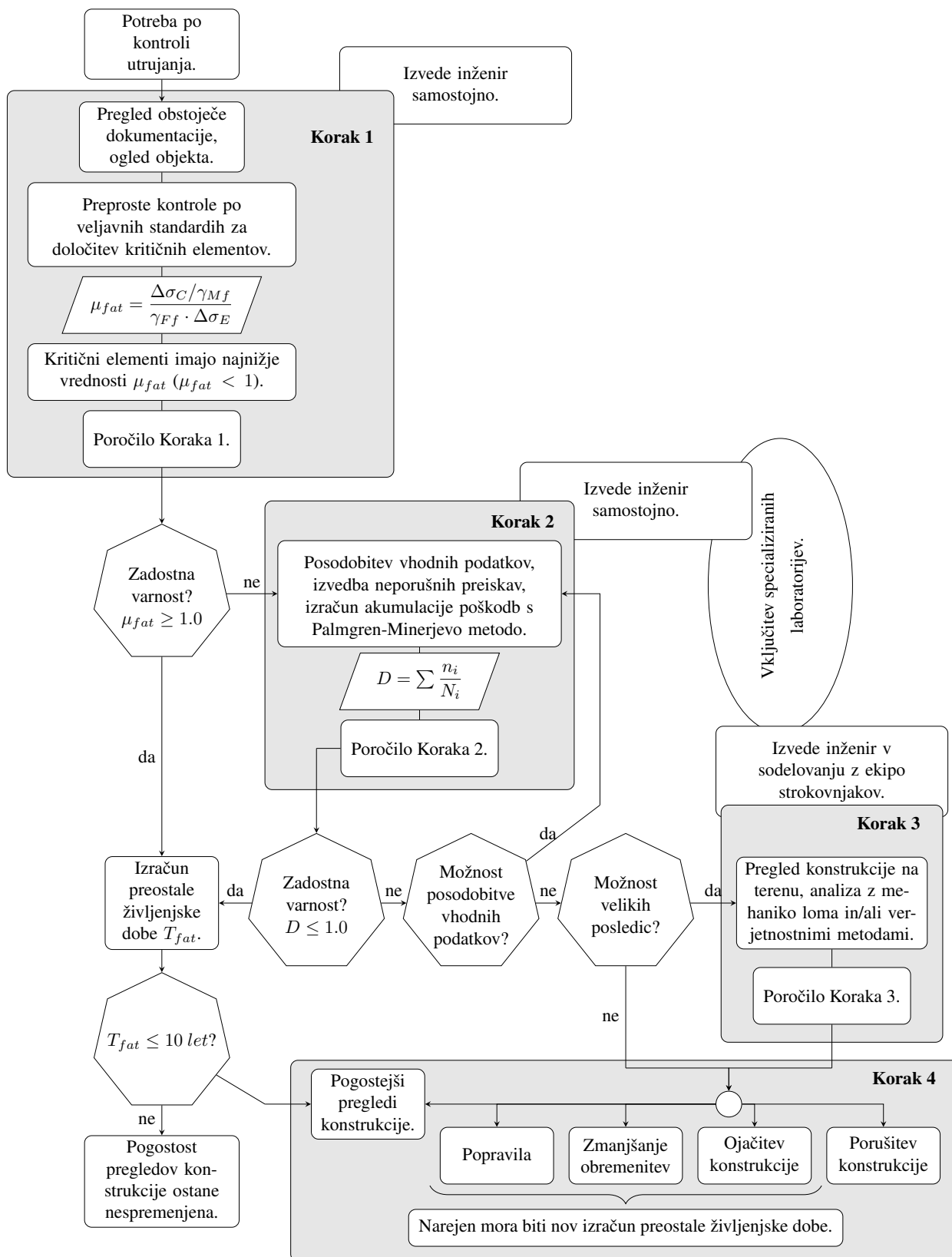
H.1: Podrobna preiskava Notranjega vzdolžnika 1, metoda Rainflow

H.2: Podrobna preiskava Prečnika 11, metoda Rainflow

H.2: Podrobna preiskava elementa U6a, metoda Rainflow

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

**PRILOGA A: Postopek ocene preostale življenjske dobe obstoječih mostov**

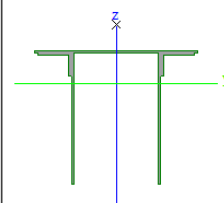
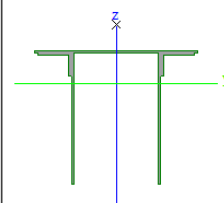
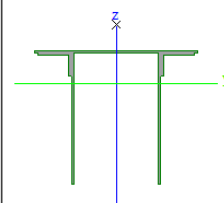
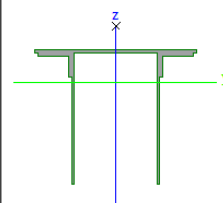
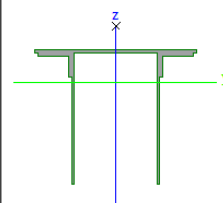
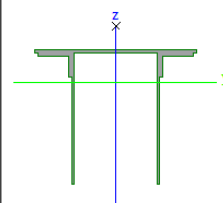
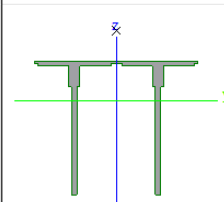
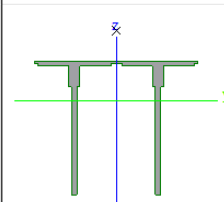
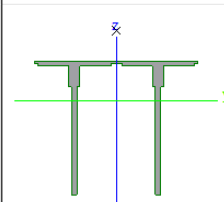
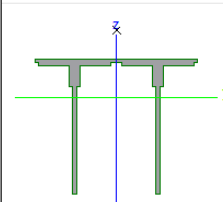
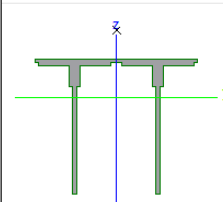
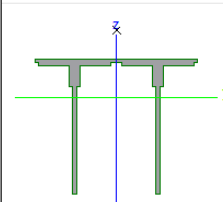
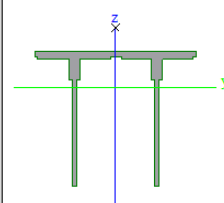
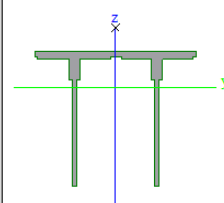
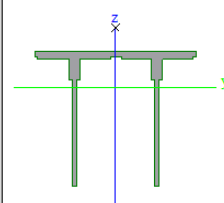
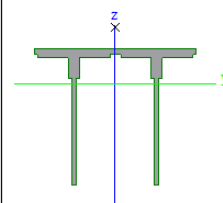
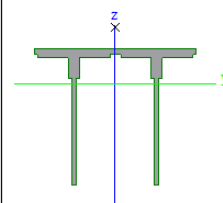
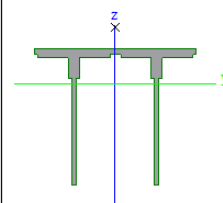
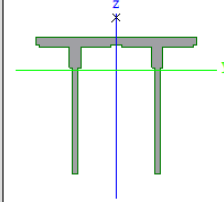
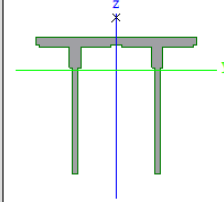
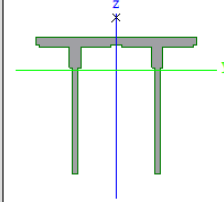
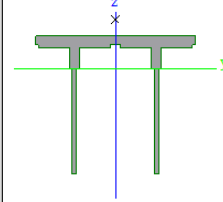
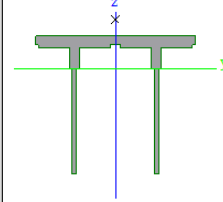
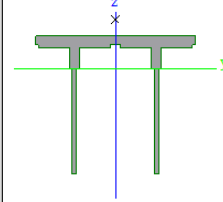


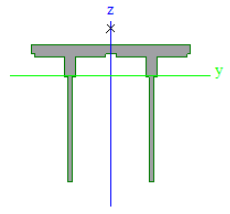
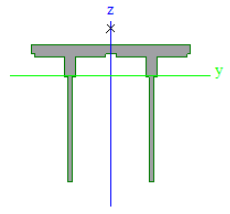
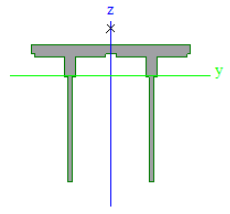
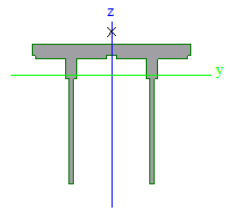
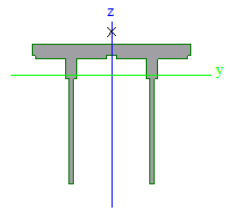
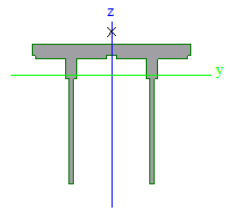
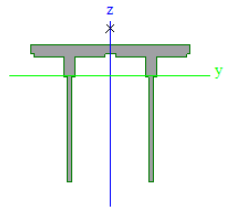
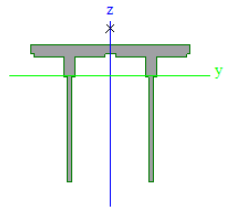
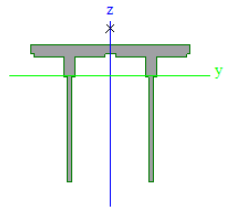
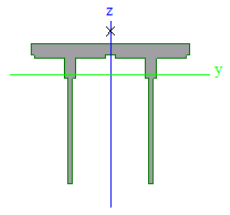
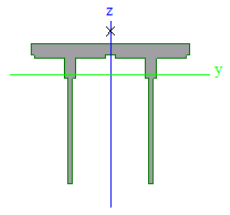
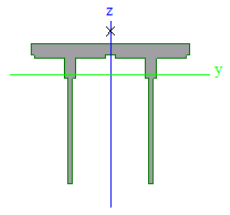
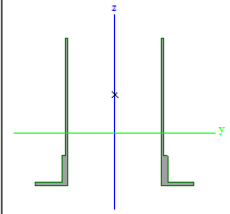
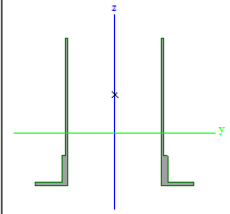
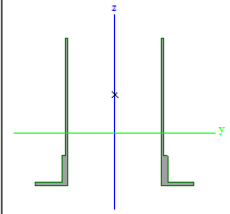
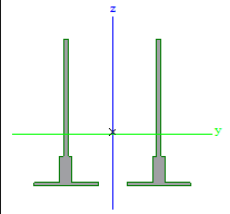
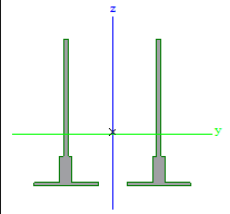
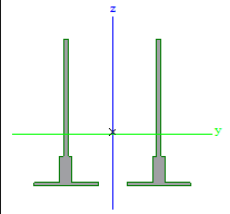
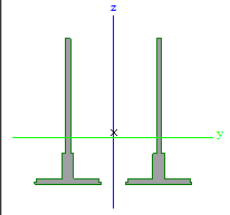
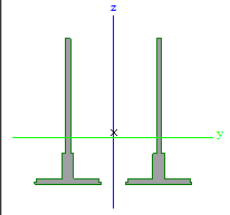
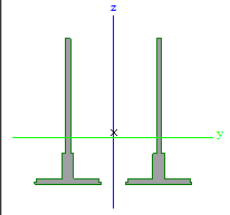
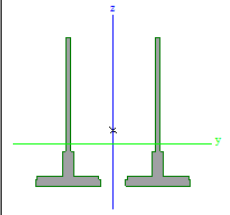
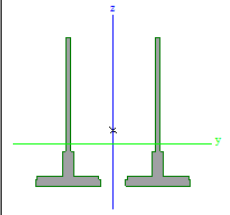
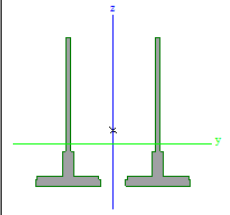
Slika A1: Postopek ocene preostale življenjske dobe obstoječih mostov (vir: [13])

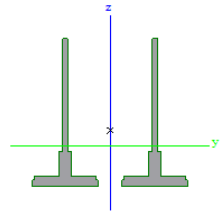
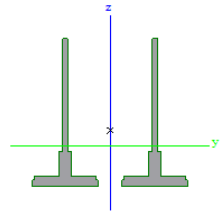
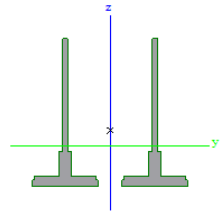
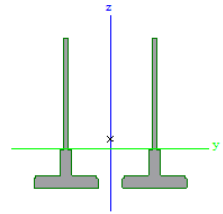
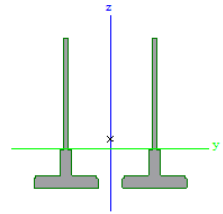
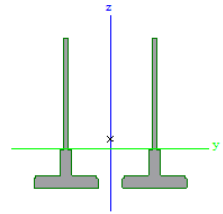
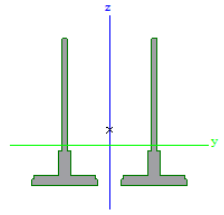
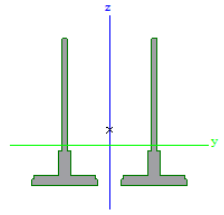
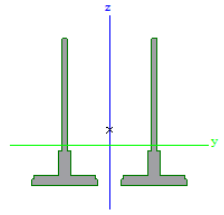
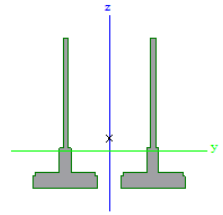
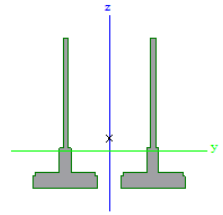
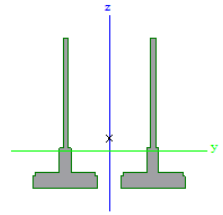
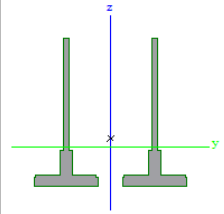
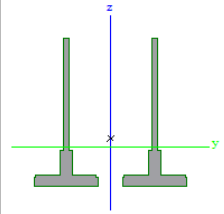
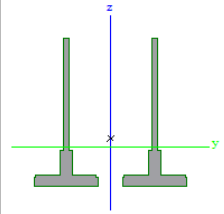
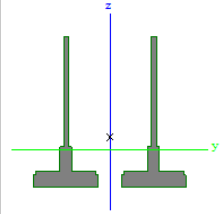
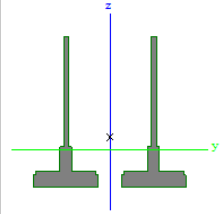
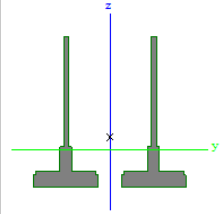
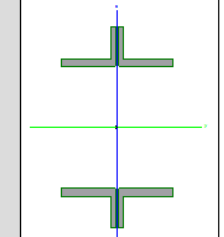
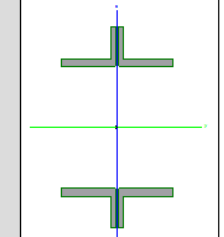
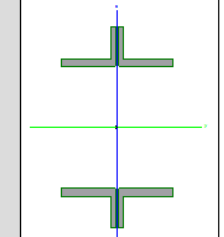
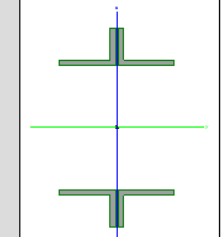
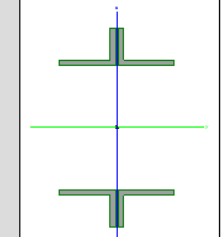
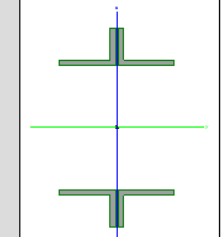
**“Ta stran je namenoma prazna.”**



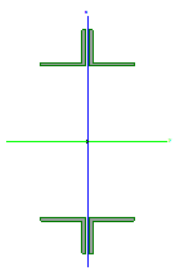
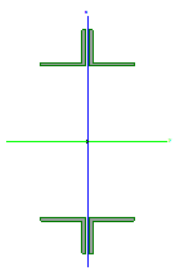
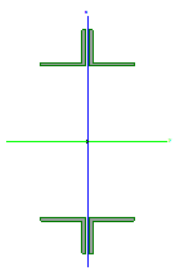
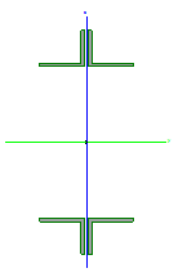
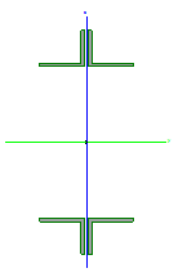
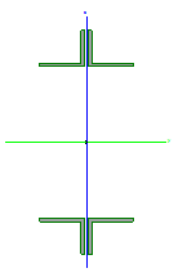
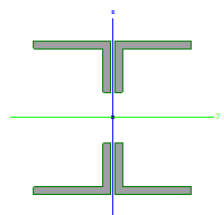
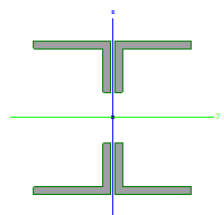
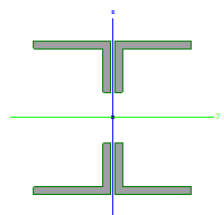
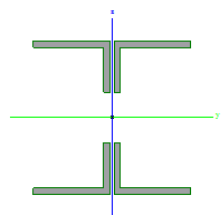
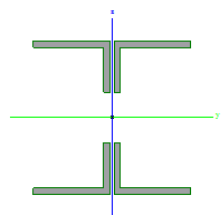
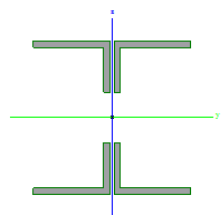
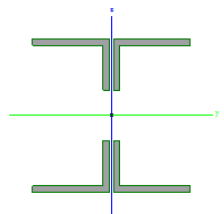
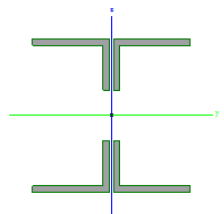
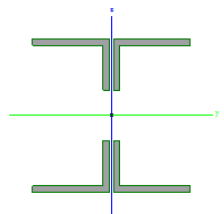
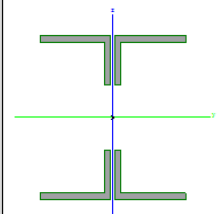
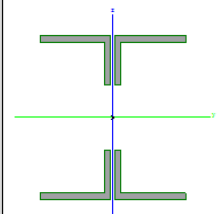
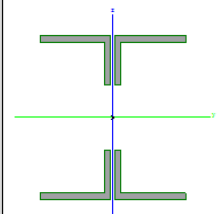
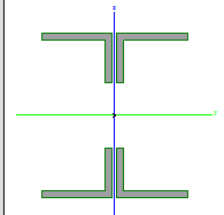
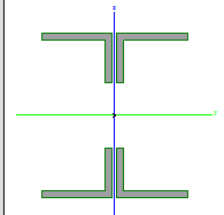
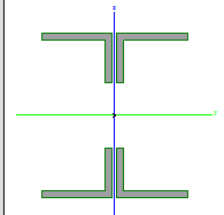
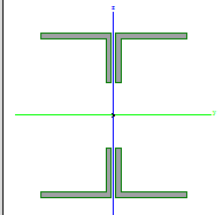
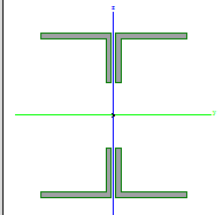
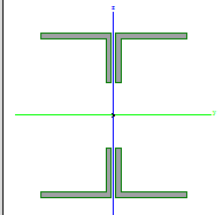
**PRILOGA B: Geometrijske karakteristike uporabljenih prerezov**

<b>O1</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.9572e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>4.7657e-04</td> <td>6.4987e-04</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>156</td> <td>182</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.2525e-03</td> <td>2.0964e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.3104e-03</td> <td>3.3891e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.9572e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.7657e-04	6.4987e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	156	182	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2525e-03	2.0964e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3104e-03	3.3891e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.9572e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.7657e-04	6.4987e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	156	182																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2525e-03	2.0964e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3104e-03	3.3891e-03																		
Slika																				
<b>O1a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>2.0812e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>4.9613e-04</td> <td>6.8959e-04</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>154</td> <td>182</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.2780e-03</td> <td>2.2245e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.3542e-03</td> <td>3.5813e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	2.0812e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.9613e-04	6.8959e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	154	182	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2780e-03	2.2245e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3542e-03	3.5813e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	2.0812e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.9613e-04	6.8959e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	154	182																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2780e-03	2.2245e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3542e-03	3.5813e-03																		
Slika																				
<b>O2</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>3.3564e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>8.5302e-04</td> <td>9.3054e-04</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>159</td> <td>167</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.3704e-03</td> <td>3.0017e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.3204e-03</td> <td>5.3144e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.3564e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	8.5302e-04	9.3054e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	159	167	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3704e-03	3.0017e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.3204e-03	5.3144e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.3564e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	8.5302e-04	9.3054e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	159	167																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3704e-03	3.0017e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.3204e-03	5.3144e-03																		
Slika																				
<b>O2a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>3.4804e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>8.7998e-04</td> <td>9.7026e-04</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>159</td> <td>167</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.4094e-03</td> <td>3.1299e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.4100e-03</td> <td>5.5066e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.4804e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	8.7998e-04	9.7026e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	159	167	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.4094e-03	3.1299e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.4100e-03	5.5066e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.4804e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	8.7998e-04	9.7026e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	159	167																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.4094e-03	3.1299e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.4100e-03	5.5066e-03																		
Slika																				
<b>O3</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>3.9144e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>9.6599e-04</td> <td>1.1093e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>157</td> <td>168</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.5303e-03</td> <td>3.5783e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.6710e-03</td> <td>6.1793e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.9144e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.6599e-04	1.1093e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	157	168	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5303e-03	3.5783e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6710e-03	6.1793e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.9144e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.6599e-04	1.1093e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	157	168																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5303e-03	3.5783e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6710e-03	6.1793e-03																		
Slika																				
<b>O3a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.1624e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.0106e-03</td> <td>1.1887e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>156</td> <td>169</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.5911e-03</td> <td>3.8346e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.7834e-03</td> <td>6.5637e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.1624e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0106e-03	1.1887e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	156	169	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5911e-03	3.8346e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.7834e-03	6.5637e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.1624e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0106e-03	1.1887e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	156	169																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5911e-03	3.8346e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.7834e-03	6.5637e-03																		
Slika																				
<b>O4</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.4724e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.0627e-03</td> <td>1.2880e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>154</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.6613e-03</td> <td>4.1549e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.8975e-03</td> <td>7.0442e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.4724e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0627e-03	1.2880e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	154	170	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.6613e-03	4.1549e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.8975e-03	7.0442e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.4724e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0627e-03	1.2880e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	154	170																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.6613e-03	4.1549e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.8975e-03	7.0442e-03																		
Slika																				
<b>O4a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.8444e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.1214e-03</td> <td>1.4072e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>152</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.7394e-03</td> <td>4.5393e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>5.0405e-03</td> <td>7.6208e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.8444e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1214e-03	1.4072e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	152	170	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7394e-03	4.5393e-03	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.0405e-03	7.6208e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.8444e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1214e-03	1.4072e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	152	170																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7394e-03	4.5393e-03																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.0405e-03	7.6208e-03																		
Slika																				

<b>O5</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>5.0304e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.1494e-03</td><td>1.4668e-03</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>151</td><td>171</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.7765e-03</td><td>4.7315e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>5.1157e-03</td><td>7.9091e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.0304e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1494e-03	1.4668e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	151	171	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7765e-03	4.7315e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.1157e-03	7.9091e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	5.0304e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1494e-03	1.4668e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	151	171																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7765e-03	4.7315e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.1157e-03	7.9091e-03																		
Slika																				
<b>O5a</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>5.5264e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.2212e-03</td><td>1.6257e-03</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>149</td><td>172</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.8713e-03</td><td>5.2441e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>5.3283e-03</td><td>8.6779e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.5264e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.2212e-03	1.6257e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	149	172	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.8713e-03	5.2441e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.3283e-03	8.6779e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	5.5264e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.2212e-03	1.6257e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	149	172																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.8713e-03	5.2441e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.3283e-03	8.6779e-03																		
Slika																				
<b>O6</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>5.0304e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.1494e-03</td><td>1.4668e-03</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>151</td><td>171</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.7765e-03</td><td>4.7315e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>5.1157e-03</td><td>7.9091e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.0304e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1494e-03	1.4668e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	151	171	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7765e-03	4.7315e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.1157e-03	7.9091e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	5.0304e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1494e-03	1.4668e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	151	171																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7765e-03	4.7315e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.1157e-03	7.9091e-03																		
Slika																				
<b>O6a</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>5.5264e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.2212e-03</td><td>1.6257e-03</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>149</td><td>172</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.8713e-03</td><td>5.2441e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>5.3283e-03</td><td>8.6779e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.5264e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.2212e-03	1.6257e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	149	172	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.8713e-03	5.2441e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.3283e-03	8.6779e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	5.5264e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.2212e-03	1.6257e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	149	172																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.8713e-03	5.2441e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.3283e-03	8.6779e-03																		
Slika																				
<b>U1</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>1.3512e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>3.3795e-04</td><td>4.2068e-04</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>158</td><td>176</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>1.0441e-03</td><td>1.5697e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>1.8376e-03</td><td>2.3622e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.3512e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.3795e-04	4.2068e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	176	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0441e-03	1.5697e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.8376e-03	2.3622e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.3512e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.3795e-04	4.2068e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	176																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0441e-03	1.5697e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.8376e-03	2.3622e-03																		
Slika																				
<b>U2</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>2.7024e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>6.7589e-04</td><td>7.0539e-04</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>158</td><td>162</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.0883e-03</td><td>2.6321e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>3.6752e-03</td><td>4.2968e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	2.7024e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.7589e-04	7.0539e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	162	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.0883e-03	2.6321e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.6752e-03	4.2968e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	2.7024e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.7589e-04	7.0539e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	162																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.0883e-03	2.6321e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.6752e-03	4.2968e-03																		
Slika																				
<b>U3</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>3.0704e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>7.8125e-04</td><td>8.1465e-04</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>160</td><td>163</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.2627e-03</td><td>2.9732e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.0690e-03</td><td>4.8819e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.0704e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	7.8125e-04	8.1465e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	160	163	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.2627e-03	2.9732e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.0690e-03	4.8819e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.0704e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	7.8125e-04	8.1465e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	160	163																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.2627e-03	2.9732e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.0690e-03	4.8819e-03																		
Slika																				
<b>U3a</b> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>3.7144e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>9.3470e-04</td><td>1.0058e-03</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>159</td><td>165</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.4945e-03</td><td>3.6710e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.6132e-03</td><td>5.9059e-03</td></tr> <tr><td>Slika</td><td colspan="2"></td></tr> </tbody> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.7144e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.3470e-04	1.0058e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	159	165	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.4945e-03	3.6710e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6132e-03	5.9059e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.7144e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.3470e-04	1.0058e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	159	165																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.4945e-03	3.6710e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6132e-03	5.9059e-03																		
Slika																				

<b>U4</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>3.8064e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>9.5445e-04</td> <td>1.0332e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>158</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.5231e-03</td> <td>3.7707e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.6781e-03</td> <td>6.0522e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.8064e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5445e-04	1.0332e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	165	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5231e-03	3.7707e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6781e-03	6.0522e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.8064e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5445e-04	1.0332e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	165																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5231e-03	3.7707e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6781e-03	6.0522e-03																		
Slika																				
<b>U4a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.2204e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.0387e-03</td> <td>1.1561e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>157</td> <td>166</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.6429e-03</td> <td>4.2192e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.9308e-03</td> <td>6.7104e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.2204e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0387e-03	1.1561e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	157	166	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.6429e-03	4.2192e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9308e-03	6.7104e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.2204e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0387e-03	1.1561e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	157	166																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.6429e-03	4.2192e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9308e-03	6.7104e-03																		
Slika																				
<b>U5</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>3.8064e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>9.5445e-04</td> <td>1.0332e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>158</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.5231e-03</td> <td>3.7707e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.6781e-03</td> <td>6.0522e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	3.8064e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5445e-04	1.0332e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	165	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5231e-03	3.7707e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6781e-03	6.0522e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	3.8064e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5445e-04	1.0332e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	158	165																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5231e-03	3.7707e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6781e-03	6.0522e-03																		
Slika																				
<b>U5a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.7724e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.1428e-03</td> <td>1.3200e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>155</td> <td>166</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.7880e-03</td> <td>4.8174e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>5.2082e-03</td> <td>7.5881e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.7724e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1428e-03	1.3200e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	155	166	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7880e-03	4.8174e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.2082e-03	7.5881e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.7724e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1428e-03	1.3200e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	155	166																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7880e-03	4.8174e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.2082e-03	7.5881e-03																		
Slika																				
<b>U6</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.1744e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.0297e-03</td> <td>1.1424e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>157</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.6302e-03</td> <td>4.1694e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>4.9059e-03</td> <td>6.6373e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.1744e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0297e-03	1.1424e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	157	165	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.6302e-03	4.1694e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9059e-03	6.6373e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.1744e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.0297e-03	1.1424e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	157	165																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.6302e-03	4.1694e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9059e-03	6.6373e-03																		
Slika																				
<b>U6a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>4.7724e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.1428e-03</td> <td>1.3200e-03</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>155</td> <td>166</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.7880e-03</td> <td>4.8174e-03</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>5.2082e-03</td> <td>7.5881e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.7724e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1428e-03	1.3200e-03	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	155	166	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7880e-03	4.8174e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.2082e-03	7.5881e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	4.7724e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1428e-03	1.3200e-03																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	155	166																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7880e-03	4.8174e-03																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.2082e-03	7.5881e-03																		
Slika																				
<b>D1a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.7124e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>6.4933e-04</td> <td>1.0282e-04</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>195</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.3526e-03</td> <td>6.6769e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>3.3009e-03</td> <td>1.0429e-03</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.7124e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.4933e-04	1.0282e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	195	77	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3526e-03	6.6769e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.3009e-03	1.0429e-03	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.7124e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.4933e-04	1.0282e-04																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	195	77																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3526e-03	6.6769e-04																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.3009e-03	1.0429e-03																		
Slika																				
<b>D1b</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.4100e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>5.3978e-04</td> <td>7.3814e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>196</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.0141e-03</td> <td>4.7931e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>2.7296e-03</td> <td>7.6965e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.4100e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	5.3978e-04	7.3814e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	196	72	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.0141e-03	4.7931e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7296e-03	7.6965e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.4100e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	5.3978e-04	7.3814e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	196	72																		
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.0141e-03	4.7931e-04																		
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7296e-03	7.6965e-04																		
Slika																				

<b>D2a</b>			<b>D2b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	1.4100e-02		A [m <sup>2</sup> ]	1.2324e-02	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	5.3978e-04	7.3814e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.6849e-04	6.3867e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	196	72	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	195	72
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.0141e-03	4.7931e-04	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.7481e-03	4.1472e-04
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.7296e-03	7.6965e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3767e-03	6.6370e-04
Slika			Slika		
<b>D3a</b>			<b>D3b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	1.2324e-02		A [m <sup>2</sup> ]	9.1960e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.6849e-04	6.3867e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.5339e-04	3.5637e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	195	72	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	222	62
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.7481e-03	4.1472e-04	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5743e-03	2.6595e-04
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.3767e-03	6.6370e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.0278e-03	4.2770e-04
Slika			Slika		
<b>D4a</b>			<b>D4b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	9.9840e-03		A [m <sup>2</sup> ]	8.0640e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.3335e-04	3.8916e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.9612e-04	1.8362e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	183	62	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	192	48
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3441e-03	2.9042e-04	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.1940e-03	1.7656e-04
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.8059e-03	4.6800e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5337e-03	2.9184e-04
Slika			Slika		
<b>D5a</b>			<b>D5b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	8.0640e-03		A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.9612e-04	1.8362e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.9923e-04	1.2158e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	192	48	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	190	47
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.1940e-03	1.7656e-04	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.0336e-04	1.1690e-04
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5337e-03	2.9184e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0388e-03	1.9123e-04
Slika			Slika		

<b>D6a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>5.5040e-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.9923e-04</td> <td>1.2158e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>190</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>8.0336e-04</td> <td>1.1690e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.0388e-03</td> <td>1.9123e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.9923e-04	1.2158e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	190	47	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.0336e-04	1.1690e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0388e-03	1.9123e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.9923e-04	1.2158e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	190	47																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.0336e-04	1.1690e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0388e-03	1.9123e-04																		
Slika																				
<b>D6b</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>5.5040e-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.9923e-04</td> <td>1.2158e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>190</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>8.0336e-04</td> <td>1.1690e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.0388e-03</td> <td>1.9123e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.9923e-04	1.2158e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	190	47	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.0336e-04	1.1690e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0388e-03	1.9123e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.9923e-04	1.2158e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	190	47																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.0336e-04	1.1690e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0388e-03	1.9123e-04																		
Slika																				
<b>Z1a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.4100e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>2.2963e-04</td> <td>7.3814e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>128</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.5309e-03</td> <td>4.7931e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.7543e-03</td> <td>7.6965e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.4100e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2963e-04	7.3814e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	128	72	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5309e-03	4.7931e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.7543e-03	7.6965e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.4100e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2963e-04	7.3814e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	128	72																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5309e-03	4.7931e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.7543e-03	7.6965e-04																		
Slika																				
<b>Z1b</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.2324e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>2.0313e-04</td> <td>6.3867e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>128</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.3542e-03</td> <td>4.1472e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.5423e-03</td> <td>6.6370e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.2324e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.0313e-04	6.3867e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	128	72	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3542e-03	4.1472e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5423e-03	6.6370e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.2324e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.0313e-04	6.3867e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	128	72																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3542e-03	4.1472e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5423e-03	6.6370e-04																		
Slika																				
<b>Z2a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.2324e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>2.0313e-04</td> <td>6.3867e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>128</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.3542e-03</td> <td>4.1472e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.5423e-03</td> <td>6.6370e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.2324e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.0313e-04	6.3867e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	128	72	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3542e-03	4.1472e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5423e-03	6.6370e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.2324e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.0313e-04	6.3867e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	128	72																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3542e-03	4.1472e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.5423e-03	6.6370e-04																		
Slika																				
<b>Z2b</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>9.9840e-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.6806e-04</td> <td>3.8916e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>130</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.1204e-03</td> <td>2.9042e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.2692e-03</td> <td>4.6800e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	9.9840e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.6806e-04	3.8916e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	130	62	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.1204e-03	2.9042e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2692e-03	4.6800e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	9.9840e-03																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.6806e-04	3.8916e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	130	62																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.1204e-03	2.9042e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2692e-03	4.6800e-04																		
Slika																				
<b>Z3a</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>1.0764e-02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.8012e-04</td> <td>4.2203e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>129</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.2008e-03</td> <td>3.1494e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.3645e-03</td> <td>5.0848e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	1.0764e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.8012e-04	4.2203e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	129	63	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2008e-03	3.1494e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3645e-03	5.0848e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	1.0764e-02																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.8012e-04	4.2203e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	129	63																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.2008e-03	3.1494e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.3645e-03	5.0848e-04																		
Slika																				
<b>Z3b</b> <table border="1"> <tr> <td>A [m<sup>2</sup>]</td> <td>8.4000e-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td> <td>1.4308e-04</td> <td>3.2366e-05</td> </tr> <tr> <td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td> <td>131</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>W<sub>el.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>9.5387e-04</td> <td>2.4154e-04</td> </tr> <tr> <td>W<sub>pl.y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl.z</sub> [m<sup>3</sup>]</td> <td>1.0740e-03</td> <td>3.8760e-04</td> </tr> <tr> <td>Slika</td> <td colspan="2">  </td> </tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	8.4000e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.4308e-04	3.2366e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	62	W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	9.5387e-04	2.4154e-04	W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0740e-03	3.8760e-04	Slika		
A [m <sup>2</sup> ]	8.4000e-03																			
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.4308e-04	3.2366e-05																		
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	62																		
W <sub>el.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	9.5387e-04	2.4154e-04																		
W <sub>pl.y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl.z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0740e-03	3.8760e-04																		
Slika																				

<b>Z4a</b>			<b>Z4b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	8.3160e-03		A [m <sup>2</sup> ]	6.8000e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.4466e-04	2.8267e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1615e-04	1.5247e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	132	58	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	47
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	9.6440e-04	2.2796e-04	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	7.7431e-04	1.4661e-04
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0802e-03	3.6676e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.7400e-04	2.4120e-04
Slika			Slika		
<b>Z5a</b>			<b>Z5b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	6.8000e-03		A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.1615e-04	1.5247e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5111e-05	1.2158e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	47	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	47
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	7.7431e-04	1.4661e-04	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	6.3408e-04	1.1690e-04
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.7400e-04	2.4120e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	7.1142e-04	1.9123e-04
Slika			Slika		
<b>Z6a</b>			<b>Z6b</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03		A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5111e-05	1.2158e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.5111e-05	1.2158e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	47	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	131	47
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	6.3408e-04	1.1690e-04	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	6.3408e-04	1.1690e-04
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	7.1142e-04	1.9123e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	7.1142e-04	1.9123e-04
Slika			Slika		
<b>W1o</b>			<b>W2o</b>		
A [m <sup>2</sup> ]	5.9020e-03		A [m <sup>2</sup> ]	5.0380e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	7.9926e-06	1.5133e-05	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9246e-06	1.2769e-05
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	37	51	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	37	50
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	9.3790e-05	1.2611e-04	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.0574e-05	1.0641e-04
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.6900e-04	2.0528e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.4515e-04	1.7159e-04
Slika			Slika		

W3o		
A [m <sup>2</sup> ]	4.5120e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.2003e-06	8.1014e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	31	42
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.9497e-05	8.1014e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.0722e-04	1.3267e-04
Slika		

W4o		
A [m <sup>2</sup> ]	3.8000e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.6001e-06	6.7267e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	31	42
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	5.0481e-05	6.7267e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	9.0950e-05	1.0900e-04
Slika		

W5o		
A [m <sup>2</sup> ]	3.0780e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.3620e-06	4.4134e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	28	38
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.6801e-05	4.9037e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	6.6303e-05	7.9461e-05
Slika		

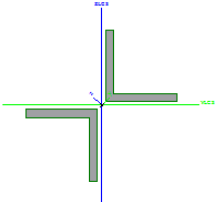
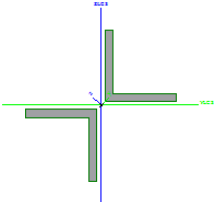
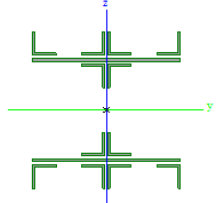
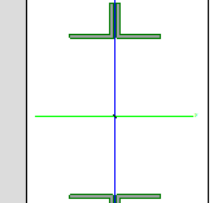
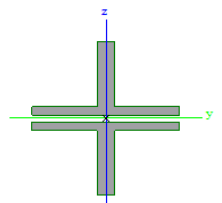
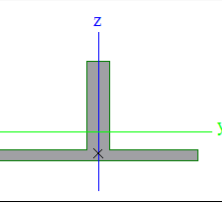
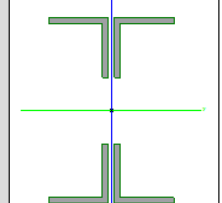
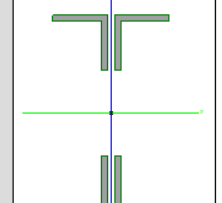
W6o		
A [m <sup>2</sup> ]	2.4320e-03	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.4746e-06	2.7552e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	25	34
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.5846e-05	3.4441e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.6566e-05	5.5808e-05
Slika		

W1u		
A [m <sup>2</sup> ]	2.4320e-03	
I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.2406e-06	3.2406e-06
I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	8.9293e-07	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.3477e-06	4.1335e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	31	41
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.1502e-05	6.0893e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	6.5408e-05	9.2682e-05
Slika		

W2u		
A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03	
I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06
I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05
Slika		

W3u		
A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03	
I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06
I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05
Slika		

W4u		
A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03	
I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06
I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07	
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05
Slika		

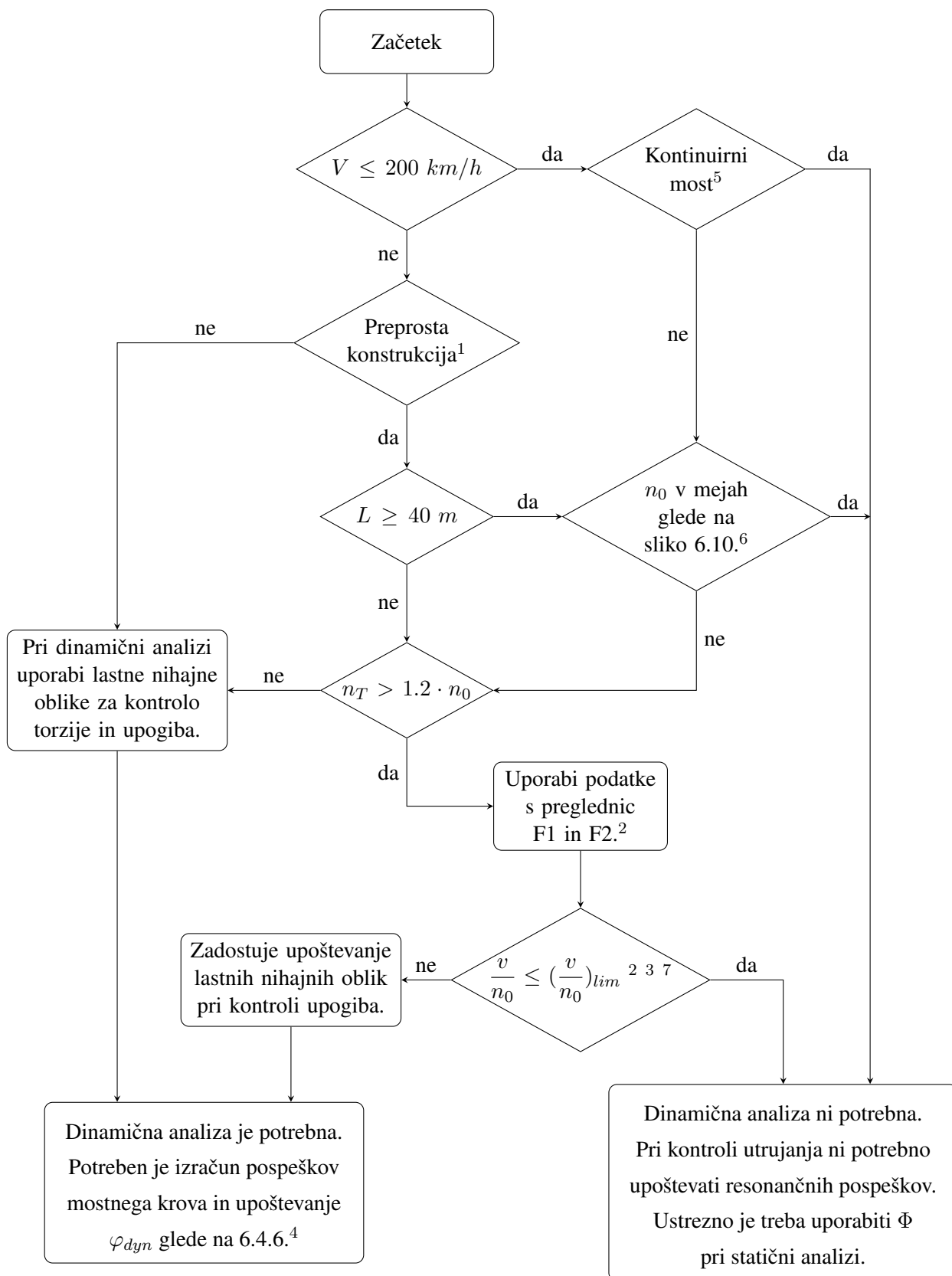
<b>W5u</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>2.1120e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y,LCS</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z,LCS</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>2.2296e-06</td><td>2.2296e-06</td></tr> <tr><td>I<sub>yz,LCS</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>6.9069e-07</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.5389e-06</td><td>2.9203e-06</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>27</td><td>37</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>3.1091e-05</td><td>4.8023e-05</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.9343e-05</td><td>7.2996e-05</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03		I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06	I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05	<b>W6u</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>2.1120e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y,LCS</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z,LCS</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>2.2296e-06</td><td>2.2296e-06</td></tr> <tr><td>I<sub>yz,LCS</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>6.9069e-07</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.5389e-06</td><td>2.9203e-06</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>27</td><td>37</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>3.1091e-05</td><td>4.8023e-05</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.9343e-05</td><td>7.2996e-05</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03		I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06	I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05
A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03																																														
I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06																																													
I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05																																													
A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03																																														
I <sub>y,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2296e-06	2.2296e-06																																													
I <sub>yz,LCS</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.9069e-07																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.5389e-06	2.9203e-06																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	27	37																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.1091e-05	4.8023e-05																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9343e-05	7.2996e-05																																													
																																															
<b>Krajna vertikala</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>2.3592e-02</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>7.6992e-04</td><td>4.5443e-04</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>181</td><td>139</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>2.9053e-03</td><td>1.8177e-03</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.1817e-03</td><td>2.4964e-03</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	2.3592e-02		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	7.6992e-04	4.5443e-04	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	181	139	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.9053e-03	1.8177e-03	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.1817e-03	2.4964e-03	<b>Vertikala</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>5.5040e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>2.2496e-04</td><td>1.2350e-05</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>202</td><td>47</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>8.6522e-04</td><td>1.1818e-04</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>1.1049e-03</td><td>1.9398e-04</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2496e-04	1.2350e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	202	47	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.6522e-04	1.1818e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.1049e-03	1.9398e-04												
A [m <sup>2</sup> ]	2.3592e-02																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	7.6992e-04	4.5443e-04																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	181	139																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2.9053e-03	1.8177e-03																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.1817e-03	2.4964e-03																																													
A [m <sup>2</sup> ]	5.5040e-03																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2.2496e-04	1.2350e-05																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	202	47																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	8.6522e-04	1.1818e-04																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.1049e-03	1.9398e-04																																													
																																															
<b>Prečna diagonala00</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>9.0240e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>1.8774e-05</td><td>1.6203e-05</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>46</td><td>42</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>1.7965e-04</td><td>1.6203e-04</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>3.0595e-04</td><td>2.6534e-04</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	9.0240e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.8774e-05	1.6203e-05	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	46	42	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.7965e-04	1.6203e-04	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.0595e-04	2.6534e-04	<b>Prečna diagonala1166</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>2.1120e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>9.6817e-07</td><td>1.8505e-06</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>21</td><td>30</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>1.9535e-05</td><td>2.6436e-05</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>3.5203e-05</td><td>4.3168e-05</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.6817e-07	1.8505e-06	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	21	30	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.9535e-05	2.6436e-05	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.5203e-05	4.3168e-05												
A [m <sup>2</sup> ]	9.0240e-03																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1.8774e-05	1.6203e-05																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	46	42																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.7965e-04	1.6203e-04																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.0595e-04	2.6534e-04																																													
A [m <sup>2</sup> ]	2.1120e-03																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	9.6817e-07	1.8505e-06																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	21	30																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1.9535e-05	2.6436e-05																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.5203e-05	4.3168e-05																																													
																																															
<b>Spodnja vez 00</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>4.8640e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>5.3606e-05</td><td>6.6135e-06</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>105</td><td>37</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.2885e-04</td><td>7.8267e-05</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.9638e-04</td><td>1.3350e-04</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.8640e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	5.3606e-05	6.6135e-06	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	105	37	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.2885e-04	7.8267e-05	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9638e-04	1.3350e-04	<b>Spodnja vez 1166</b> <table border="1"> <tr><td>A [m<sup>2</sup>]</td><td>4.2240e-03</td><td></td></tr> <tr><td>I<sub>y</sub> [m<sup>4</sup>], I<sub>z</sub> [m<sup>4</sup>]</td><td>4.8117e-05</td><td>4.5636e-06</td></tr> <tr><td>i<sub>y</sub> [mm], i<sub>z</sub> [mm]</td><td>107</td><td>33</td></tr> <tr><td>W<sub>el,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>el,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>3.8494e-04</td><td>6.1256e-05</td></tr> <tr><td>W<sub>pl,y</sub> [m<sup>3</sup>], W<sub>pl,z</sub> [m<sup>3</sup>]</td><td>4.4166e-04</td><td>1.0534e-04</td></tr> </table>			A [m <sup>2</sup> ]	4.2240e-03		I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.8117e-05	4.5636e-06	i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	107	33	W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.8494e-04	6.1256e-05	W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.4166e-04	1.0534e-04												
A [m <sup>2</sup> ]	4.8640e-03																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	5.3606e-05	6.6135e-06																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	105	37																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.2885e-04	7.8267e-05																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.9638e-04	1.3350e-04																																													
A [m <sup>2</sup> ]	4.2240e-03																																														
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	4.8117e-05	4.5636e-06																																													
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	107	33																																													
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3.8494e-04	6.1256e-05																																													
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	4.4166e-04	1.0534e-04																																													
																																															





**“Ta stran je namenoma prazna.”**

**PRILOGA C: Postopek za določitev upoštevanja dinamične analize**



Slika C1: Postopek za določitev upoštevanja dinamične analize (vir: [4])<sup>0</sup>

<sup>0</sup>Vso sklicevanje na slike in poglavja je vezano na standard [4]!

- <sup>1</sup> Velja samo za enostavno podprte mostove z vzdolžnimi linijskimi nosilci ali enostavno pločevino z zanemarljivim vplivom pravokotnosti robov toge podpore.
- <sup>2</sup> Glej Aneks F v standardu [4] za tabeli F1 in F2 ter za pripadajoče mejne vrednosti.
- <sup>3</sup> Dinamična analiza je potrebna, kjer je pogosta delovna hitrosti realnih vlakov enaka resonančni hitrosti konstrukcije. Glej 6.4.6.6 in Aneks F v standardu [4].
- <sup>4</sup>  $\varphi'_{dyn}$  je dinamični faktor realnih vlakov za konstrukcijo, ki je podana v 6.4.6.5(3) v standardu [4].
- <sup>5</sup> Velja, če most zadosti pogojem odpornosti, deformacije so znotraj meja, podanih v EN 1990 A2.4.4, in je največji dovoljen nagib potniškega vagona takšen, da potnikom še omogoča zelo dobro udobje po EN t 990 A2.
- <sup>6</sup> Za mostove, pri katerih je prva nihajna frekvenca  $n_0$  znotraj mej podanih v sliki 6.10 in največja potovalna hitrost ni večja od  $200 \text{ km/h}$ , dinamična analiza ni potrebna.
- <sup>7</sup> Za mostove, pri katerih je prva lastna nihajna frekvenca  $n_0$  večja od zgornje meje (1), ki je podana na sliki 6.10, je dinamična analiza potrebna. Glej tudi 6.4.6.1.1(7).

**PRILOGA D: Podatki o teži vlakov**

D.1: Teža vlakov na trasi Koper–Šentilj

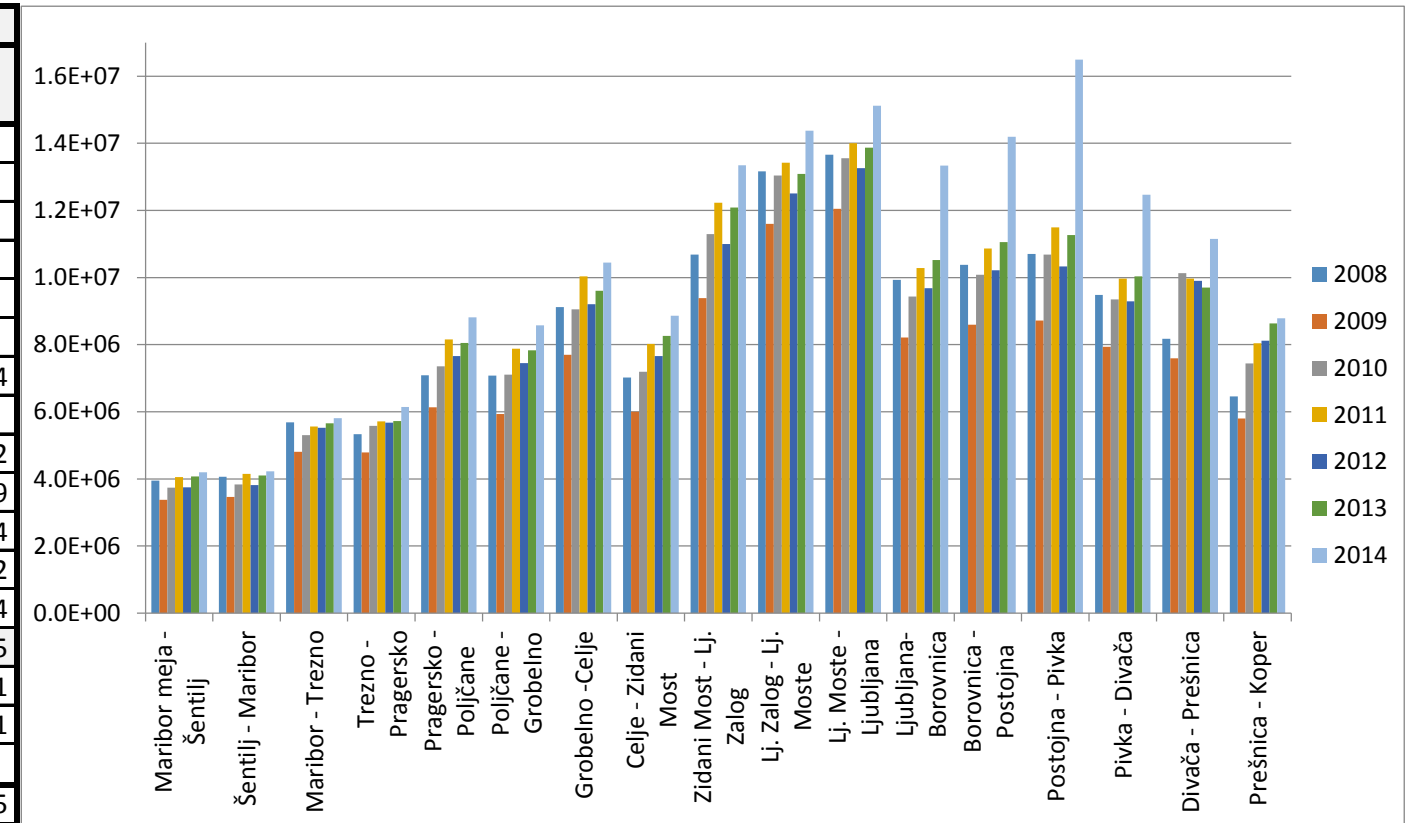
D.2: Teža vlakov na trasi Jesenice–Dobova

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

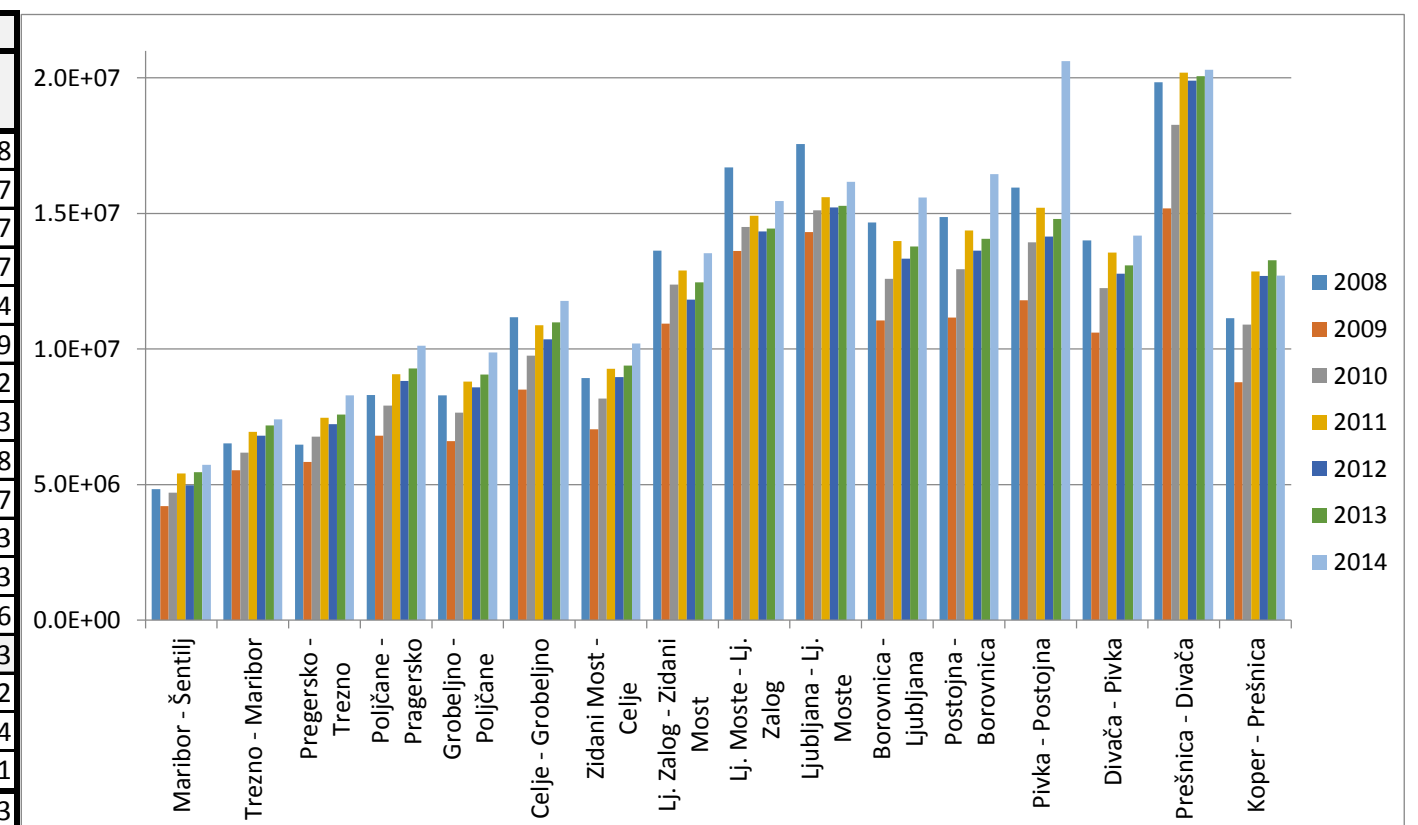
D.1: Teža vlakov na trasi Koper-Šentilj

Preglednica D1: Teža vlakov na trasi Koper-Šentilj (vir: Slovenske železnice)

TRASA KOPER - ŠENTILJ							
TEŽA VSEH VLAKOV NA POSAMEZNIH ODSEKIH, SMER ŠENTILJ - KOPER							
Odsek \ Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Maribor meja - Šentilj	3,948,266	3,379,889	3,733,709	4,055,230	3,748,037	4,073,995	4,199,452
Šentilj - Maribor	4,059,468	3,465,321	3,835,219	4,151,314	3,815,864	4,100,956	4,226,497
Maribor - Trezno	5,684,817	4,809,899	5,305,471	5,564,492	5,520,472	5,655,540	5,809,156
Trezno - Pragersko	5,329,664	4,783,692	5,580,898	5,708,457	5,670,196	5,720,154	6,140,991
Pragersko - Poljčane	7,082,967	6,131,962	7,357,274	8,155,641	7,659,895	8,046,104	8,810,528
Poljčane - Grobelno	7,074,230	5,927,980	7,103,303	7,879,595	7,445,544	7,827,517	8,572,193
Grobelno - Celje	9,118,290	7,698,900	9,051,380	10,032,534	9,202,341	9,606,846	10,442,694
Celje - Zidani Most	7,019,167	6,002,832	7,190,980	8,019,167	7,656,912	8,261,088	8,862,678
Zidani Most - Lj. Zalog	10,683,265	9,383,977	11,295,234	12,224,327	10,994,402	12,085,354	13,341,752
Lj. Zalog - Lj. Moste	13,160,395	11,599,691	13,037,414	13,418,341	12,502,028	13,088,853	14,373,489
Lj. Moste - Ljubljana	13,662,315	12,051,846	13,558,873	14,003,211	13,257,907	13,868,978	15,122,994
Ljubljana - Borovnica	9,929,573	8,212,638	9,436,022	10,278,829	9,683,299	10,519,989	13,333,802
Borovnica - Postojna	10,378,431	8,589,559	10,079,504	10,861,070	10,217,629	11,059,795	14,196,854
Postojna - Pivka	10,705,419	8,713,930	10,684,268	11,497,511	10,326,681	11,263,683	16,495,455
Pivka - Divača	9,476,775	7,934,946	9,344,126	9,970,778	9,288,084	10,029,807	12,468,201
Divača - Prešnica	8,174,506	7,594,151	10,128,847	9,963,282	9,897,388	9,704,162	11,152,621
Prešnica - Koper	6,457,583	5,798,859	7,437,322	8,039,017	8,119,104	8,630,255	8,784,196
Največja obremenitev	13,662,315	12,051,846	13,558,873	14,003,211	13,257,907	13,868,978	16,495,455



TEŽA VSEH VLAKOV NA POSAMEZNIH ODSEKIH, SMER KOPER - ŠENTILJ							
Odsek \ Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Šentilj - Maribor meja	4,726,925	4,128,242	4,601,764	5,305,945	4,900,241	5,428,958	5,688,648
Maribor - Šentilj	4,829,890	4,207,730	4,701,787	5,402,988	4,968,684	5,457,911	5,722,417
Trezno - Maribor	6,519,442	5,528,553	6,175,982	6,944,716	6,804,396	7,178,418	7,401,727
Pregersko - Trezno	6,474,490	5,827,457	6,770,090	7,466,839	7,222,273	7,579,625	8,292,477
Poljčane - Pragersko	8,302,845	6,804,625	7,914,798	9,072,153	8,821,809	9,280,050	10,123,784
Grobeljno - Poljčane	8,292,848	6,597,882	7,653,754	8,795,749	8,582,740	9,052,471	9,865,799
Celje - Grobeljno	11,173,232	8,499,344	9,753,658	10,871,269	10,352,391	10,982,988	11,771,102
Zidani Most - Celje	8,930,201	7,043,257	8,174,231	9,267,374	8,958,375	9,391,381	10,201,473
Lj. Zalog - Zidani Most	13,624,326	10,935,590	12,372,554	12,892,762	11,823,580	12,463,275	13,538,028
Lj. Moste - Lj. Zalog	16,695,584	13,613,226	14,495,674	14,911,845	14,334,285	14,446,653	15,460,637
Ljubljana - Lj. Moste	17,563,665	14,312,339	15,110,660	15,594,802	15,222,730	15,276,128	16,166,313
Borovnica - Ljubljana	14,662,648	11,049,530	12,587,061	13,979,772	13,326,447	13,780,689	15,588,163
Postojna - Borovnica	14,864,542	11,155,691	12,943,536	14,372,066	13,621,493	14,060,093	16,448,626
Pivka - Postojna	15,947,267	11,797,719	13,935,649	15,209,522	14,141,520	14,792,019	20,622,333
Divača - Pivka	14,000,352	10,600,847	12,248,482	13,554,794	12,775,520	13,084,138	14,185,792
Prešnica - Divača	19,834,837	15,183,333	18,271,842	20,191,594	19,901,919	20,060,140	20,295,074
Koper - Prešnica	11,134,568	8,767,960	10,897,817	12,862,302	12,699,415	13,269,516	12,702,651
Največja obremenitev	19,834,837	15,183,333	18,271,842	20,191,594	19,901,919	20,060,140	20,622,333



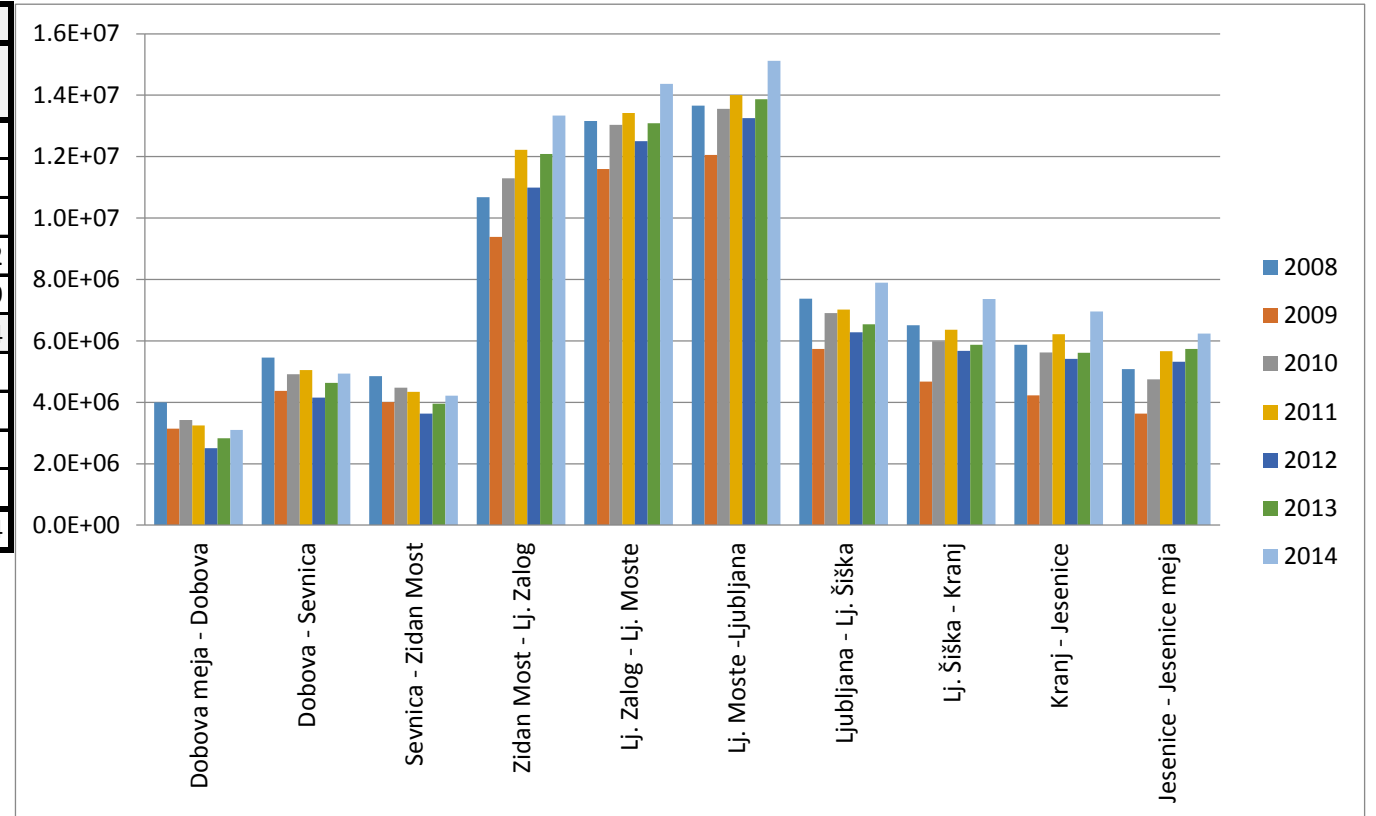
**“Ta stran je namenoma prazna.”**



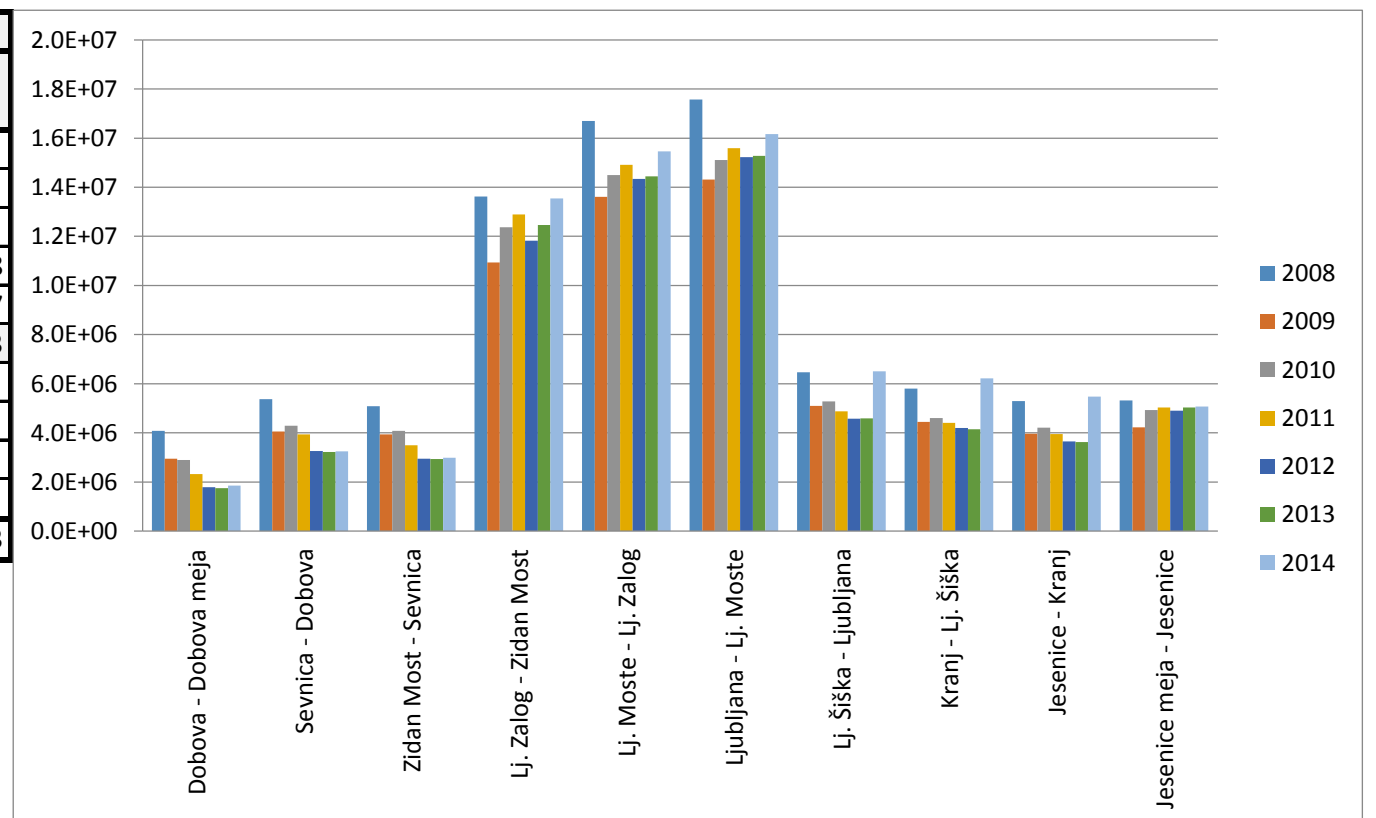
D.2: Teža vlakov na trasi Jesenice–Dobova

Preglednica D2: Teža vlakov na trasi Jesenice–Dobova (vir: Slovenske železnice)

TRASA JESENICE-DOBOVA							
TEŽA VSEH VLAKOV NA POSAMEZNIH ODSEKIH, SMER DOBOVA MEJA - JESENICE MEJA							
Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dobova meja - Dobova	3,999,070	3,145,338	3,423,966	3,244,931	2,507,723	2,830,694	3,101,237
Dobova - Sevnica	5,454,368	4,370,156	4,910,126	5,047,437	4,151,874	4,627,840	4,933,411
Sevnica - Zidan Most	4,855,340	4,004,833	4,480,726	4,345,547	3,628,882	3,956,377	4,215,567
Zidan Most - Lj. Zalog	10,683,265	9,383,977	11,295,234	12,224,327	10,994,402	12,085,354	13,341,752
Lj. Zalog - Lj. Moste	13,160,395	11,599,691	13,037,414	13,418,341	12,502,028	13,088,853	14,373,489
Lj. Moste - Ljubljana	13,662,315	12,051,846	13,558,873	14,003,211	13,257,907	13,868,978	15,122,994
Ljubljana - Lj. Šiška	7,373,408	5,733,967	6,902,852	7,018,887	6,283,469	6,535,429	7,891,484
Lj. Šiška - Kranj	6,506,145	4,671,900	5,989,505	6,362,854	5,678,116	5,870,646	7,360,352
Kranj - Jesenice	5,875,882	4,228,590	5,619,476	6,221,289	5,413,662	5,617,697	6,960,817
Jesenice - Jesenice meja	5,085,494	3,636,114	4,742,929	5,664,675	5,319,038	5,734,013	6,235,597
<b>Največja obremenitev</b>	<b>13,662,315</b>	<b>12,051,846</b>	<b>13,558,873</b>	<b>14,003,211</b>	<b>13,257,907</b>	<b>13,868,978</b>	<b>15,122,994</b>



TEŽA VSEH VLAKOV NA POSAMEZNIH ODSEKIH, SMER JESENICE MEJA - DOBOVA MEJA							
Leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dobova - Dobova meja	4,083,509	2,951,815	2,900,461	2,329,163	1,788,581	1,746,285	1,857,941
Sevnica - Dobova	5,367,577	4,058,260	4,288,670	3,935,130	3,262,439	3,226,926	3,244,813
Zidan Most - Sevnica	5,081,433	3,937,698	4,085,279	3,503,743	2,955,526	2,933,376	2,989,899
Lj. Zalog - Zidan Most	13,624,326	10,935,590	12,372,554	12,892,762	11,823,580	12,463,275	13,538,028
Lj. Moste - Lj. Zalog	16,695,584	13,613,226	14,495,674	14,911,845	14,334,285	14,446,653	15,460,637
Ljubljana - Lj. Moste	17,563,665	14,312,339	15,110,660	15,594,802	15,222,730	15,276,128	16,166,313
Lj. Šiška - Ljubljana	6,466,356	5,100,619	5,279,185	4,879,742	4,573,834	4,590,344	6,502,162
Kranj - Lj. Šiška	5,807,758	4,449,328	4,609,473	4,406,221	4,196,020	4,142,729	6,222,416
Jesenice - Kranj	5,298,769	3,961,329	4,213,258	3,954,604	3,647,739	3,627,303	5,473,607
Jesenice meja - Jesenice	5,316,069	4,233,593	4,931,027	5,036,915	4,906,398	5,039,598	5,078,570
<b>Največja obremenitev</b>	<b>17,563,665</b>	<b>14,312,339</b>	<b>15,110,660</b>	<b>15,594,802</b>	<b>15,222,730</b>	<b>15,276,128</b>	<b>16,166,313</b>



**“Ta stran je namenoma prazna.”**

#### **PRILOGA E: Kontrola mejnega stanja nosilnosti za obtežbo C4**

E.1: Kontrola mejnega stanja nosilnosti paličnih elementov

E.2: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

E.3: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

E.1: Kontrola mejnega stanja nosilnosti paličnih elementov

Preglednica E1: Kontrola mejnega stanja nosilnosti paličnih elementov

Element	Geometrijske karakteristike		Ovojnica osnih sil		Nateg			Tlak		Upogibni uklon								Maksimalna izkoriščenost prereza		
	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{t,Rd}$	$N_{c,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{c,Rd}$	$\alpha$ (c)	$L_{cr}$ [cm]	$\lambda_1$	$i_y$ [cm]	$\lambda_y$	$\phi_y$	$\chi_y$	$N_{b,Rd,y}$ [kN]		$N_{ed}/N_{b,Rd}$	
Diagonale notranjega paličnega nosilca	Z1b	123.24	95.68	0	1012	2758	2440	0.41	2758	0.00	0.49	376.40	93.9	7.20	0.56	0.74	0.81	2236	0.00	0.41
	Z2b	99.84	75.84	0	814	2235	1934	0.42	2235	0.00	0.49	376.40	93.9	6.24	0.64	0.81	0.76	1699	0.00	0.42
	Z3b	84.00	64.54	0	622	1880	1646	0.38	1880	0.00	0.49	376.40	93.9	6.21	0.65	0.82	0.76	1425	0.00	0.38
	Z4b	68.00	44.40	0	428	1522	1132	0.38	1522	0.00	0.49	376.40	93.9	4.74	0.85	1.02	0.63	963	0.00	0.38
	Z5b	55.04	40.96	-48	305	1232	1044	0.29	1232	0.04	0.49	376.40	93.9	4.70	0.85	1.02	0.63	775	0.06	0.29
	Z6b	55.04	40.96	-175	169	1232	1044	0.16	1232	0.14	0.49	376.40	93.9	4.70	0.85	1.02	0.63	775	0.23	0.23
	D1b	141.00	141.00	-1253	0	3156	3596	0.00	3156	0.40	0.49	376.40	93.9	7.24	0.55	0.74	0.81	2563	0.49	0.49
	D2b	123.24	123.24	-896	0	2758	3143	0.00	2758	0.32	0.49	376.40	93.9	7.20	0.56	0.74	0.81	2236	0.40	0.40
	D3b	91.96	91.96	-638	0	2058	2345	0.00	2058	0.31	0.49	376.40	93.9	6.23	0.64	0.82	0.76	1562	0.41	0.41
	D4b	80.64	80.64	-495	0	1805	2056	0.00	1805	0.27	0.49	376.40	93.9	4.77	0.84	1.01	0.64	1150	0.43	0.43
	D5b	55.04	40.96	-294	53	1232	1044	0.05	1232	0.24	0.49	376.40	93.9	4.70	0.85	1.02	0.63	775	0.38	0.38
	D6b	55.04	40.96	-178	166	1232	1044	0.16	1232	0.14	0.49	376.40	93.9	4.70	0.85	1.02	0.63	775	0.23	0.23
Diagonale zunanjega paličnega nosilca	Z1a	141.00	108.40	0	1213	3156	2764	0.44	3156	0.00	0.49	376.40	93.9	7.24	0.55	0.74	0.81	2563	0.00	0.44
	Z2a	123.24	94.64	0	1143	2758	2413	0.47	2758	0.00	0.49	376.40	93.9	7.20	0.56	0.74	0.81	2236	0.00	0.47
	Z3a	107.64	81.82	0	873	2409	2086	0.42	2409	0.00	0.49	376.40	93.9	6.26	0.64	0.81	0.76	1834	0.00	0.42
	Z4a	83.16	62.48	0	637	1861	1593	0.40	1861	0.00	0.49	376.40	93.9	5.83	0.69	0.86	0.73	1363	0.00	0.40
	Z5a	68.00	49.87	-80	422	1522	1272	0.33	1522	0.05	0.49	376.40	93.9	4.74	0.85	1.02	0.63	963	0.08	0.33
	Z6a	55.04	40.96	-250	229	1232	1044	0.22	1232	0.20	0.49	376.40	93.9	4.70	0.85	1.02	0.63	775	0.32	0.32
	D1a	171.24	145.55	-1611	0	3833	3712	0.00	3833	0.42	0.49	376.40	93.9	7.75	0.52	0.71	0.83	3193	0.50	0.50
	D2a	141.00	119.85	-1169	0	3156	3056	0.00	3156	0.37	0.49	376.40	93.9	7.24	0.55	0.74	0.81	2563	0.46	0.46
	D3a	123.24	104.75	-980	0	2758	2671	0.00	2758	0.36	0.49	376.40	93.9	7.20	0.56	0.74	0.81	2236	0.44	0.44
	D4a	99.84	84.86	-730	0	2235	2164	0.00	2235	0.33	0.49	376.40	93.9	6.24	0.64	0.81	0.76	1699	0.43	0.43
	D5a	80.64	59.20	-497	66	1805	1510	0.04	1805	0.28	0.49	376.40	93.9	4.77	0.84	1.01	0.64	1150	0.43	0.43
	D6a	55.04	40.96	-249	231	1232	1044	0.22	1232	0.20	0.49	376.40	93.9	4.70	0.85	1.02	0.63	775	0.32	0.32
Horizontalne diagonale spodaj (u) in zgoraj (o)	W1u	24.32	17.92	155	38	544	457	0.08	544	0.28	0.49	311.6	93.9	3.11	1.07	1.28	0.50	273	0.57	0.57
	W2u	21.12	14.72	117	-10	473	375	-0.03	473	0.25	0.49	311.6	93.9	2.70	1.23	1.51	0.42	199	0.59	0.59
	W1o	59.02	45.50	-227	6	1321	1160	0.01	1321	0.17	0.49	311.6	93.9	3.68	0.90	1.08	0.60	791	0.29	0.29
	W2o	50.38	39.82	-114	0	1128	1015	0.00	1128	0.10	0.49	311.6	93.9	3.71	0.90	1.07	0.60	680	0.17	0.17
	W3o	45.12	33.60	-73	0	1010	857	0.00	1010	0.07	0.49	311.6	93.9	3.05	1.09	1.31	0.49	496	0.15	0.15
	W4o	38.00	29.20	-59	8	850	745	0.01	850	0.07	0.49	311.6	93.9	3.08	1.08	1.30	0.50	422	0.14	0.14
	W5o	30.78	23.58	-29	14	689	601	0.02	689	0.04	0.49	311.6	93.9	2.77	1.20	1.46	0.43	300	0.10	0.10
	W6o	24.32	17.92	-17	15	544	457	0.03	544	0.03	0.49	311.6	93.9	2.46	1.35	1.69	0.37	201	0.08	0.08
Vezi	Spodnja vez00	48.64	42.24	0	96	1089	1077	0.09	1089	0.00	0.49	390.0	93.9	3.69	1.13	1.36	0.47	512	0.00	0.09
	Spodnja vez1166	42.24	42.24	-116	0	945	1077	0.00	945	0.12	0.49	390.0	93.9	3.29	1.26	1.56	0.40	382	0.30	0.30
	Bočna vez	42.24	35.84	-219	22	945	914	0.02	945	0.23	0.49	180.0	94.9	3.29	0.58	0.76	0.80	755	0.29	0.29
Diagonala bočne vezi	10.56	8.96	-61	64	236	228	0.28	236	0.26	0.49	126.1	93.9	1.37	0.98	1.17	0.55	131	0.47	0.47	
Prečna diagonala00	90.24	51.84	-242	10	2020	1322	0.01	2020	0.12	0.49	305.3	93.9	4.24	0.77	0.93	0.68	1379	0.18	0.18	
Prečna diagonala1166	21.12	17.92	-54	40	473	457	0.09	473	0.11	0.49	305.3	93.9	2.14	1.52	1.98	0.31	146	0.37	0.37	

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

E.2: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

Preglednica E2: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (prvi del)

Element		Bruto karakteristike																Efektivne karakteristike: osna sila									
		A <sub>y</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>z</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>b</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	e <sub>zg</sub> [cm]	e <sub>sp</sub> [cm]	e <sub>levo</sub> [cm]	e <sub>desno</sub> [cm]	e <sub>levo,n</sub> [cm]	e <sub>desno,n</sub> [cm]	W <sub>el,y,zg</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,y,sp</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,levo</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,desno</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,levo,n</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,desno,n</sub> [cm <sup>3</sup> ]	A <sub>eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	Δc [cm]	I <sub>eff,y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>eff,z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	Δt <sub>z</sub> [cm]				
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	55.80	90.00	195.72	47657	64987	12.85	38.05	31.00	31.00	16.80	16.80	3709	1252	2096	2096	3868	3868	149.81	25.51	6785	52709	7.75				
	O2	55.80	180.00	335.64	85302	93054	14.91	35.99	31.00	31.00	16.80	16.80	5721	2370	3002	3002	5539	5539	290.30	12.59	38507	81584	4.63				
	O3	111.60	180.00	391.44	96599	110930	13.62	38.18	31.00	31.00	16.80	16.80	7092	2530	3578	3578	6603	6603	346.10	12.59	43896	99458	4.17				
	O4	167.40	180.00	447.24	106274	128803	12.77	39.93	31.00	31.00	16.80	16.80	8322	2662	4155	4155	7667	7667	401.90	12.59	48608	117333	3.80				
	O5	223.20	180.00	503.04	114944	146678	12.20	41.40	31.00	31.00	16.80	16.80	9422	2776	4732	4732	8731	8731	457.70	12.59	52963	135207	3.48				
	O6	223.20	180.00	503.04	114944	146678	12.20	41.40	31.00	31.00	16.80	16.80	9422	2776	4732	4732	8731	8731	457.70	12.59	52963	135207	3.48				
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	68.20	90.00	208.12	49613	68959	12.28	38.82	31.00	31.00	16.80	16.80	4040	1278	2224	2224	4105	4105	162.21	25.51	7094	56681	7.38				
	O2a	68.20	180.00	348.04	87998	97026	14.58	36.52	31.00	31.00	16.80	16.80	6036	2410	3130	3130	5775	5775	302.70	12.59	39787	85556	4.53				
	O3a	136.40	180.00	416.24	101060	118870	13.20	39.00	31.00	31.00	16.80	16.80	7656	2591	3835	3835	7076	7076	370.90	12.59	46051	107402	4.00				
	O4a	204.60	180.00	484.44	112140	140720	12.36	40.94	31.00	31.00	16.80	16.80	9073	2739	4539	4539	8376	8376	439.10	12.59	51537	129249	3.57				
	O5a	272.80	180.00	552.64	122120	162570	11.87	42.53	31.00	31.00	16.80	16.80	10288	2871	5244	5244	9677	9677	507.30	12.59	56692	151096	3.24				
	O6a	272.80	180.00	552.64	122120	162570	11.87	42.53	31.00	31.00	16.80	16.80	10288	2871	5244	5244	9677	9677	507.30	12.59	56692	151096	3.24				
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	26.16	90.00	135.12	33795	42068	32.37	7.63	26.80	26.80	16.80	16.80	1044	4429	1570	1570	2504	2504	90.95	24.54	5074	30257	9.76				
							Bruto karakteristike																Neto karakteristike				
		A <sub>y</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>z</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>b</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	e <sub>zg</sub> [cm]	e <sub>sp</sub> [cm]	e <sub>levo</sub> [cm]	e <sub>desno</sub> [cm]	e <sub>levo,n</sub> [cm]	e <sub>desno,n</sub> [cm]	W <sub>el,y,zg</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,y,sp</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,levo</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,desno</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,levo,n</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>el,z,desno,n</sub> [cm <sup>3</sup> ]	A <sub>n</sub> [cm <sup>2</sup> ]	Δc [cm]	I <sub>neto,y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>neto,z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	Δt <sub>z</sub> [cm]				
	U1	26.16	90.00	135.12	33795	42068	32.37	17.63	26.80	26.80	16.80	16.80	1044	1917	1570	1570	2504	2504	104.76	0.00	26374	32663	0.00				
	U2	52.32	180.00	270.24	67589	70539	32.37	17.63	26.80	26.80	16.80	16.80	2088	3834	2632	2632	4199	4199	212.40	0.00	53538	55600	0.00				
	U3	89.12	180.00	307.04	78125	81465	34.53	16.27	27.40	27.40	16.80	16.80	2263	4802	2973	2973	4849	4849	242.16	0.00	62284	64559	0.00				
	U4	152.64	180.00	380.64	95445	103320	37.83	14.57	27.40	27.40	16.80	16.80	2523	6551	3771	3771	6150	6150	301.68	0.00	76519	82476	0.00				
U5	152.64	180.00	380.64	95445	103320	37.83	14.57	27.40	27.40	16.80	16.80	2523	6551	3771	3771	6150	6150	301.68	0.00	76519	82476	0.00					
U6	189.44	180.00	417.44	102970	114240	39.15	14.05	27.40	27.40	16.80	16.80	2630	7329	4169	4169	6800	6800	331.44	0.00	82656	91434	0.00					
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	143.44	180.00	371.44	93470	100580	37.47	14.73	27.40	27.40	16.80	16.80	2495	6346	3671	3671	5987	5987	294.24	0.00	74905	79757	0.00				
	U4a	194.04	180.00	422.04	103870	115610	39.31	13.99	27.40	27.40	16.80	16.80	2642	7425	4219	4219	6882	6882	335.16	0.00	83393	91919	0.00				
	U5a	249.24	180.00	477.24	114280	132000	40.99	13.51	27.40	27.40	16.80	16.80	2788	8459	4818	4818	7857	7857	379.80	0.00	91843	105188	0.00				
	U6a	249.24	180.00	477.24	114280	132000	40.99	13.51	27.40	27.40	16.80	16.80	2788	8459	4818	4818	7857	7857	379.80	0.00	91843	105188	0.00				

**“Ta stran je namenoma prazna.”**



Preglednica E3: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (drugi del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin								Nateg			Tlak		Prečna sila				Upogib				
	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	V <sub>y</sub>   <sub>max</sub> [kN]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]	V <sub>z</sub>   <sub>max</sub> [kN]	N <sub>pl,Rd</sub> [kN]	N <sub>u,Rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> / N <sub>t,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> / N <sub>c,Rd</sub>	V <sub>pl,Rd,y</sub> [kN]	V <sub>ed</sub> / V <sub>pl,Rd,y</sub>	V <sub>pl,Rd,z</sub> [kN]	V <sub>ed</sub> / V <sub>pl,Rd,z</sub>	M <sub>c,Rd,y</sub> [kNcm]	M <sub>ed</sub> / M <sub>c,Rd,y</sub>	M <sub>c,Rd,z</sub> [kNcm]	M <sub>ed</sub> / M <sub>c,Rd,z</sub>	
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	-569	0	-796	1280	4	-511	2093	8	4380	4991	0.00	3353	0.17	721	0.0055	1163	0.0069	28032	0.05	46918	0.04
	O2	-1856	0	-769	2739	8	-2615	2090	15	7512	8559	0.00	6497	0.29	721	0.0111	2326	0.0064	53046	0.05	67182	0.04
	O3	-2775	0	-265	3918	1	-2758	1468	15	8761	9982	0.00	7746	0.36	1442	0.0007	2326	0.0064	56626	0.07	80088	0.03
	O4	-3377	0	-74	4557	4	-4102	1349	16	10010	11405	0.00	8995	0.38	2163	0.0018	2326	0.0069	59567	0.08	92991	0.04
	O5	-3758	0	-74	5573	2	-4564	1350	20	11259	12828	0.00	10244	0.37	2884	0.0007	2326	0.0086	62139	0.09	105897	0.04
	O6	-3862	0	0	6074	1	-4564	1397	17	11259	12828	0.00	10244	0.38	2884	0.0003	2326	0.0073	62139	0.10	105897	0.04
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	-641	0	-1202	952	4	-617	2065	9	4658	5307	0.00	3630	0.18	881	0.0045	1163	0.0077	28603	0.04	49786	0.04
	O2a	-2356	0	-1202	3534	8	-2721	2059	18	7789	8875	0.00	6775	0.35	881	0.0091	2326	0.0077	53929	0.07	70049	0.04
	O3a	-3598	0	-288	4533	1	-3005	1517	17	9316	10614	0.00	8301	0.43	1763	0.0006	2326	0.0073	57995	0.08	85820	0.04
	O4a	-4535	0	-288	5590	4	-4495	1487	20	10842	12353	0.00	9827	0.46	2644	0.0015	2326	0.0086	61304	0.09	101595	0.04
	O5a	-5106	0	-2	7217	2	-5027	1486	23	12369	14092	0.00	11354	0.45	3525	0.0006	2326	0.0099	64264	0.11	117370	0.04
	O6a	-5305	0	0	7605	1	-5027	1486	24	12369	14092	0.00	11354	0.47	3525	0.0003	2326	0.0103	64264	0.12	117370	0.04
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	-1	0	-51	1201	2	-516	1073	6	3024	3446	0.00	2036	0.00	338	0.0059	1163	0.0052	99130	0.01	35131	0.03
		N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	V <sub>y</sub>   <sub>max</sub> [kN]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]	V <sub>z</sub>   <sub>max</sub> [kN]	N <sub>pl,Rd</sub> [kN]	N <sub>u,Rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> / N <sub>t,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> / N <sub>c,Rd</sub>	V <sub>pl,Rd,y</sub> [kN]	V <sub>ed</sub> / V <sub>pl,Rd,y</sub>	V <sub>pl,Rd,z</sub> [kN]	V <sub>ed</sub> / V <sub>pl,Rd,z</sub>	M <sub>c,Rd,y</sub> [kNcm]	M <sub>ed</sub> / M <sub>c,Rd,y</sub>	M <sub>c,Rd,z</sub> [kNcm]	M <sub>ed</sub> / M <sub>c,Rd,z</sub>
	U1	0	1048	-51	1201	2	-516	1073	6	3024	2671	0.39	3024	0.00	338	0.0059	1163	0.0052	18297	0.07	27277	0.04
	U2	0	2400	-244	2413	3	-771	1089	3	6048	5416	0.44	6048	0.00	676	0.0044	2326	0.0013	37328	0.06	46432	0.02
	U3	0	2909	-244	3056	1	-635	498	12	6872	6175	0.47	6872	0.00	1152	0.0009	2326	0.0052	40582	0.08	52733	0.01
	U4	0	3528	0	3951	1	-907	330	12	8519	7693	0.46	8519	0.00	1972	0.0005	2326	0.0052	45366	0.09	67368	0.01
	U5	0	3855	0	4574	1	-908	327	14	8519	7693	0.50	8519	0.00	1972	0.0005	2326	0.0060	45366	0.10	67368	0.01
	U6	0	3976	0	5138	1	-893	271	13	9343	8452	0.47	9343	0.00	2448	0.0004	2326	0.0056	47313	0.11	74685	0.01
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	0	3676	-88	3777	1	-761	416	14	8313	7503	0.49	8313	0.00	1853	0.0005	2326	0.0060	44849	0.08	65147	0.01
	U4a	0	4595	0	5067	2	-1063	400	15	9446	8547	0.54	9446	0.00	2507	0.0008	2326	0.0064	47540	0.11	75082	0.01
	U5a	0	5134	0	6322	1	-1066	403	17	10681	9685	0.53	10681	0.00	3221	0.0003	2326	0.0073	50159	0.13	85920	0.01
	U6a	0	5286	0	6726	1	-1064	322	17	10681	9685	0.55	10681	0.00	3221	0.0003	2326	0.0073	50159	0.13	85920	0.01

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica E4: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (tretji del)

Element	Upogibni uklon										Bočna zvrnitev - metoda tlačene pasnice								Kontrola napetosti						
	$\alpha$ (c)	$L_{cr}$ [cm]	$\lambda_1$	$i_y$ [cm]	$\bar{\lambda}_y$	$\phi_y$	$\chi_y$	$N_{b,Rd,y}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$	$k_c$	$L_c$ [cm]	$i_{f,z}$ [cm]	$\lambda_1$	$\lambda_f$	$\lambda_{c0}$	$M_{c,Rd}$ [kNcm]	$M_{z,Ed}$ [kNcm]	$\lambda_c$	$\lambda_f/\lambda_c$	Točka	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{x,Ed} \cdot V_{M0}/f_y$	Maksimalna izkoriščenost prereza		
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	0.49	486.00	93.90	15.60	0.29	0.564	0.954	3199	0.18	0.75	486.00	15.75	93.90	0.25	0.5	46918	2093	11.21	0.02	T4	-8.50	0.38	0.38	
	O2	0.49	486.00	93.90	15.94	0.30	0.571	0.948	6160	0.30	0.75	486.00	16.02	93.90	0.24	0.5	67182	-2615	12.85	0.02	T3	-10.82	0.48	0.48	
	O3	0.49	486.00	93.90	15.71	0.31	0.575	0.944	7313	0.38	1.00	486.00	15.89	93.90	0.33	0.5	80088	-2758	14.52	0.02	T3	-13.11	0.59	0.59	
	O4	0.49	486.00	93.90	15.41	0.32	0.580	0.940	8453	0.40	1.00	486.00	15.69	93.90	0.33	0.5	92991	-4102	11.33	0.03	T3	-13.79	0.62	0.62	
	O5	0.49	486.00	93.90	15.12	0.33	0.584	0.936	9583	0.39	1.00	486.00	15.47	93.90	0.33	0.5	105897	-4564	11.60	0.03	T3	-13.47	0.60	0.60	
	O6	0.49	486.00	93.90	15.12	0.33	0.584	0.936	9583	0.40	1.00	486.00	15.47	93.90	0.33	0.5	105897	-4564	11.60	0.03	T3	-13.80	0.62	0.62	
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	0.49	486.00	93.90	15.44	0.30	0.567	0.951	3453	0.19	0.75	486.00	15.64	93.90	0.25	0.5	49786	2065	12.05	0.02	T4	-9.10	0.41	0.41	
	O2a	0.49	486.00	93.90	15.90	0.30	0.571	0.947	6418	0.37	0.75	486.00	16.01	93.90	0.24	0.5	70049	-2721	12.87	0.02	T3	-13.18	0.59	0.59	
	O3a	0.49	486.00	93.90	15.58	0.31	0.577	0.942	7821	0.46	1.00	486.00	15.81	93.90	0.33	0.5	85820	-3005	14.28	0.02	T3	-15.79	0.71	0.71	
	O4a	0.49	486.00	93.90	15.21	0.32	0.583	0.937	9208	0.49	1.00	486.00	15.54	93.90	0.33	0.5	101595	-4495	11.30	0.03	T3	-16.88	0.75	0.75	
	O5a	0.49	486.00	93.90	14.87	0.33	0.588	0.932	10581	0.48	1.00	486.00	15.27	93.90	0.34	0.5	117370	-5027	11.67	0.03	T3	-16.35	0.73	0.73	
	O6a	0.49	486.00	93.90	14.87	0.33	0.588	0.932	10581	0.50	1.00	486.00	15.27	93.90	0.34	0.5	117370	-5027	11.67	0.03	T3	-16.96	0.76	0.76	
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	0.49	486.00	93.90	15.81	0.27	0.553	0.965	1965	0.00	1.00	486.00	1.00	93.90	5.18	0.5	35131	-516	34.04	0.15	T1	-1.36	0.06	0.15	
		$\alpha$ (c)	$L_{cr}$ [cm]	$\lambda_1$	$i_y$ [cm]	$\bar{\lambda}_y$	$\phi_y$	$\chi_y$	$N_{b,Rd,y}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$	$k_c$	$L_c$ [cm]	$i_{f,z}$ [cm]	$\lambda_1$	$\lambda_f$	$\lambda_{c0}$	$M_{c,Rd}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	$\lambda_c$	$\lambda_f/\lambda_c$	Točka	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{x,Ed} \cdot V_{M0}/f_y$	Maksimalna izkoriščenost prereza	
	U1	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T3	11.31	0.51	0.51
	U2	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T3	12.34	0.55	0.55
	U3	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	12.86	0.57	0.57
	U4	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	12.54	0.56	0.56
	U5	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	13.72	0.61	0.61
	U6	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	12.91	0.58	0.58
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	13.30	0.59	0.59
	U4a	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	14.64	0.65	0.65
	U5a	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	14.49	0.65	0.65
	U6a	Prerez v nategu.										Prerez v nategu.										T4	14.93	0.67	0.67

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica E5: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (četrti del)

Element		Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)			Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)			Max napetost
		$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
Zgornji notranji pas pačilnega nosilca	O1	-3.20	1.21	3.20	-3.95	0.46	3.95	-8.09	1.56	8.09	-8.50	1.15	8.50	8.50
	O2	-6.24	0.83	6.24	-6.07	1.01	6.07	-10.82	1.53	10.82	-10.72	1.63	10.72	10.82
	O3	-7.71	0.45	7.71	-7.35	0.81	7.35	-13.11	1.77	13.11	-12.92	1.97	12.92	13.11
	O4	-8.40	0.33	8.40	-7.73	1.00	7.73	-13.79	1.89	13.79	-13.43	2.25	13.43	13.79
	O5	-8.38	0.29	8.38	-7.70	0.97	7.70	-13.47	2.16	13.47	-13.10	2.53	13.10	13.47
	O6	-8.62	0.30	8.62	-7.95	0.96	7.95	-13.80	2.35	13.80	-13.44	2.71	13.44	13.80
Zgornji zunanji pas pačilnega nosilca	O1a	-3.29	1.23	3.29	-3.94	0.57	3.94	-8.74	1.25	8.74	-9.10	0.90	9.10	9.10
	O2a	-7.47	0.86	7.47	-7.26	1.07	7.26	-13.18	1.82	13.18	-13.07	1.94	13.07	13.18
	O3a	-9.20	0.43	9.20	-8.81	0.82	8.81	-15.79	1.96	15.79	-15.58	2.17	15.58	15.79
	O4a	-10.15	0.36	10.15	-9.49	1.02	9.49	-16.88	2.22	16.88	-16.52	2.58	16.52	16.88
	O5a	-10.12	0.28	10.12	-9.44	0.96	9.44	-16.35	2.67	16.35	-15.98	3.03	15.98	16.35
	O6a	-10.48	0.28	10.48	-9.81	0.96	9.81	-16.96	2.80	16.96	-16.60	3.17	16.60	16.96
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	-1.36	0.48	1.36	-1.58	0.25	1.58	-0.35	0.95	0.95	-0.71	0.60	0.71	1.58
		$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
	U1	-1.36	10.48	10.48	-1.58	10.26	10.26	-0.36	11.31	11.31	-0.71	10.96	10.96	11.31
	U2	-1.34	11.68	11.68	-1.42	11.60	11.60	-0.36	12.34	12.34	-0.48	12.22	12.22	12.34
	U3	-1.48	12.22	12.22	-1.45	12.25	12.25	-0.26	12.82	12.82	-0.22	12.86	12.86	12.86
	U4	-1.71	11.75	11.75	-1.62	11.84	11.84	-0.24	12.39	12.39	-0.09	12.54	12.54	12.54
	U5	-1.96	12.83	12.83	-1.87	12.93	12.93	-0.24	13.56	13.56	-0.09	13.72	13.72	13.72
U6	-2.08	12.04	12.04	-1.99	12.13	12.13	-0.21	12.76	12.76	-0.06	12.91	12.91	12.91	
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	-1.64	12.60	12.60	-1.58	12.66	12.66	-0.22	13.20	13.20	-0.13	13.30	13.30	13.30
	U4a	-2.07	13.77	13.77	-1.98	13.86	13.86	-0.25	14.49	14.49	-0.09	14.64	14.64	14.64
	U5a	-2.40	13.57	13.57	-2.32	13.65	13.65	-0.22	14.35	14.35	-0.08	14.49	14.49	14.49
	U6a	-2.55	13.96	13.96	-2.45	14.05	14.05	-0.22	14.78	14.78	-0.07	14.93	14.93	14.93

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

E.3: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

Preglednica E6: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (prvi del)

Element	Bruto karakteristike							Neto karakteristike					Efektivne karakteristike: osna sila			Efektivne karakteristike: moment $M_y$			Efektivne karakteristike: moment $M_z$		
	$A_y$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_z$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$W_{el,y}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,z}$ [cm <sup>3</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_{neto,y}$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_{neto,z}$ [cm <sup>4</sup> ]	$W_{neto,el,y}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{neto,el,z}$ [cm <sup>3</sup> ]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]	$\Delta t$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]	$\Delta t$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]	$\Delta t$ [cm]
Zunanji vzdolžnik	42.00	72.00	182.00	163356	2727	4415	260	166.00	142615	2238	3854	213	171.66	10.34	0	Ni redukcije.			Ni redukcije.		
Notranji vzdolžnik	48.00	60.00	184.00	119321	3891	3849	324	168.00	104916	3310	3384	276	Ni redukcije.			Ni redukcije.			Ni redukcije.		
Prečnik	90.24	70.92	205.44	227398	6139	4876	438	191.04	206483	4848	4477	346	205.44	0.00	0	Ni redukcije.			Ni redukcije.		
Vmesna vertikala	29.44	23.04	55.04	22496	1235	865	118	48.64	19282	1230	742	118	Ni redukcije.			Ni redukcije.			Ni redukcije.		
Krajna vertikala	90.00	46.08	235.92	76992	45443	2905	1818	Prerez zmeraj v tlaku.					Ni redukcije.			Ni redukcije.			Ni redukcije.		

Preglednica E7: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (drugi del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin - globalno največje vrednosti								Nateg			Tlak		Prečna sila				Upogib			
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]	$ V_y _{max}$ [kN]	$ V_z _{max}$ [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$N_{u,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{t,Rd}$	$N_{c,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{c,Rd}$	$V_{pl,Rd,y}$ [kN]	$V_{ed}/V_{pl,Rd,y}$	$V_{pl,Rd,z}$ [kN]	$V_{ed}/V_{pl,Rd,z}$	$M_{c,Rd,y}$ [kNcm]	$M_{ed}/M_{c,Rd,y}$	$M_{c,Rd,z}$ [kNcm]	$M_{ed}/M_{c,Rd,z}$
Zunanji vzdolžnik	-278	387	-22245	33084	-651	1057	11	355	4073	4233	0.10	3842	0.07	543	0.020	930	0.38	98813	0.33	5813	0.18
Notranji vzdolžnik	-561	110	-20156	25539	-901	1561	13	293	4118	4284	0.03	4118	0.14	620	0.021	775	0.38	86146	0.30	7257	0.22
Prečnik	-1	238	-799	52284	-7117	7115	83	528	4598	4872	0.05	4598	0.00	1166	0.071	916	0.58	109121	0.48	9814	0.73
Vmesna vertikala	-158	349	-1207	841	-1414	1377	13	11	1232	1240	0.28	1232	0.13	380	0.034	298	0.04	19365	0.06	2645	0.53
Krajna vertikala	-156	157	-133	453	-15628	15652	149	4	5280	5280	0.03	5280	0.03	1163	0.128	595	0.01	65025	0.01	40682	0.38

Preglednica E8: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (tretji del)

Element	Upogibni uklon										Bočna zvrnitev - metoda tlačene pasnice								Kontrola normalnih in strižnih napetosti						Maksimalna izkoriščenost prereza	
	$\alpha$ (c)	$L_{cr}$ [cm]	$\lambda_1$	$i_z$ [cm]	$\lambda_2$	$\phi_z$	$\chi_z$	$N_{b,Rd,y}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$	$k_c$	$L_c$ [cm]	$i_{f,z}$ [cm]	$\lambda_1$	$\lambda_f$	$\lambda_{c0}$	$M_{c,Rd}$ [kNcm]	$M_{y,Ed}$ [kNcm]	$\lambda_c$	$\lambda_f/\lambda_c$	Točka	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0} / f_y$	Točka	$ \sigma _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]		Izkoriščenost
Zunanji vzdolžnik	0.49	162	93.90	3.87	0.45	0.660	0.873	3353	0.08	0.94	162	4.37	93.90	0.37	0.5	98813	33084	1.49	0.25	T1	9.71	0.43	T	9.61	0.43	0.43
Notranji vzdolžnik	0.49	162	93.90	4.44	0.39	0.622	0.903	3720	0.15	0.94	162	4.78	93.90	0.34	0.5	86146	25539	1.69	0.20	T2	8.11	0.36	T	9.44	0.42	0.42
Prečnik	0.49	180	93.90	5.04	0.38	0.617	0.908	4173	0.00	0.94	162	6.63	93.90	0.24	0.5	109121	52284	1.04	0.23	T3	23.30	1.04	T	14.28	0.64	1.04
Vmesna vertikala	0.49	470	93.90	5.03	1.00	1.190	0.543	668	0.24	0.75	470	4.74	93.90	0.79	0.5	19365	841	11.51	0.07	T4	19.31	0.86	Premajhna prečna sila.		0.86	
Krajna vertikala	0.49	470	93.90	13.88	0.36	0.604	0.918	4847	0.03	0.75	470	13.88	93.90	0.27	0.5	65025	453	71.77	0.00	T1	12.65	0.57	Premajhna prečna sila.		0.57	

**“Ta stran je namenoma prazna.”**





**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica E12: Kontrola mejnega stanja nosilnosti elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (sedmi del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin na mestu največjih strižnih napetosti				Napetosti v elementih (T)												
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$ V_y _{max}$ [kN]	$ V_z _{max}$ [kN]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$y'$ [cm]	$t$ [cm]	$\tau_y$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$z'$ [cm]	$t$ [cm]	$\tau_z$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	Izkoriščenost
Zunanji vzdolžnik	-45	3	7	355	-0.26	0.02	0.26	91.00	2.48	74.00	0.01	91.00	28.02	1.00	5.54	9.61	0.43
Notranji vzdolžnik	-56	54	13	293	-0.30	0.29	0.30	92.00	3.04	74.00	0.01	92.00	24.05	1.00	5.43	9.44	0.42
Prečnik	0	58	21	527	0.00	0.30	0.30	113.54	3.53	74.00	0.02	113.54	28.12	0.90	8.22	14.28	0.64
Vmesna vertikala	Premajhna prečna sila.																
Krajna vertikala	Premajhna prečna sila.																

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

## **PRILOGA F: Kontrola prve faze utrujanja**

F.1: Kontrola utrujanja paličnih elementov

F.2: Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

F.3: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

F.1: Kontrola utrujanja paličnih elementov

Preglednica F1: Kontrola utrujanja paličnih elementov

Element		Karakteristike prečnih prerezov		Ovojnica osnih sil		Napetosti v elementih		Razlika napetosti	Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti	Odpornost			
		$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$	$\mu_{fat}$
Diagonale notranjega paličnega nosilca	Z1b	123.24	95.68	-72	384	-0.58	4.01	4.36	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.08	1.35	1.00	7.10	1.70
	Z2b	99.84	75.84	-78	318	-0.78	4.19	4.66	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.30	1.35	1.00	7.10	1.60
	Z3b	84.00	64.54	-63	250	-0.75	3.87	4.32	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.06	1.35	1.00	7.10	1.72
	Z4b	68.00	44.40	-47	180	-0.69	4.05	4.47	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.16	1.35	1.00	7.10	1.66
	Z5b	55.04	40.96	-73	140	-1.33	3.42	4.21	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.98	1.35	1.00	7.10	1.77
	Z6b	55.04	40.96	-109	98	-1.98	2.39	3.58	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.53	1.35	1.00	7.10	2.08
	D1b	141.00	141.00	-524	159	-3.72	1.13	3.36	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.37	1.35	1.00	7.10	2.22
	D2b	123.24	123.24	-364	77	-2.95	0.62	2.40	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.69	1.35	1.00	7.10	3.10
	D3b	91.96	91.96	-267	51	-2.90	0.55	2.30	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.62	1.35	1.00	7.10	3.24
	D4b	80.64	80.64	-216	43	-2.68	0.53	2.14	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.51	1.35	1.00	7.10	3.48
	D5b	55.04	40.96	-144	67	-2.62	1.64	3.21	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.27	1.35	1.00	7.10	2.32
	D6b	55.04	40.96	-99	107	-1.80	2.61	3.69	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.61	1.35	1.00	7.10	2.02
Diagonale zunanjega paličnega nosilca	Z1a	141.00	108.40	-6	574	-0.04	5.30	5.32	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.76	1.35	1.00	7.10	1.40
	Z2a	123.24	94.64	-18	553	-0.15	5.84	5.93	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.19	1.35	1.00	7.10	1.25
	Z3a	107.64	81.82	-40	428	-0.37	5.23	5.45	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.86	1.35	1.00	7.10	1.36
	Z4a	83.16	62.48	-72	323	-0.87	5.17	5.69	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.02	1.35	1.00	7.10	1.31
	Z5a	68.00	49.87	-118	233	-1.74	4.67	5.71	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.04	1.35	1.00	7.10	1.30
	Z6a	55.04	40.96	-179	157	-3.25	3.83	5.78	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.09	1.35	1.00	7.10	1.29
	D1a	171.24	145.55	-833	0	-4.86	0.00	2.92	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.06	1.35	1.00	7.10	2.55
	D2a	141.00	119.85	-583	9	-4.13	0.08	2.56	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.81	1.35	1.00	7.10	2.91
	D3a	123.24	104.75	-495	25	-4.02	0.24	2.65	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.87	1.35	1.00	7.10	2.81
	D4a	99.84	84.86	-386	59	-3.87	0.70	3.01	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.13	1.35	1.00	7.10	2.47
	D5a	80.64	59.20	-119	286	-1.48	4.83	5.72	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.04	1.35	1.00	7.10	1.30
	D6a	55.04	40.96	-175	160	-3.18	3.91	5.81	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.11	1.35	1.00	7.10	1.28
Horizontalne diagonale spodaj (u) in zgoraj (o)	W1u	24.32	17.92	-29	123	-1.19	6.86	7.58	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	5.36	1.35	1.00	7.10	0.98*
	W2u	21.12	14.72	-41	87	-1.94	5.91	7.08	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	5.00	1.35	1.00	7.10	1.05*
	W3u	21.12	14.72	-25	88	-1.18	5.98	6.69	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.73	1.35	1.00	7.10	1.11*
	W4u	21.12	14.72	-16	79	-0.76	5.37	5.82	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.11	1.35	1.00	7.10	1.28*
	W5u	21.12	14.72	-8	72	-0.38	4.89	5.12	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.62	1.35	1.00	7.10	1.45*
	W6u	21.12	14.72	-2	62	-0.09	4.21	4.27	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.02	1.35	1.00	7.10	1.74*
	W1o	59.02	45.50	-125	70	-2.12	1.54	2.81	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.99	1.35	1.00	7.10	2.65
	W2o	50.38	39.82	-58	32	-1.15	0.80	1.49	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.06	1.35	1.00	7.10	4.98
	W3o	45.12	33.60	-34	21	-0.75	0.63	1.08	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	0.76	1.35	1.00	7.10	6.91
	W4o	38.00	29.20	-28	9	-0.74	0.31	0.75	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	0.53	1.35	1.00	7.10	9.92
	W5o	30.78	23.58	-14	9	-0.45	0.38	0.65	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	0.46	1.35	1.00	7.10	11.37
	W6o	24.32	17.92	-11	8	-0.45	0.45	0.72	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	0.51	1.35	1.00	7.10	10.37
Vezi	Spodnja vez00	48.64	42.24	-4	90	-0.08	2.13	2.18	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.54	1.35	1.00	7.10	3.41
	Spodnja vez1166	42.24	42.24	-43	1	-1.02	0.02	0.63	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	0.45	1.35	1.00	7.10	11.73
	Bočna vez	42.24	35.84	-106	18	-2.51	0.50	2.01	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.42	1.35	1.00	7.10	3.71
Diagonala bočne vezi		10.56	8.96	-23	43	-2.18	4.80	6.11	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.32	1.35	1.00	7.10	1.22*
Prečna diagonala00		90.24	51.84	-134	108	-1.48	2.08	2.97	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.10	1.35	1.00	7.10	2.50
Prečna diagonala1166		21.12	17.92	-42	31	-1.99	1.73	2.92	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.07	1.35	1.00	7.10	2.55

\* Obremenitve so odčitane na najbolj obremenjenem elementu in ni upoštevan globalen maksimum, kot na ostalih elementih.

**“Ta stran je namenoma prazna.”**



F.2: Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja

Preglednica F2: Kontrola utrujanja za elemente zgornjega in spodnjega pasu paličja (prvi del)

Element	Bruto karakteristike									Efektivne karakteristike: osna sila				Ovojnica notranjih statičnih količin						
	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_{eff,y}$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_{eff,z}$ [cm <sup>4</sup> ]	$\Delta t$ [cm]	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]	
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	195.72	47657	64987	12.85	38.05	31.00	31.00	16.80	16.80	149.81	6785	52709	7.75	-193	4	-250	724	-461	1428
	O2	335.64	85302	93054	14.91	35.99	31.00	31.00	16.80	16.80	290.30	38507	81584	4.63	-719	134	-317	1244	-1509	850
	O3	391.44	96599	110930	13.62	38.18	31.00	31.00	16.80	16.80	346.10	43896	99458	4.17	-1086	212	-264	1492	-1570	661
	O4	447.24	106274	128803	12.77	39.93	31.00	31.00	16.80	16.80	401.90	48608	117333	3.80	-1325	261	-405	1669	-2709	1053
	O5	503.04	114944	146678	12.20	41.40	31.00	31.00	16.80	16.80	457.70	52963	135207	3.48	-1477	289	-518	2092	-3234	1133
	O6	503.04	114944	146678	12.20	41.40	31.00	31.00	16.80	16.80	457.70	52963	135207	3.48	-1517	293	-546	2101	-3320	1171
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	208.12	49613	68959	12.28	38.82	31.00	31.00	16.80	16.80	162.21	7094	56681	7.38	-276	13	-475	476	-494	1447
	O2a	348.04	87998	97026	14.58	36.52	31.00	31.00	16.80	16.80	302.70	39787	85556	4.53	-1116	0	-199	1930	-2341	1164
	O3a	416.24	101060	118870	13.20	39.00	31.00	31.00	16.80	16.80	370.90	46051	107402	4.00	-1731	2	-299	2089	-2302	947
	O4a	484.44	112140	140720	12.36	40.94	31.00	31.00	16.80	16.80	439.10	51537	129249	3.57	-2192	0	-323	2808	-3248	1288
	O5a	552.64	122120	162570	11.87	42.53	31.00	31.00	16.80	16.80	507.30	56692	151096	3.24	-2476	0	-350	3515	-3659	1309
	O6a	552.64	122120	162570	11.87	42.53	31.00	31.00	16.80	16.80	507.30	56692	151096	3.24	-2580	0	-350	3514	-3659	1308
		$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_{neto,y}$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_{neto,z}$ [cm <sup>4</sup> ]	$\Delta t$ [cm]	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	135.12	33795	42068	32.37	17.63	26.80	26.80	16.80	16.80	104.76	26374	32663	0.00	-6	544	-46	565	-354	570
	U2	270.24	67589	70539	32.37	17.63	26.80	26.80	16.80	16.80	212.40	53538	55600	0.00	-3	1040	-23	1198	-988	287
	U3	307.04	78125	81465	34.53	16.27	27.40	27.40	16.80	16.80	242.16	62284	64559	0.00	-371	1011	-269	1208	-705	81
	U4	380.64	95445	103320	37.83	14.57	27.40	27.40	16.80	16.80	301.68	76519	82476	0.00	-460	1231	-384	1321	-1043	224
	U5	380.64	95445	103320	37.83	14.57	27.40	27.40	16.80	16.80	301.68	76519	82476	0.00	-497	1340	-452	1709	-974	152
	U6	417.44	102970	114240	39.15	14.05	27.40	27.40	16.80	16.80	331.44	82656	91434	0.00	-489	1373	-452	1708	-974	152
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	371.44	93470	100580	37.47	14.73	27.40	27.40	16.80	16.80	294.24	74905	79757	0.00	-1	1600	0	1783	-828	152
	U4a	422.04	103870	115610	39.31	13.99	27.40	27.40	16.80	16.80	335.16	83393	91919	0.00	-4	1993	-2	2361	-1244	310
	U5a	477.24	114280	132000	40.99	13.51	27.40	27.40	16.80	16.80	379.80	91843	105188	0.00	-1	2216	-11	2823	-1192	227
	U6a	477.24	114280	132000	40.99	13.51	27.40	27.40	16.80	16.80	379.80	91843	105188	0.00	-1	2266	-12	2823	-1193	227

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica F3: Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (drugi del)

Element		Napetosti v elementih			Razlika napetosti	Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti	Odpornost			
		Točka	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$	$\mu_{fat}$
Zgornji notranji pas paličnega nosilca	O1	T3	-2.80	1.00	2.68	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	1.89	1.35	1.00	7.10	2.78
	O2	T4	-4.17	1.52	4.02	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.84	1.35	1.00	7.10	1.85
	O3	T4	-5.13	1.79	4.87	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.44	1.35	1.00	7.10	1.53
	O4	T4	-5.48	2.00	5.29	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.74	1.35	1.00	7.10	1.41
	O5	T4	-5.39	2.12	5.35	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.78	1.35	1.00	7.10	1.39
	O6	T4	-5.55	2.14	5.47	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.87	1.35	1.00	7.10	1.36
Zgornji zunanji pas paličnega nosilca	O1a	T3	-3.79	0.88	3.15	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	2.23	1.35	1.00	7.10	2.36
	O2a	T4	-6.07	1.21	4.85	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.43	1.35	1.00	7.10	1.53
	O3a	T4	-7.59	1.14	5.69	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.02	1.35	1.00	7.10	1.31
	O4a	T4	-8.12	1.41	6.29	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.44	1.35	1.00	7.10	1.18
	O5a	T4	-7.93	1.60	6.36	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.50	1.35	1.00	7.10	1.17
	O6a	T4	-8.25	1.60	6.55	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.63	1.35	1.00	7.10	1.14
		Točka	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$	$\mu_{fat}$
Spodnji notranji pas paličnega nosilca	U1	T3	-0.31	5.85	6.03	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.27	1.35	1.00	7.10	1.23
	U2	T4	-0.13	5.58	5.66	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.00	1.35	1.00	7.10	1.31
	U3	T2	-2.08	4.44	5.69	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.02	1.35	1.00	7.10	1.31
	U4	T2	-2.08	4.40	5.65	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.00	1.35	1.00	7.10	1.32
	U5	T2	-2.35	4.78	6.19	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.37	1.35	1.00	7.10	1.20
	U6	T2	-2.15	4.46	5.75	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.06	1.35	1.00	7.10	1.29
Spodnji zunanji pas paličnega nosilca	U3a	T2	-0.74	5.58	6.02	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.26	1.35	1.00	7.10	1.24
	U4a	T2	-0.95	6.13	6.70	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.73	1.35	1.00	7.10	1.11
	U5a	T2	-1.04	5.99	6.62	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.68	1.35	1.00	7.10	1.12
	U6a	T2	-1.04	6.12	6.75	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	4.77	1.35	1.00	7.10	1.10

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica F4: Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (tretji del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin						Napetosti v elementih (T1)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T2)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T3)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T4)		Razlika napetosti	Največja razlika
	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]
O1	-193	4	-250	724	-461	1428	-1.30	0.77	1.55	-1.76	0.31	1.36	-2.80	1.00	2.68	-3.05	0.75	2.58	2.68
	-198	5	-169	531	-332	971	-1.21	0.53	1.26	-1.51	0.23	1.14	-2.77	0.74	2.40	-2.93	0.57	2.33	2.40
O2	-719	134	-250	724	-459	1425	-2.17	0.87	2.18	-2.50	0.55	2.05	-4.07	1.29	3.73	-4.24	1.11	3.66	3.73
	-719	134	-317	1244	-1509	850	-2.62	0.69	2.26	-2.40	0.91	2.35	-4.29	1.40	3.97	-4.17	1.52	4.02	4.02
	-705	97	-240	1220	-2243	1122	-2.82	0.67	2.36	-2.45	1.04	2.51	-4.31	1.24	3.83	-4.11	1.44	3.91	3.91
	-705	97	-169	531	-333	967	-2.06	0.61	1.84	-2.27	0.40	1.76	-3.94	0.92	3.28	-4.05	0.81	3.24	3.28
O3	-1086	212	-317	1244	-1511	851	-3.10	0.77	2.63	-2.91	0.95	2.70	-5.28	1.58	4.75	-5.18	1.68	4.79	4.79
	-1086	212	-264	1492	-1570	661	-3.15	0.71	2.60	-2.89	0.96	2.70	-5.27	1.65	4.81	-5.13	1.79	4.87	4.87
	-1074	180	-369	1523	-2109	861	-3.28	0.71	2.67	-2.93	1.06	2.81	-5.34	1.55	4.75	-5.15	1.74	4.83	4.83
	-1074	180	-240	1220	-2245	1123	-3.27	0.76	2.72	-2.96	1.08	2.85	-5.31	1.47	4.65	-5.14	1.64	4.72	4.72
O4	-1325	261	-264	1492	-1572	663	-3.25	0.72	2.67	-3.03	0.94	2.76	-5.49	1.67	4.96	-5.37	1.79	5.01	5.01
	-1325	261	-405	1669	-2709	1053	-3.54	0.83	2.96	-3.15	1.23	3.12	-5.69	1.79	5.20	-5.48	2.00	5.29	5.29
	-1316	237	-401	1668	-2966	1168	-3.59	0.81	2.96	-3.16	1.24	3.14	-5.69	1.71	5.12	-5.46	1.94	5.22	5.22
	-1316	237	-369	1523	-2111	863	-3.36	0.73	2.75	-3.06	1.03	2.87	-5.57	1.61	4.95	-5.40	1.78	5.02	5.02
O5	-1477	289	-405	1669	-2710	1053	-3.43	0.79	2.85	-3.08	1.14	2.99	-5.53	1.72	5.04	-5.34	1.91	5.11	5.11
	-1477	289	-518	2092	-3234	1133	-3.59	0.82	2.97	-3.14	1.26	3.15	-5.64	1.88	5.26	-5.39	2.12	5.35	5.35
	-1472	227	-546	2101	-3321	1171	-3.60	0.72	2.88	-3.14	1.17	3.06	-5.64	1.67	5.05	-5.39	1.92	5.15	5.15
	-1472	227	-401	1668	-2966	1168	-3.48	0.70	2.79	-3.10	1.08	2.94	-5.55	1.52	4.84	-5.34	1.72	4.92	4.92
O6	-1517	293	-518	2092	-3235	1134	-3.66	0.83	3.02	-3.22	1.27	3.20	-5.77	1.89	5.35	-5.53	2.13	5.45	5.45
	-1517	293	-546	2101	-3320	1171	-3.68	0.84	3.04	-3.22	1.29	3.23	-5.79	1.90	5.37	-5.55	2.14	5.47	5.47
O1a	-276	13	-475	476	-494	1447	-1.54	0.82	1.75	-1.97	0.40	1.58	-3.79	0.88	3.15	-4.02	0.65	3.06	3.15
	-291	4	-189	549	-366	988	-1.56	0.51	1.45	-1.84	0.23	1.33	-3.71	0.72	2.94	-3.86	0.57	2.88	2.94
O2a	-1147	0	-475	476	-493	1442	-3.16	0.54	2.44	-3.47	0.24	2.32	-6.23	0.45	4.18	-6.39	0.28	4.12	4.18
	-1147	0	-188	2011	-1572	880	-3.76	0.31	2.57	-3.54	0.53	2.66	-6.30	0.99	4.76	-6.18	1.11	4.81	4.81
	-1116	0	-199	1930	-2341	1164	-3.92	0.40	2.76	-3.54	0.78	2.91	-6.27	1.00	4.77	-6.07	1.21	4.85	4.85
	-1116	0	-189	549	-367	982	-3.06	0.35	2.18	-3.25	0.15	2.10	-5.93	0.40	3.95	-6.03	0.29	3.91	3.95
O3a	-1757	0	-188	2011	-1573	879	-4.49	0.25	2.95	-4.31	0.43	3.02	-7.74	0.90	5.55	-7.65	1.00	5.59	5.59
	-1757	4	-319	2018	-1717	730	-4.53	0.24	2.96	-4.27	0.50	3.06	-7.82	0.90	5.59	-7.68	1.04	5.64	5.64
	-1731	2	-299	2089	-2302	947	-4.64	0.29	3.07	-4.28	0.64	3.21	-7.78	0.95	5.62	-7.59	1.14	5.69	5.69
	-1731	0	-199	1930	-2342	1164	-4.63	0.33	3.10	-4.32	0.64	3.23	-7.75	0.91	5.56	-7.58	1.08	5.62	5.62
O4a	-2211	3	-319	2018	-1719	730	-4.77	0.20	3.06	-4.55	0.42	3.15	-8.24	0.83	5.78	-8.12	0.95	5.83	5.83
	-2211	0	-326	2805	-2963	1161	-5.13	0.29	3.37	-4.73	0.69	3.53	-8.39	1.16	6.20	-8.17	1.38	6.28	6.28
	-2192	0	-323	2808	-3248	1288	-5.15	0.32	3.41	-4.72	0.75	3.58	-8.35	1.18	6.19	-8.12	1.41	6.29	6.29
	-2192	0	-299	2089	-2303	947	-4.87	0.24	3.16	-4.57	0.54	3.28	-8.23	0.88	5.82	-8.07	1.04	5.88	5.88
O5a	-2486	0	-326	2805	-2965	1161	-4.96	0.25	3.23	-4.61	0.60	3.36	-8.13	1.10	5.97	-7.94	1.28	6.05	6.05
	-2486	1	-347	3524	-3362	1266	-5.10	0.28	3.34	-4.70	0.68	3.50	-8.17	1.36	6.27	-7.96	1.58	6.35	6.35
	-2476	0	-350	3515	-3659	1309	-5.14	0.28	3.37	-4.69	0.73	3.55	-8.17	1.36	6.26	-7.93	1.60	6.36	6.36
	-2476	0	-323	2808	-3249	1288	-4.99	0.28	3.27	-4.62	0.65	3.42	-8.12	1.11	5.98	-7.92	1.31	6.07	6.07
O6a	-2580	0	-347	3524	-3563	1266	-5.30	0.28	3.45	-4.86	0.71	3.63	-8.49	1.36	6.45	-8.25	1.60	6.54	6.54
	-2580	0	-350	3514	-3659	1308	-5.31	0.28	3.47	-4.86	0.73	3.65	-8.50	1.36	6.46	-8.25	1.60	6.55	6.55

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica F5: Kontrola utrujanja elementov zgornjega in spodnjega pasu paličja (četrti del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin						Napetosti v elementih (T1)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T2)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T3)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T4)		Razlika napetosti	Največja razlika	
	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	
U1	-301	345	-22	674	-259	783	-3.62	3.63	5.80	-3.83	3.42	5.72	-3.05	4.14	5.97	-3.38	3.81	5.84	5.97	6.03
	-6	544	-46	565	-354	570	-0.74	5.46	5.91	-0.83	5.38	5.87	-0.31	5.85	6.03	-0.44	5.71	5.98	6.03	
	0	416	0	732	-82	208	-0.73	4.05	4.49	-0.78	4.00	4.47	-0.05	4.49	4.52	-0.13	4.41	4.48	4.52	
	-94	279	-82	593	-170	107	-1.53	2.78	3.70	-1.51	2.81	3.71	-1.05	3.04	3.67	-1.01	3.08	3.69	3.71	
U2	-70	798	-32	662	-261	794	-0.71	3.96	4.39	-0.84	3.83	4.34	-0.44	4.23	4.49	-0.64	4.03	4.41	4.49	5.66
	-70	798	-23	1058	-853	248	-1.04	3.83	4.45	-0.90	3.97	4.51	-0.66	4.13	4.52	-0.43	4.36	4.61	4.61	
	-24	837	-42	557	-363	580	-0.47	4.10	4.38	-0.52	4.05	4.36	-0.26	4.31	4.46	-0.34	4.22	4.43	4.46	
	-24	837	-96	660	-688	234	-0.59	4.04	4.40	-0.48	4.15	4.44	-0.40	4.20	4.44	-0.23	4.37	4.51	4.51	
	-3	1040	-23	1198	-988	287	-0.82	4.98	5.47	-0.66	5.14	5.54	-0.40	5.32	5.56	-0.13	5.58	5.66	5.66	
	0	1040	0	718	-81	215	-0.36	4.95	5.17	-0.40	4.92	5.15	-0.03	5.17	5.18	-0.08	5.11	5.16	5.18	
	-241	703	-223	711	-385	282	-1.57	3.48	4.42	-1.54	3.51	4.43	-1.34	3.60	4.41	-1.30	3.64	4.42	4.43	
-241	703	-69	587	-168	109	-1.46	3.37	4.24	-1.44	3.38	4.25	-1.22	3.50	4.23	-1.19	3.53	4.24	4.25		
U3	-172	1011	-90	654	-680	230	-1.14	4.26	4.95	-1.05	4.35	4.98	-0.96	4.39	4.96	-0.81	4.54	5.02	5.02	5.69
	-172	1011	-252	1202	-527	114	-1.35	4.31	5.12	-1.27	4.39	5.15	-0.94	4.46	5.03	-0.80	4.60	5.08	5.15	
	-371	1011	-269	1208	-705	81	-2.21	4.31	5.64	-2.08	4.44	5.69	-1.83	4.45	5.55	-1.62	4.66	5.63	5.69	
	-371	1011	-215	706	-833	279	-2.02	4.33	5.54	-1.90	4.44	5.58	-1.86	4.42	5.53	-1.67	4.60	5.60	5.60	
U4	-328	1183	-242	1196	-519	115	-1.65	4.04	5.02	-1.58	4.10	5.05	-1.26	4.13	4.89	-1.15	4.24	4.93	5.05	5.65
	-328	1183	-358	1311	-917	189	-1.76	4.09	5.15	-1.64	4.21	5.19	-1.39	4.17	5.00	-1.19	4.36	5.08	5.19	
	-460	1231	-384	1321	-1043	224	-2.22	4.27	5.60	-2.08	4.40	5.65	-1.86	4.34	5.46	-1.64	4.56	5.54	5.65	
	-460	1231	-263	1204	-700	80	-2.12	4.20	5.47	-2.02	4.30	5.51	-1.75	4.29	5.34	-1.59	4.45	5.40	5.51	
U5	-431	1315	-352	1308	-912	186	-2.10	4.53	5.79	-1.98	4.65	5.83	-1.72	4.61	5.64	-1.53	4.80	5.72	5.83	6.19
	-431	1315	-438	1704	-931	156	-2.26	4.56	5.91	-2.13	4.68	5.96	-1.74	4.66	5.71	-1.54	4.87	5.79	5.96	
	-497	1340	-452	1709	-974	152	-2.48	4.65	6.14	-2.35	4.78	6.19	-1.97	4.74	5.93	-1.76	4.96	6.02	6.19	
	-497	1340	-381	1318	-1040	223	-2.34	4.63	6.03	-2.21	4.76	6.09	-1.98	4.70	5.89	-1.76	4.92	5.98	6.09	
U6	-489	1373	-434	1702	-928	157	-2.26	4.33	5.69	-2.15	4.44	5.73	-1.76	4.41	5.47	-1.57	4.60	5.54	5.73	5.75
	-489	1373	-452	1708	-974	152	-2.27	4.34	5.70	-2.15	4.46	5.75	-1.77	4.41	5.47	-1.57	4.61	5.55	5.75	
U3a	-3	1433	-23	1046	-845	249	-0.57	4.92	5.26	-0.47	5.02	5.30	-0.24	5.10	5.25	-0.08	5.27	5.31	5.31	6.02
	0	1433	0	1783	-604	133	-0.82	4.89	5.38	-0.74	4.97	5.41	-0.16	5.19	5.29	-0.04	5.32	5.34	5.41	
	-1	1600	0	1783	-828	152	-0.86	5.46	5.98	-0.74	5.58	6.02	-0.23	5.76	5.90	-0.04	5.94	5.97	6.02	
	-2	1600	-23	1189	-983	288	-0.65	5.50	5.88	-0.53	5.61	5.93	-0.28	5.70	5.87	-0.09	5.89	5.95	5.95	
U4a	-1	1883	0	1772	-597	135	-0.76	5.64	6.09	-0.69	5.70	6.12	-0.14	5.89	5.98	-0.03	6.00	6.02	6.12	6.70
	-4	1883	-6	2323	-1101	269	-1.05	5.66	6.29	-0.93	5.78	6.34	-0.27	5.99	6.16	-0.08	6.19	6.24	6.34	
	-4	1993	-2	2361	-1244	310	-1.09	5.99	6.64	-0.95	6.13	6.70	-0.31	6.34	6.52	-0.09	6.56	6.61	6.70	
	-1	1993	-1	1775	-824	153	-0.79	5.97	6.45	-0.70	6.07	6.48	-0.20	6.22	6.34	-0.04	6.38	6.40	6.48	
U5a	-4	2161	-6	2315	-1097	270	-0.98	5.73	6.31	-0.88	5.83	6.36	-0.24	6.02	6.16	-0.07	6.19	6.23	6.36	6.62
	-1	2161	-9	2838	-1133	208	-1.16	5.72	6.42	-1.05	5.84	6.47	-0.24	6.07	6.21	-0.05	6.26	6.29	6.47	
	-1	2216	-11	2823	-1192	227	-1.17	5.87	6.57	-1.04	5.99	6.62	-0.25	6.22	6.37	-0.05	6.42	6.45	6.62	
	-4	2216	-2	2356	-1242	311	-1.01	5.87	6.48	-0.90	5.99	6.53	-0.27	6.18	6.34	-0.08	6.37	6.42	6.53	
U6a	-1	2266	-10	2835	-1131	207	-1.16	6.00	6.69	-1.05	6.11	6.74	-0.24	6.34	6.49	-0.05	6.54	6.56	6.74	6.75
	-1	2266	-12	2823	-1193	227	-1.17	6.00	6.70	-1.04	6.12	6.75	-0.25	6.35	6.50	-0.05	6.55	6.58	6.75	

**“Ta stran je namenoma prazna.”**



F.3: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal

Preglednica F6: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (prvi del)

Element	Bruto karakteristike							Neto karakteristike					Efektivne karakteristike: osna sila		
	$A_y$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_z$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$W_{el,y}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{el,z}$ [cm <sup>3</sup> ]	$A_n$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_{neto,y}$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_{neto,z}$ [cm <sup>4</sup> ]	$W_{neto,el,y}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{neto,el,z}$ [cm <sup>3</sup> ]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta c$ [cm]	$\Delta t$ [cm]
Zunanji vzdolžnik	42.00	72.00	182.00	163356	2727	4415	260	166.00	142615	2238	3854	213	171.66	10.34	0
Notranji vzdolžnik	48.00	60.00	184.00	119321	3891	3849	324	168.00	104916	3310	3384	276	Ni redukcije.		
Prečnik	90.24	70.92	205.44	227398	6139	4876	438	191.04	206483	4848	4477	346	205.44	0.00	0
Vmesna vertikala	29.44	23.04	55.04	22496	1235	865	118	48.64	19282	1230	742	118	Ni redukcije.		
Krajna vertikala	90.00	46.08	235.92	76992	45443	2905	1818	Prerez zmeraj v tlaku.					Ni redukcije.		

Preglednica F7: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (drugi del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin						Napetosti v elementih			Razlika napetosti	Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti	Odpornost			
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]	Točka	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$	$\mu_{fat}$
Zunanji vzdolžnik	-20	9	-8650	17432	-238	8	T4	-2.11	4.92	6.18	1.03	1.00	1.10	1.00	1.13	1.40	1.10	7.70	1.35	1.00	7.10	0.68
Notranji vzdolžnik	-20	18	-8278	15761	-243	170	T1	-2.78	4.94	6.61	1.03	1.00	1.10	1.00	1.13	1.40	1.10	8.24	1.35	1.00	7.10	0.64
Prečnik	-1	85	-880	19610	-437	2746	T4	-6.45	5.46	9.33	0.85	1.00	1.10	1.00	0.94	1.40	1.10	9.60	1.35	1.00	7.10	0.55
Vmesna vertikala	-7	195	-775	320	-816	212	T4	-2.19	11.10	12.41	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	8.77	1.35	1.00	7.10	0.60
Krajna vertikala	-405	4	-100	279	-7617	421	T4	-1.98	4.30	5.49	0.63	1.00	1.10	1.00	0.69	1.40	1.02	3.88	1.35	1.00	7.10	1.35

Preglednica F8: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal - spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb (tretji del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin						Napetosti v elementih			Razlika napetosti	Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti	Odpornost			
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]	Točka	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$	$\mu_{fat}$
Zunanji vzdolžnik	-20	9	-8650	17432	-238	8	T4	-2.11	4.92	6.18	1.03	0.83	1.04	1.00	0.89	1.40	1.10	6.05	1.35	1.00	7.10	0.87
Notranji vzdolžnik	-20	18	-8278	15761	-243	170	T1	-2.78	4.94	6.61	1.03	0.83	1.04	1.00	0.89	1.40	1.10	6.47	1.35	1.00	7.10	0.81
Prečnik	-1	85	-880	19610	-437	2746	T4	-6.45	5.46	9.33	0.85	0.83	1.04	1.00	0.73	1.40	1.10	7.53	1.35	1.00	7.10	0.70
Vmesna vertikala	-7	195	-775	320	-816	212	T4	-2.19	11.10	12.41	0.63	0.83	1.04	1.00	0.54	1.40	1.02	6.88	1.35	1.00	7.10	0.76
Krajna vertikala	-405	4	-100	279	-7617	421	T4	-1.98	4.30	5.49	0.63	0.83	1.04	1.00	0.54	1.40	1.02	3.05	1.35	1.00	7.10	1.73

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica F9: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (četrti del)

Element	Notranje statične količine na mestu največjih normalnih napetosti						Napetosti v elementih (T1)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T2)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T3)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T4)		Razlika napetosti
	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]
Zunanji vzdolžnik	-20	9	-8650	17432	-238	8	-4.98	2.04	5.03	-4.10	2.93	5.39	-2.99	4.03	5.83	-2.11	4.92	6.18
Notranji vzdolžnik	-20	18	-8278	15761	-243	170	-4.95	2.77	5.74	-4.73	3.00	5.83	-3.01	4.72	6.52	-2.78	4.94	6.61
Prečnik	-1	85	-880	19610	-437	2746	-3.98	6.84	9.23	-9.25	1.58	7.12	-1.18	10.73	11.44	-6.45	5.46	9.33
Vmesna vertikal	-7	195	-775	320	-816	212	-7.30	5.98	10.36	-1.32	4.65	5.45	-0.71	5.26	5.69	-2.19	11.10	12.41
Krajna vertikal	-405	4	-100	279	-7617	421	-6.00	0.28	3.88	-2.04	4.24	5.47	-5.94	0.34	3.91	-1.98	4.30	5.49

Preglednica F10: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (peti del)

Element	Napetosti v elementih (T5)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T6)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T7)		Razlika napetosti	Napetosti v elementih (T8)		Razlika napetosti	Največja razlika
	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]
Zunanji vzdolžnik													6.18
Notranji vzdolžnik													6.61
Prečnik													11.44
Vmesna vertikal	-7.68	5.60	10.21	-1.85	4.13	5.24	-1.24	4.74	5.48	-2.57	10.71	12.26	12.41
Krajna vertikal													5.49

Preglednica F11: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (šesti del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih količin na mestu največjih strižnih napetosti				Napetosti v elementih (T)		Razlika napetosti	Strižne napetosti v elementih (T)							
	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	V <sub>y</sub>   <sub>max</sub> [kN]	V <sub>z</sub>   <sub>max</sub> [kN]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Δσ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	y' [cm]	t [cm]	Δτ <sub>y</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	z' [cm]	t [cm]	Δτ <sub>z</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]
Zunanji vzdolžnik	-20	9	3	188	-0.12	0.05	0.12	91.00	2.48	74.00	0.00	91.00	28.02	1.00	2.93
Notranji vzdolžnik	-30	31	6	186	-0.16	0.17	0.17	92.00	3.04	74.00	0.01	92.00	24.05	1.00	3.45
Prečnik	-2	26	10	268	-0.01	0.14	0.14	113.54	3.53	74.00	0.01	113.54	28.12	0.90	4.18
Vmesna vertikal	Ni vpliva striga.														
Krajna vertikal	Ni vpliva striga.														

**“Ta stran je namenoma prazna.”**

Preglednica F12: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (sedmi del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih				Napetosti v elementih		Razlika napetosti	Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti		Odpornost		
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$ V_y _{max}$ [kN]	$ V_z _{max}$ [kN]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\mu_{fat,\sigma}$
Zunanji vzdolžnik	-20	9	3	188	-0.12	0.05	0.12	1.03	1.00	1.09	1.00	1.12	1.40	1.10	0.15	1.35	1.00	7.10	34.81
Notranji vzdolžnik	-30	31	6	186	-0.16	0.17	0.27	1.03	1.00	1.09	1.00	1.12	1.40	1.10	0.33	1.35	1.00	7.10	15.99
Prečnik	-2	26	10	268	-0.01	0.14	0.14	0.85	1.00	1.09	1.00	0.93	1.40	1.10	0.15	1.35	1.00	7.10	36.24
Vmesna vertikal	Ni vpliva striga.																		
Krajna vertikal	Ni vpliva striga.																		

Preglednica F13: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal - spremenjena ekvivalentna faktorja poškodb (osmi del)

Element	Ovojnica notranjih statičnih				Napetosti v elementih		Razlika napetosti	Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti		Odpornost		
	$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\sigma_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\mu_{fat,\sigma}$
Zunanji vzdolžnik	-20	9	3	188	-0.12	0.05	0.12	1.03	0.83	1.04	1.00	0.89	1.40	1.10	0.12	1.35	1.00	7.10	43.96
Notranji vzdolžnik	-30	31	6	186	-0.16	0.17	0.27	1.03	0.83	1.04	1.00	0.89	1.40	1.10	0.26	1.35	1.00	7.10	20.19
Prečnik	-2	26	10	268	-0.01	0.14	0.14	0.85	0.83	1.04	1.00	0.73	1.40	1.10	0.11	1.35	1.00	7.10	45.77
Vmesna vertikal	Ni vpliva striga.																		
Krajna vertikal	Ni vpliva striga.																		

Preglednica F14: Kontrola utrujanja elementov vzdolžnikov, prečnikov in vertikal (deveti del)

Element	Napetosti v elementih		Ekvivalentni faktor poškodb						Dinamični faktor	Faktorirana amplituda napetosti		Odpornost			
	$\Delta\tau_y$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\tau_z$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_{max}$	$\Phi_2$	$\Delta\tau_{E,2}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{Mf}$	$\gamma_{Ff}$	$\Delta\sigma_c$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\mu_{fat,\tau}$	$\mu_{fat}$
Zunanji vzdolžnik	0.00	2.93	1.03	1.00	1.09	1.00	0.93	1.40	1.10	2.99	1.35	1.00	8.00	1.98	30
Notranji vzdolžnik	0.01	3.45	1.03	1.00	1.09	1.00	1.12	1.40	1.10	4.27	1.35	1.00	8.00	1.39	5.16
Prečnik	0.01	4.18	0.85	1.00	1.09	1.00	0.93	1.40	1.10	4.27	1.35	1.00	8.00	1.39	5.15
Vmesna vertikal	Ni vpliva striga.														
Krajna vertikal	Ni vpliva striga.														

**“Ta stran je namenoma prazna.”**



**“Ta stran je namenoma prazna.”**



**PRILOGA G: Kontrola druge faze utrujanja (podrobne preiskave)**

G.1: Podrobna preiskava Notranjega vzdolžnika 1

G.2: Podrobna preiskava Prečnika 11

G.3: Podrobna preiskava elementa U6a

G.1 : Podrobna preiskava Notranjega vzdolžnika 1

**NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, l = 1.6254 m, del 1**

Notranje statične količine - lastna in stalna teža konstrukcije					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	4.91	0	1064	0	88
T1		T2		T3	
$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.01	-0.55	0.55	0.01		

Točka	T4	[/]
$\sigma_{xx}$	0.01	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 1					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-10	30	-1729	12882	-238	123
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.14	0.99	3.47	-3.78	1.35	3.61
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.24	3.89	4.63	-0.88	4.24	4.77

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	4.77	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-0.88	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	4.25	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.207	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	1.115	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.91	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.20	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.83	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, l = 1.6254 m, del 2**

**Notranje statične količine - Tip vlaka 2**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-8	22	-1267	10317	-211	90

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-3.37	0.73	2.75	-3.00	1.10	2.90

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.02	3.08	3.69	-0.65	3.45	3.84

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	3.84	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-0.65	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	3.46	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.187	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	1.104	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.84	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.17	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.78	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**Notranje statične količine - Tip vlaka 3**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-10	23	-1267	9738	-192	87

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-3.18	0.72	2.63	-2.85	1.05	2.76

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.98	2.92	3.51	-0.65	3.25	3.64

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	3.64	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-0.65	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	3.25	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.199	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	1.111	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.88	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.19	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.81	[kN/cm <sup>2</sup> ]

NOTRANJI VZDOLŽNIK 1,  $l = 1.6254$  m, del 3

Notranje statične količine - Tip vlaka 4					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-9	20	-1083	8240	-164	77

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-2.70	0.63	2.24	-2.43	0.90	2.35
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.84	2.49	2.99	-0.57	2.76	3.10

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	3.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-0.56	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	2.76	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.204	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	1.113	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.90	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.20	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.82	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 6					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-14	32	-1933	13766	-254	132

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.44	1.08	3.74	-4.06	1.46	3.90
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.36	4.16	4.97	-0.99	4.53	5.12

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	5.12	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-0.98	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	4.54	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.216	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	1.119	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.95	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.22	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.86	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, l = 1.6254 m, del 4**

**Notranje statične količine - Tip vlaka 7**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-16	36	-1933	13903	-265	148

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.52	1.15	3.86	-4.16	1.52	4.01

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.41	4.26	5.11	-1.05	4.62	5.25

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	5.25	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-1.04	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	4.63	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.225	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	1.124	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.98	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.23	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.88	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**Notranje statične količine - Tip vlaka 8**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-31	14	-2475	16514	-227	16

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-5.16	0.77	3.86	-4.51	1.42	4.12

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.51	4.42	5.32	-0.86	5.07	5.58

Točka	T4	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	5.58	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	-0.86	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	5.07	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	-0.169	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	1.095	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	7.77	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	3.15	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	5.73	[kN/cm <sup>2</sup> ]

G.2 : Podrobna preiskava Prečnika 11

**PREČNIK 11, l = 0.8528 m, del 1**

Notranje statične količine - lastna in stalna teža konstrukcije					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
35	0	0	2700	0	1059
T1		T2		T3	
$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
2.19	-2.64	3.15		-1.68	

Točka	T3	[/]
$\sigma_{xx}$	3.15	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 1					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-2	33	-1149	23146	-516	765
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.70	2.09	4.92	-5.27	1.52	4.69
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.42	6.66	7.52	-1.99	6.10	7.29

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	7.52	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	1.73	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	9.82	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.176	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.921	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.54	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.65	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.82	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**PREČNIK 11, l = 0.8528 m, del 2**

**Notranje statične količine - Tip vlaka 2**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	39	-774	14768	-254	1282

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-2.82	3.25	4.94	-5.17	0.90	4.00

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.74	6.16	6.60	-3.08	3.81	5.66

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	6.60	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.41	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	9.31	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.259	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.877	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.23	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.52	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.59	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**Notranje statične količine - Tip vlaka 3**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	40	-949	13539	-256	1360

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-2.64	3.46	5.04	-5.16	0.94	4.03

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.78	6.09	6.55	-3.30	3.57	5.55

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	6.55	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.37	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	9.24	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.257	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.879	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.24	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.52	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.60	[kN/cm <sup>2</sup> ]

PREČNIK 11,  $l = 0.8528$  m, del 3

Notranje statične količine - Tip vlaka 4					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	38	-845	13359	-217	1272
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-2.53	3.23	4.74	-4.93	0.82	3.78
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.67	5.84	6.24	-3.07	3.43	5.28

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	6.24	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.48	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	8.99	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.276	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	0.868	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.16	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.49	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.54	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 6					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	56	-1268	22026	-370	1916
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.19	4.86	7.37	-7.72	1.33	5.96
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.10	9.18	9.84	-4.63	5.65	8.43

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	9.84	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.05	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	12.33	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.166	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	0.926	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.58	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.66	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.85	[kN/cm <sup>2</sup> ]



**PREČNIK 11, l = 0.8528 m, del 4**

**Notranje statične količine - Tip vlaka 7**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	74	-1390	22738	-362	2501

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.28	6.30	8.87	-9.16	1.42	6.92

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.11	10.75	11.42	-5.99	5.88	9.47

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	11.42	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.04	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	13.91	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.147	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.936	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.64	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.69	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.90	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**Notranje statične količine - Tip vlaka 8**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	68	-978	21665	-362	2188

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-4.12	5.49	7.97	-8.28	1.33	6.30

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.03	9.79	10.41	-5.19	5.63	8.74

Točka	T3	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	10.41	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.13	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	12.94	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.164	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.927	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.58	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.66	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.85	[kN/cm <sup>2</sup> ]

G.3 : Podrobna preiskava elementa U6a

**U6a, l = 0 m**

Bruto prerez										Efektivni prerez	
$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{zg,n}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{sp,n}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta t_z$ [cm]
114280	132000	-40.99	0.00	13.51	0.00	27.40	16.80	-27.40	-16.80	379.80	0.00

$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\phi$	1.018	[/]
k	1.08	[/]
Leto izgradnje:	1905	
Trenutno leto:	2016	

Tip vlaka	$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
1	5.29	5.81	2190	2474697	0.0008850
2	3.76	4.13	2190	5885408	0.0003721
3	3.56	3.91	1095	7122155	0.0001537
4	3.36	3.69	1095	9050324	0.0001210
6	5.36	5.89	2190	2409988	0.0009087
7	6.67	7.33	1460	1368437	0.0010669
8	6.28	6.90	1095	1580159	0.0006930
			$\Sigma n_i =$ 11315		$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.004200

Predvidena življenjska doba	238	[let]
Preostala življenjska doba	127	[let]

U6a, l = 0 m, del 1

Notranje statične količine - lastna in stalna teža konstrukcije					
N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]
0	1223	0	507	-47	0
T1		T2		T3	
σ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]		σ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]		σ <sub>xx</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	
3.03		3.04		3.27	

Točka	T2	[/]
σ <sub>xx</sub>	3.04	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 1					
N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	M <sub>y,min</sub> [kNcm]	M <sub>y,max</sub> [kNcm]	M <sub>z,min</sub> [kNcm]	M <sub>z,max</sub> [kNcm]
0	1737	0	2954	-534	139
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx</sub>   <sub>max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx</sub>   <sub>max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.13	4.59	5.27	-1.08	4.64	5.29
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx</sub>   <sub>max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,min</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx,max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>xx</sub>   <sub>max</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.11	4.95	5.02	-0.03	5.03	5.05

Točka	T2	[/]
σ <sub>xx</sub>   <sub>max</sub>	5.29	[kN/cm <sup>2</sup> ]
Δσ <sub>min</sub>	1.97	[kN/cm <sup>2</sup> ]
Δσ <sub>max</sub>	7.69	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.256	[/]
Δσ <sub>c,0</sub>	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.879	[kN/cm <sup>2</sup> ]
Δσ <sub>c</sub>	6.24	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Δσ <sub>L</sub>	2.53	[kN/cm <sup>2</sup> ]
Δσ <sub>D</sub>	4.60	[kN/cm <sup>2</sup> ]

## U6a, l = 0 m, del 2

Notranje statične količine - Tip vlaka 2					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
0	1237	0	2050	-390	130
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.78	3.27	3.74	-0.75	3.31	3.76
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.08	3.53	3.57	-0.03	3.58	3.60

Točka	T2	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	3.76	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.29	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	6.35	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.361	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	0.816	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	5.79	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.34	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.27	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 3					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-1	1176	0	1853	-399	136
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.72	3.11	3.54	-0.68	3.15	3.56
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.09	3.34	3.39	-0.03	3.40	3.42

Točka	T2	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	3.56	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.36	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	6.19	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.381	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	0.802	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	5.70	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.30	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.20	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**U6a, l = 0 m, del 3**

**Notranje statične količine - Tip vlaka 4**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-1	1099	0	1884	-378	143

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.73	2.91	3.35	-0.70	2.94	3.36

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.08	3.15	3.19	-0.03	3.19	3.21

Točka	T2	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	3.36	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	2.35	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	5.99	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.392	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.795	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	5.64	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.28	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.16	[kN/cm <sup>2</sup> ]

**Notranje statične količine - Tip vlaka 6**

$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-1	1752	0	3033	-578	224

Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.16	4.64	5.34	-1.12	4.69	5.36

Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.12	5.02	5.09	-0.05	5.09	5.12

Točka	T2	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	5.36	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	1.93	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	7.73	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.249	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
f(R)	0.883	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.27	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.54	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.62	[kN/cm <sup>2</sup> ]

## U6a, l = 0 m, del 4

Notranje statične količine - Tip vlaka 7					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-1	2213	0	3437	-633	265
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.32	5.86	6.65	-1.27	5.91	6.67
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.13	6.29	6.37	-0.06	6.36	6.40

Točka	T2	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	6.67	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	1.78	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	8.95	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.198	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	0.910	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.46	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.61	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.76	[kN/cm <sup>2</sup> ]

Notranje statične količine - Tip vlaka 8					
$N_{min}$ [kN]	$N_{max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNcm]	$M_{y,max}$ [kNcm]	$M_{z,min}$ [kNcm]	$M_{z,max}$ [kNcm]
-1	2096	0	3116	-570	161
Napetosti v elementih (T1)			Napetosti v elementih (T2)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-1.19	5.54	6.25	-1.14	5.59	6.28
Napetosti v elementih (T3)			Napetosti v elementih (T4)		
$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,min}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xx,max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$ \sigma_{xx} _{max}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
-0.12	5.92	5.99	-0.04	6.01	6.03

Točka	T2	[/]
$ \sigma_{xx} _{max}$	6.28	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{min}$	1.90	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_{max}$	8.64	[kN/cm <sup>2</sup> ]

R	0.220	[/]
$\Delta\sigma_{c,0}$	7.10	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$f(R)$	0.898	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_c$	6.38	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Delta\sigma_L$	2.58	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.70	[kN/cm <sup>2</sup> ]

## **PRILOGA H: Kontrola druge faze utrujanja (metoda Rainflow)**

H.1: Podrobna preiskava Notranjega vzdolžnika 1, metoda Rainflow

H.2: Podrobna preiskava Prečnika 11, metoda Rainflow

H.3: Podrobna preiskava elementa U6a, metoda Rainflow

Uporabljene oznake:

$n_{i,prehod}$  : število ciklov napetosti v posameznem rangu napetosti ob enem prehodu vlakovne kompozicije

$n_i$  : število ciklov napetosti v posameznem rangu napetosti z upoštevanjem letnega števila prehodov vlakovne kompozicije v skladu s preglednico 3.11

H.1 : Podrobna preiskava Notranjega vzdolžnika 1, metoda Rainflow

**NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, l = 1.6254 m, del 1**

Tip vlaka 1					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	23	50370	100000000	0.0000000
1.00	1.19	40.5	88695	100000000	0.0000000
2.00	2.38	12	26280	100000000	0.0000000
3.00	3.57	0	0	57028224	0.0000000
4.00	4.76	2	4380	13533065	0.0003237
5.00	5.96	0	0	4648932	0.0000000
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i = 169725$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000324$	

Tip vlaka 2					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	29.5	64605	100000000	0.0000000
1.00	1.19	11	24090	100000000	0.0000000
2.00	2.38	22	48180	100000000	0.0000000
3.00	3.57	2	4380	57028224	0.0000768
4.00	4.76	0	0	13533065	0.0000000
5.00	5.96	0	0	4648932	0.0000000
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i = 141255$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000077$	

Tip vlaka 3					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	24.5	26827.5	100000000	0.0000000
1.00	1.19	30	32850	100000000	0.0000000
2.00	2.38	14	15330	100000000	0.0000000
3.00	3.57	16	17520	57028224	0.0003072
4.00	4.76	0	0	13533065	0.0000000
5.00	5.96	0	0	4648932	0.0000000
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i = 92528$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000307$	



**NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, l = 1.6254 m, del 2**

Tip vlaka 4					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	33.5	36682.5	100000000	0.0000000
1.00	1.19	17	18615	100000000	0.0000000
2.00	2.38	0.5	547.5	100000000	0.0000000
3.00	3.57	12.5	13687.5	57028224	0.0002400
4.00	4.76	0	0	13533065	0.0000000
5.00	5.96	0	0	4648932	0.0000000
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i = 69533$		$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000240$

Tip vlaka 6					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	63	137970	100000000	0.0000000
1.00	1.19	16.5	36135	100000000	0.0000000
2.00	2.38	3	6570	100000000	0.0000000
3.00	3.57	4	8760	57028224	0.0001536
4.00	4.76	12.5	27375	13533065	0.0020228
5.00	5.96	8.5	18615	4648932	0.0040041
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i = 235425$		$\Sigma(n_i/N_i) = 0.006181$

Tip vlaka 7					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	46	67160	100000000	0.0000000
1.00	1.19	4.5	6570	100000000	0.0000000
2.00	2.38	10	14600	100000000	0.0000000
3.00	3.57	0	0	57028224	0.0000000
4.00	4.76	1.5	2190	13533065	0.0001618
5.00	5.96	10.5	15330	4648932	0.0032975
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i = 105850$		$\Sigma(n_i/N_i) = 0.003459$

## NOTRANJI VZDOLŽNIK 1, l = 1.6254 m, del 3

Tip vlaka 8					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	17	18615	100000000	0.0000000
1.00	1.19	4.5	4927.5	100000000	0.0000000
2.00	2.38	20	21900	100000000	0.0000000
3.00	3.57	20	21900	57028224	0.0003840
4.00	4.76	2	2190	13533065	0.0001618
5.00	5.96	0	0	4648932	0.0000000
6.00	7.15	0	0	2690354	0.0000000
			$\Sigma n_i =$ 69533		
				$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.000546	

H.2 : Podrobna preiskava Prečnika 11, metoda Rainflow

**PREČNIK 11, l = 0.8528 m, del 1**

Tip vlaka 1					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	32.5	71175	100000000	0.0000000
1.00	1.19	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.38	13	28470	100000000	0.0000000
3.00	3.57	0	0	20402295	0.0000000
4.00	4.76	0	0	4900459	0.0000000
5.00	5.96	0	0	2509035	0.0000000
7.00	8.34	1	2190	914371	0.0023951
			$\Sigma n_i = 101835$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.002395$	

Tip vlaka 2					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	54.5	119355	100000000	0.0000000
1.00	1.19	2	4380	100000000	0.0000000
2.00	2.38	9	19710	100000000	0.0000000
3.00	3.57	0	0	20402295	0.0000000
4.00	4.76	0	0	4900459	0.0000000
5.00	5.96	1	2190	2509035	0.0008728
6.00	7.15	0	0	1451988	0.0000000
			$\Sigma n_i = 145635$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000873$	

Tip vlaka 3					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	74.5	81577.5	100000000	0.0000000
1.00	1.19	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.38	14	15330	100000000	0.0000000
3.00	3.57	1	1095	20402295	0.0000537
4.00	4.76	0	0	4900459	0.0000000
5.00	5.96	1	1095	2509035	0.0004364
6.00	7.15	0	0	1451988	0.0000000
			$\Sigma n_i = 99098$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000490$	

**PREČNIK 11, l = 0.8528 m, del 2**

<b>Tip vlaka 4</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	23.5	25732.5	100000000	0.0000000
1.00	1.19	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.38	3	3285	100000000	0.0000000
3.00	3.57	9	9855	20402295	0.0004830
4.00	4.76	0	0	4900459	0.0000000
5.00	5.96	1	1095	2509035	0.0004364
6.00	7.15	0	0	1451988	0.0000000
			$\Sigma n_i =$ 39968		$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.000919

<b>Tip vlaka 6</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	41.5	90885	100000000	0.0000000
1.00	1.19	2	4380	100000000	0.0000000
2.00	2.38	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.57	12	26280	20402295	0.0012881
4.00	4.76	3	6570	4900459	0.0013407
5.00	5.96	4	8760	2509035	0.0034914
10.00	11.91	1	2190	313629	0.0069828
			$\Sigma n_i =$ 139065		$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.013103

<b>Tip vlaka 7</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	13.5	19710	100000000	0.0000000
1.00	1.19	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.38	1	1460	100000000	0.0000000
3.00	3.57	0	0	20402295	0.0000000
4.00	4.76	2	2920	4900459	0.0005959
5.00	5.96	8	11680	2509035	0.0046552
10.00	11.91	1	1460	313629	0.0046552
			$\Sigma n_i =$ 37230		$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.009906

**PREČNIK 11, l = 0.8528 m, del 3**

Tip vlaka 8					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	35.5	38872.5	100000000	0.0000000
1.00	1.19	17	18615	100000000	0.0000000
2.00	2.38	2	2190	100000000	0.0000000
3.00	3.57	0	0	20402295	0.0000000
4.00	4.76	0	0	4900459	0.0000000
5.00	5.96	0	0	2509035	0.0000000
7.00	8.34	1	1095	914371	0.0011975
			$\Sigma n_i =$ 60773		
				$\Sigma(n_i/N_i) =$ 0.001198	

H.3 : Podrobna preiskava elementa U6a, metoda Rainflow

U6a, l = 0 m

Bruto prerez										Efektivni prerez	
$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	$e_{zg}$ [cm]	$e_{zg,n}$ [cm]	$e_{sp}$ [cm]	$e_{sp,n}$ [cm]	$e_{levo}$ [cm]	$e_{levo,n}$ [cm]	$e_{desno}$ [cm]	$e_{desno,n}$ [cm]	$A_{eff}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\Delta t_z$ [cm]
114280	132000	-40.99	0.00	13.51	0.00	27.40	16.80	-27.40	-16.80	379.80	0.00

$\phi$	1.018	[/]
k	1.08	[/]
Leto izgradnje:	1905	
Trenutno leto:	2016	

$\Delta\sigma_c$	6.07	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_L$	2.46	[kN/cm <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_D$	4.47	[kN/cm <sup>2</sup> ]

$\Sigma n_i/N_i =$	0.0024
--------------------	--------

Predvidena življenjska doba	424	[let]
Preostala življenjska doba	313	[let]

**U6a, l = 0 m, del 1**

<b>Tip vlaka 1</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	179	392010	100000000	0.0000000
1.00	1.10	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.20	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.30	0	0	22925284	0.0000000
4.00	4.40	1	2190	5440277	0.0004026
5.00	5.50	0	0	2690842	0.0000000
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 394200$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000403$	

<b>Tip vlaka 2</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	186	407340	100000000	0.0000000
1.00	1.10	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.20	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.30	1	2190	22925284	0.0000955
4.00	4.40	0	0	5440277	0.0000000
5.00	5.50	0	0	2690842	0.0000000
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 409530$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000096$	

<b>Tip vlaka 3</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	270	295650	100000000	0.0000000
1.00	1.10	1	1095	100000000	0.0000000
2.00	2.20	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.30	1	1095	22925284	0.0000478
4.00	4.40	0	0	5440277	0.0000000
5.00	5.50	0	0	2690842	0.0000000
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 297840$	$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000048$	

## U6a, l = 0 m, del 2

Tip vlaka 4					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	95	104025	100000000	0.0000000
1.00	1.10	1	1095	100000000	0.0000000
2.00	2.20	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.30	1	1095	22925284	0.0000478
4.00	4.40	0	0	5440277	0.0000000
5.00	5.50	0	0	2690842	0.0000000
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 106215$		$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000048$

Tip vlaka 6					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	172	376680	100000000	0.0000000
1.00	1.10	2	4380	100000000	0.0000000
2.00	2.20	3	6570	100000000	0.0000000
3.00	3.30	0	0	22925284	0.0000000
4.00	4.40	0	0	5440277	0.0000000
5.00	5.50	1	2190	2690842	0.0008139
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 389820$		$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000814$

Tip vlaka 7					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	54	78840	100000000	0.0000000
1.00	1.10	8	11680	100000000	0.0000000
2.00	2.20	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.30	0	0	22925284	0.0000000
4.00	4.40	0	0	5440277	0.0000000
5.00	5.50	1	1460	2690842	0.0005426
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 91980$		$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000543$



**U6a, l = 0 m, del 3**

<b>Tip vlaka 8</b>					
$\Delta\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta\sigma_f$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$n_{i,prehod}$ [ciklov]	$n_i$ [ciklov]	$N_i$ [ciklov]	$n_i/N_i$ (eno leto)
0.00	0.00	435	476325	100000000	0.0000000
1.00	1.10	0	0	100000000	0.0000000
2.00	2.20	0	0	100000000	0.0000000
3.00	3.30	0	0	22925284	0.0000000
4.00	4.40	0	0	5440277	0.0000000
5.00	5.50	1	1095	2690842	0.0004069
6.00	6.60	0	0	1557200	0.0000000
			$\Sigma n_i = 477420$		
				$\Sigma(n_i/N_i) = 0.000407$	