

**ДГКМ**  
ДРУШТВО НА  
ГРАДЕЖНИТЕ  
КОНСТРУКТОРИ НА  
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,  
П.Фах 560, 1001 Скопје  
Македонија

**MASE**  
MACEDONIAN  
ASSOCIATION OF  
STRUCTURAL  
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,  
P. Box 560, 1001 Skopje  
Macedonia

**SS - 8**

mase@gf.ukim.edu.mk  
http://mase.gf.ukim.edu.mk

Mile PARTIKOV<sup>1</sup>, Petar CVETANOVSKI<sup>2</sup>, Denis POPOVSKI<sup>3</sup>

## DESIGN OF TRUSS WITH K GAP JOINTS ACCORDING TO EC3

### SUMMARY

This paper shows the design procedure of truss with K gap joints according EC3. It is performed an elastic analysis of the truss assuming that all members are pin-connected. Main objective is to design all members and the joint design strength to be expressed in terms of efficiency of the connected braces, using graphical design charts. All design parameters of joints are according EC3 Part 1-8 and CIDECT Design Guide 3 for rectangular hollow section joints.

*Keywords: truss, joint, gap joint*

Миле ПАРТИКОВ<sup>1</sup>, Петар ЦВЕТАНОВСКИ<sup>2</sup>, Денис ПОПОВСКИ<sup>3</sup>

## ПРОЕКТИРАЊЕ НА РЕШЕТКАСТ НОСАЧ СО К ЈАЗЛИ СПОРЕД ЕВРОКОД 3

### РЕЗИМЕ

Во овој труд е покажана постапката за проектирање на решеткаст носач со К јазли со растојание според Еврокод 3. Извршена е еластична анализа при што сите елементи се претопставени како зглобно поврзани. Сите елементи се димензионирани а носивиот капацитет на јазлите е прикажан како искористеност на елементите од исполната со примена на проектни дијаграми. При конструирањето на јазлите запазени се сите препораки од Еврокод 3 Дел 1-8 како и препораките на CIDECT од книга 3 за јазли формирани од RHS/SHS профили.

*Клучни зборови: решетка, јазел, јазел со растојание*

<sup>1</sup> Assist. MSc, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, [partikov@gf.ukim.edu.mk](mailto:partikov@gf.ukim.edu.mk)

<sup>2</sup> Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, [cvetanovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:cvetanovski@gf.ukim.edu.mk)

<sup>3</sup> Assist. PhD, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, [popovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:popovski@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ВОВЕД

При проектирањето на решеткастите носачи од кутијасти профили треба да се води сметка при изборот на попречните пресеци на стаповите со цел при формирањето на јазлите истите ги исполнуваат барањата пропишани во Еврокод 3 Дел 1-8. Запазувајќи ги барањата и условите за јазлите од самиот старт на проектирањето се овозможува да јазлите ја поседуваат соодветната носивост и овозможуваат минимални трошоци за изработка на носачите. Во еден регуларен решеткаст носач, притиснатиот појас консумира околу 50% од вкупниот вграден материјал, затегнатитот појас 30% а исполната околу 20%. Имајќи ја во предвид распределбата на материјалот во попречниот пресек, за притиснат појас најоптимален пресек би бил пресекот со поголема висина и ширина а помала дебелина на сидовите. Меѓутоа за да се обезбеди помала површина за фарбање а особено што носивоста на јазелот се зголемува со намалување на соодносот ширина/дебелина на сидот на појасот  $b_0/t_0$  со зголемување на соодносот на дебелините на појасот и исполната  $t_0/t_1$ , изборот на притиснатиот појас треба да биде компромис помеѓу носивоста на јазелот и носивоста на елементот на извивање. Затегнатите појаси треба да се проектираат така да имаат што е можно помал сооднос на ширината и дебелината  $b_0/t_0$ . Исполната треба да биде со што е можно помала дебелина на сидовите а поголема ширина и висина (освен кај јазли со преклопување) бидејќи јазелот е поефективен доколку соодност на ширините на појасот и исполната е поголем. При вака избрани елементи од исполната се овозможува користење на завари со помали дебелини. Кај решеткастите носачи се преферираат  $K$  и  $N$  јазлите со растојание бидејќи истите овозможуваат полесна подготовка на краевите и заварување. Кај овие јазли треба да се води сметка за минималното растојание помеѓу елементите за да не дојде до преклопување на заварите, ова растојанире треба да биде  $g > t_1 + t_2$ . За полесна изработка на заварите потребно е елементите од исполната да бидат поставени под агол поголем од  $30^\circ$ .

## 2. ПРОЦЕС НА ПРОЕКТИРАЊЕ НА РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ

Со цел да се проектира ефективен и економски исплатлив решеткаст носач, проектирањето на истиот треба да ги следи следните фази:

I. Определување геометрија на решетката, распон, висина ( $L/10 - L/15$ ), должина на елементите, прикрепувања за извивање надвор од рамнината, притоа водејќи сметка да бројот на јазлите биде минимален.

II. Анализа на товарите и местопожба на истите кај решеткастиот носач. Се препорачува аплицирање на товарите во самите јазли со цел да се избегнат секундарни моменти на свиткување во појасите.

III. Статичка пресметка и определување на статичките големини од математички модел кој најдобро го опишува решеткастиот носач. Моделирањето на носачот може да биде на два начина и тоа со зглобни врски на сите елементи со центрично поставеност или пак појасот да се моделира како "континуиран елемент" а елементите од исполната се зглобно поврзани.

IV. Определување на димензиите на појасите водејќи сметка за гоелмината на аксијалната сила, заштита од корозија и виткоста на сидовите кај  $RHS/SHS$  профилите. За да се задоволат барањата за јазлите се препорачува соодносот на ширината и дебелината на сидот да бидат од 15 до 25. Коэффициентот на извивање на појасот во две рамнини се препорачува  $0.9L$  а како конзервативно може да се исвои и  $1.0$ .

V. Определување на димензиите на исполната врза база на аксијалната сила усвојувајќи дебелина на сидот помала од дебелината на појасите. Должината на извивање на исполната се препорачува да биде  $0.75L$ .

VI. Униформност на пресеците, да се усвојот колку што е мошно помал број на различни пресеци.

VII. Конструирање на јазлите, од условот за наједноставна изведба да се проба со јазли со растојание и да се проконтролираат параметрите на јазлите ставајќи акцент на минимално растојание помеѓу елементите и ексцентрицитетите.

VIII. Контрола на носивиот капацитет на јазлите, доколку некои од јазлите не ги задоволуваат пропишаните критериуми за носивост треба да се изврши промена на конфигурацијата на јазелот (да се проба можеби со јазел со преклопување) или пак да се променат составните елементи (појас и исполна).

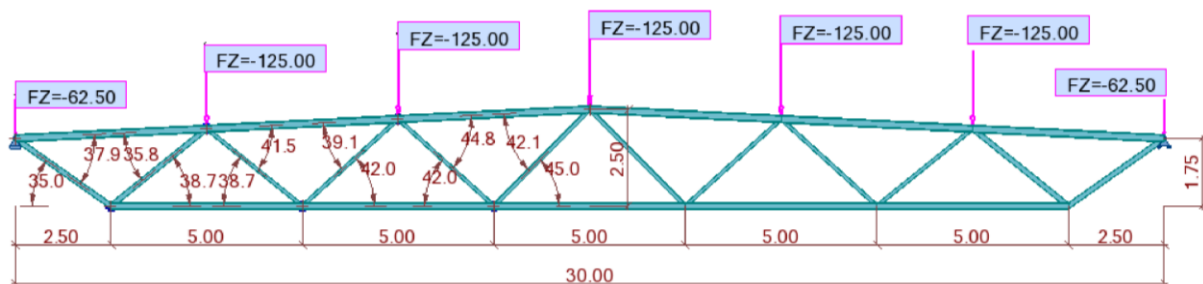
IX. Контрола на ефектите од примарните моменти врз носивоста на појасите како и секундарните моменти во притиснатите појаси кои произлегуваат од ексцентричната поставеност на исполната.

X. Контрола на деформациите

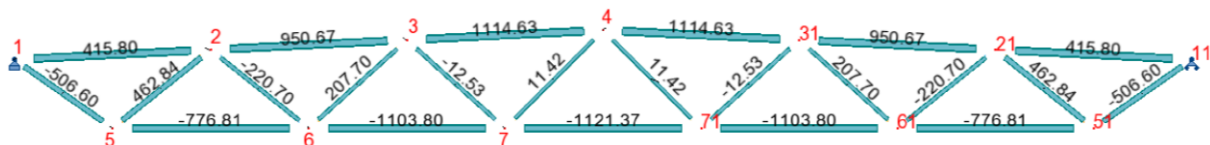
XI. Контрола на заварите.

### 3. ПРИМЕР ЗА РАМНИНСКИ РЕШЕТКАСТ НОСАЧ

Со цел да се покаже практичната примена на критериумите и правилата за проектирање на решеткасти носачи според Еврокод 3 Дел 1-1 и Дел 1-8, извршена е пресметка на решеткаст носач прикажан на слика 1. Решеткастиот носач е со распон од 30m и модулarno е поставен на 12m, на горниот појас од решетката се потпираат рожници поставени на меѓусебно растојание од 5m. За да се избегнат голем број на јазли избрана е конфигурација на решеткаст носач составен само од дијагонална исполна. Висината на решеткастиот носач во средина е усвоена 2.5m што претставува 1/12 од распонот.



Слика 1. Изглед на решеткаст носач



Слика 2. Статички големини

Сите попречни пресеци на стаповите се проектирани од ладнообликувани квадратни кутијасти профили (SHS) кои ги исполнуваат барањата на EN 10219-2:1997. Како материјал е користен S235JR со граница на развлекување од  $235 \text{ N/mm}^2$ . На слика 1 прикажани се товарите на решетката помножени по соодветните парцијални фактори. На слика 2 прикажани се факторираните статички големини во елементите.

#### 3.1. Димензионирање на елементите

Димензионирањето на елементите е извршено согласно Еврокод 3 Дел 1-1 при што за сите пресеци е усвоена крива на извивање "C" ( $\alpha_c=0.49$ ) и парцијален фактор  $\gamma_{M1} = 1.0$ . Бидејќи јазлите на крајот од решетката ќе бидат меродавни, појасите по цела должина на решетката ќе бидат усвоени со исти димензии. Според препораките за должините на извивање за горниот притиснат појас е усвоен коефициент на извивање  $K=0.9$  за двете оски а за исполната е усвоен коефициент на извивање  $K=0.75$  за двете оски. Во табела 1 е прикажано димензионирањето на

горниот притиснат појас при што следејќи ги препораките за соодност  $b_0/t_0$  да биде во границите од 15 до 25 разгледани се три различни попречни пресеци.

$f_{y0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$N_0$ (kN)	K x L (m)	Попречни пресеци	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$b_0/t_0$	$\bar{\lambda}$	$\chi$	$\chi f_{y0} A_0$ (kN)	$\frac{N_0}{\chi f_{y0} A_0}$
235	<b>1114.6</b>	4.5	180x180x12	7450	15	0.72	0.71	<b>1243.1</b>	<b>0.90</b>
			200x200x10	7260	20	0.63	0.77	<b>1313.7</b>	<b>0.85</b>
			<b>220x220x8</b>	<b>6560</b>	<b>27.5</b>	<b>0.56</b>	<b>0.81</b>	<b>1248.7</b>	<b>0.89</b>

Табела 1. Димензионирање на горен притиснат појас

Од приложените пресеци се забелешува дека профилот  $220x220x8$  е економски најисплатлив меѓутоа соодносот на ширината и дебелината на сидот отстапува од пропишаните граници што може да доведе до надминување на носивиот капацитет на јазлите па затоа за горен појас е избран профилот  $200x200x10$ .

$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$N_0$ (kN)	Попречни пресеци	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$b_0/t_0$	$f_{y0} A_0$ (kN)	$\frac{N_0}{f_{y0} A_0}$
235	<b>-1121.4</b>	150x150x10	5260	15	<b>1236.1</b>	<b>0.91</b>
		160x160x10	5660	16	<b>1330.1</b>	<b>0.84</b>
		180x180x8	5280	22.5	<b>1240.8</b>	<b>0.90</b>

Табела 2. Димензионирање на долен затегнат појас

$f_{y1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$N_1$ (kN)	K x L (m)	Попречни пресеци	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$b_1/t_1$	$\bar{\lambda}$	$\chi$	$\chi f_{y1} A_1$ (kN)	$\frac{N_1}{\chi f_{y1} A_1}$
235	<b>462.8</b>	2.48	120x120x6	2640	20	0.57	0.8	<b>496.3</b>	<b>0.93</b>
			140x140x5	2640	28	0.48	0.85	<b>527.3</b>	<b>0.87</b>
235	<b>207.7</b>	2.57	100x100x4	1490	25	0.70	0.72	<b>252.1</b>	<b>0.81</b>
235	<b>11.42</b>	2.66	100x100x4	1490	25	0.73	0.71	<b>248.6</b>	<b>0.05</b>

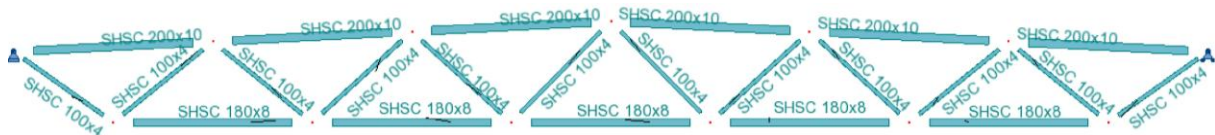
Табела 3. Димензионирање на притиснати дијагонали

Во табела 2 е дадено димензионирањето на долниот затегнат појас при што овде е усвоен профилот  $180x180x8$  кој има малку поголема тежина од профилот  $150x150x10$  меѓутоа овој профил овозможува да соодносот на ширината на појасот и исполната не надмина  $\beta \leq 0.85$ . Во табела 3 е дадено димензионирањето на притиснатите а во табела 4 на затегнатите елементи од исполната.

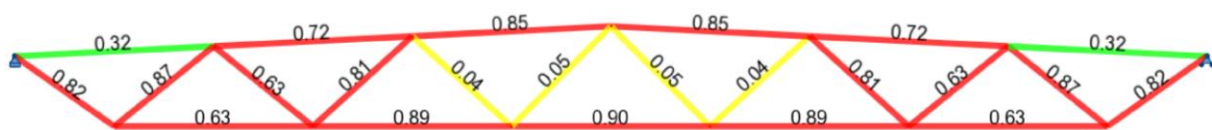
$f_{y2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$N_2$ (kN)	Попречни пресеци	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	$b_2/t_2$	$f_{y2} A_2$ (kN)	$\frac{N_2}{f_{y2} A_2}$
235	<b>-506.6</b>	120x120x6	2640	20	<b>620.4</b>	<b>0.82</b>
		140x140x5	2640	28	<b>620.4</b>	<b>0.82</b>
235	<b>-220.7</b>	100x100x4	1490	25	<b>350.2</b>	<b>0.63</b>
235	<b>-12.53</b>	100x100x4	1490	25	<b>350.2</b>	<b>0.04</b>

Табела4. Димензионирање на затегнати дијагонали

Со цел да се поедностави изведбата на решеткастиот носач и да се избегне поголем број на различни јазли, решеткастиот носач се усвојува да има два различни попречни пресеци за дијагоналната исполна. На слика 3 се прикажани усвоените попречни пресеци при што истите ги исполнуваат условите за сооднос ширина/дебелина пропишани во табела 7.9 од Еврокод 3 Дел 1-8. На слика 4 е прикажана искористеноста на усвоените пресеци од решеткастиот носач.



Слика 3. Усвоени попречни пресеци



Слика 4. Усвоени попречни пресеци

### 3.2. Контрола за јазли со растојание ("gap joints") според

Јазелот 5 е јазел со најголем сооднос  $\beta = 140 / 180 = 0.778$  и истиот треба да ги задоволува условите за јазли со растојание дадени во табела 7.8 од Еврокод 3 Дел 1-8.

$$0.5(1 - \beta) \leq g / b_0 \leq 1.5(1 - \beta) \quad (1)$$

$$0.5(1 - 0.778) \leq g / 180 \leq 1.5(1 - 0.778) \Rightarrow$$

$$19.98 \text{ mm} \leq g \leq 59.94 \text{ mm}$$

Ексцентрицитетот "е" кој одговара на најмалото растојание помеѓу елементите од исполната  $g = 30 \text{ mm}$  може да се пресмета на следниот начин:

$$e = \left( \frac{h_1}{2 \sin \theta_1} + \frac{h_2}{2 \sin \theta_2} + g \right) \frac{\sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{h_0}{2} \quad (2)$$

$$e = \left( \frac{120}{2 \sin 38.7} + \frac{120}{2 \sin 35.0} + 20 \right) \frac{\sin 38.7 \sin 35.0}{\sin(38.7 + 35.0)} - \frac{180}{2} = +4.89 \text{ mm}$$

Јазелот 7 е јазел со најмал сооднос  $\beta = 100 / 180 = 0.555$  па според условите за јазли со

растојание во табела 7.8 од Еврокод 3 Дел 1-8 следува:

$$0.5(1 - \beta) \leq g / b_o \leq 1.5(1 - \beta) \quad (3)$$

$$0.5(1 - 0.555) \leq g / 180 \leq 1.5(1 - 0.555) \Rightarrow$$

$$40.05 \text{ mm} \leq g \leq 120.15 \text{ mm}$$

Ексцентрицитетот "e" кој одговара на најголемто растојание помеѓу елементите од исполната  $g = 120 \text{ mm}$  се пресметува на следниот начин:

$$e = \left( \frac{100}{2 \sin 45} + \frac{100}{2 \sin 43} + 120 \right) \frac{\sin 45 \sin 43}{\sin(45 + 43)} - \frac{180}{2} = +37.44 \text{ mm} \quad (4)$$

$$e = 37.44 = 0.312 h_o$$

Со овие пресметки се покажува дека решетката може да се изведе со јазли со растојание помеѓу елементите од исполната ("gap joints"). Кај јазелот 7 единствено би се појавил ексцентар поголем од дозволениот ако истиот се конструира со максималното растојание помеѓу дијагоналите. Целата решетка може да се конструира со јазли со растојание без притоа да се внесуваат големи ексцентрицитети кои би генерирале дополнителни моменти на свиткување во појасите.

### 3.3. Контрола на носивост на К јазли ("К gap joints")

За да се постигне меѓусебно растојание на дијагоналите од  $20\text{mm}$  потребно јазелот 5 да се изведе со ексцентар од  $\sim 4.89\text{mm}$ . Овој ексцентар  $e = +0.03 h_o < +0.25 h_o$  при што нема да сегенерираат дополнителни моменти на свиткување во елементите од јазелоти да се контролира нивната носивост а влијанието на ексцентарот врз параметарот "n" на јазелот кој во себе ги вклучува напрегањата во појасот исто така ќе биде многу мало.

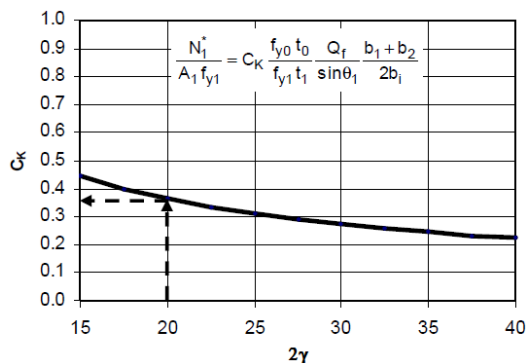
$$n = \frac{N_o}{N_{pl,o}} + \frac{M_o}{M_{pl,o}} \quad (5)$$

$$\frac{M_o}{M_{pl,o}} = \frac{0.5(N_o - N_{op})e}{W_{pl,o} f_{y0}} \quad (6)$$

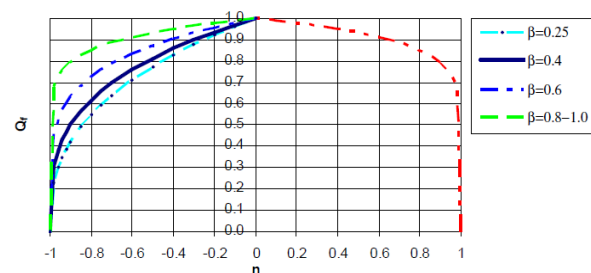
Каде:

$N_o - N_{op}$  е разликата на аксијалната сила во појасот од двете страни на јазелот.

Коефициентот 0.5 се однесува на јазли кај кои појасот поминува од двете страни на јазелот додека пак во овој случај појасот се наоѓа само од едната страна на јазелот и тој го прима целиот момент па тој коефициент во оваа пресметка е земен 1.0.



Слика 5. Дијаграм за параметар  $C_k$



Слика 6. Дијаграм за параметар  $Q_f$

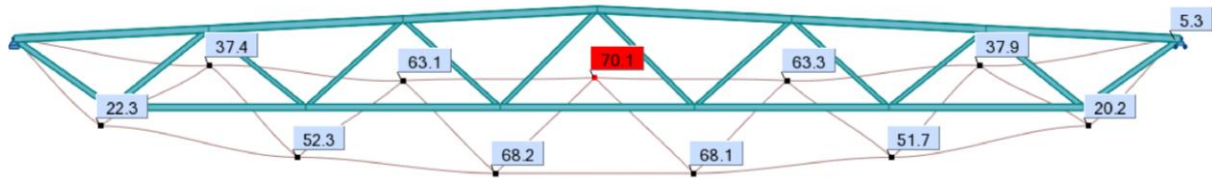
Јазел	Појас	Исполна	e (mm)	$\beta$	$2\gamma$	$\frac{N_0}{f_{y0}A_0}$	$\frac{M_0}{M_{pl,0}}$	n
1	200x200x10	Плочка	0	0.7	20	-0.24	-	-0.24
		140x140x5						
2	200x200x10	140x140x5	0	0.6	20	-0.56	-	-0.56
		100x100x4						
3	200x200x10	100x100x4	0	0.5	20	-0.65	-	-0.65
		100x100x4						
4	200x200x10	100x100x4	0	0.5	20	-0.65	-	-0.65
		100x100x4						
5	180x180x8	140x140x5	5	0.78	22.5	0.62	-0.06	0.56
		140x140x5						
6	180x180x8	100x100x4	0	0.56	22.5	0.89	-	0.89
		100x100x4						
7	180x180x8	100x100x4	0	0.56	22.5	0.90	-	0.90
		100x100x4						

Јазел	$\frac{N_i}{f_{yi}A_i}$	$C_k(*)$	$\frac{b_1 + b_2}{2b_i}$	$Q_i(**)$	$\frac{f_{y0}t_0}{f_{yi}t_i}$	$\frac{1}{\sin \theta_i}$	$\frac{N_i^*}{f_{yi}A_i}$	$N_i^* \geq N_i$
1	-		-	0.97	-	-	-	-
	<b>0.82</b>	0.37	1.0		2.0	1.51	<b>&gt;1.0</b>	ok
2	<b>0.75</b>	0.37	0.86	0.85	2.0	1.60	<b>0.87</b>	ok
	<b>0.63</b>	0.37	1.20		2.5	1.38	<b>&gt;1.0</b>	ok
3	<b>0.59</b>	0.37	1.0	0.77	2.5	1.47	<b>&gt;1.0</b>	ok
	<b>0.04</b>	0.37	1.0		2.5	1.28	<b>0.91</b>	ok
4	<b>0.03</b>	0.37	1.0	0.77	2.5	1.36	<b>0.97</b>	ok
	<b>0.03</b>	0.37	1.0		2.5	1.36	<b>0.97</b>	ok
5	<b>0.75</b>	0.33	1.0	0.96	1.6	1.48	<b>0.75</b>	ok
	<b>0.82</b>	0.33	1.0		1.6	1.64	<b>0.83</b>	ok
6	<b>0.59</b>	0.33	1.0	0.8	2.0	1.36	<b>0.72</b>	ok
	<b>0.63</b>	0.33	1.0		2.0	1.48	<b>0.78</b>	ok
7	<b>0.03</b>	0.33	1.0	0.8	2.0	1.27	<b>0.67</b>	ok
	<b>0.04</b>	0.33	1.0		2.0	1.36	<b>0.72</b>	ok

Табела 5. Контрола на јазлите, претпоставени како К јазли

### 3.4. Контрола на деформациите

Кај решеткастите носачи изведени со јазли со растојанија анализата со зглобно поврзување на елементите генерално ги подценува вистинските угиби а сето тоа е резултат на крутоста на јазелот. Со истражувања е докажано дека ова подценување може да биде од 12-15%. Како конзервативен пристап при определување на вистинскиот угиб кај овие решетки може да земе угибот добиен од анализата помножен со коефициент 1.15. На слика 7 е даден максималниот угиб на разгледуваниот носач моделиран со зглобови на краевите од сите елементи.



Слика 7. Деформации

$$\delta = 1.15 * 70.1 = 81 \text{ mm} \quad \frac{L}{\delta} = \frac{30000}{81} = 370$$

## 4. ЗАКЛУЧОК

Проектирањето на решеткастите носачи според Еврокод 3 е процес во кој уште од самиот почеток на проектирањето треба да се внимава на поголем број параметри кои што избраните елементи треба да ги исполнуваат. Попречните пресеци не може да се проектираат само од условот за носивост на елементите туку во предвид треба да се земат и условите кои влијаат на формирањето на јазлите и соодветните критериуми кои истите треба да ги задоволат. Сето ова дополнително ја намалува можноста за избор на соодветните попречни пресеци. При изборот на попречните пресециза појасите се препорачува истите да бидат со што е можно помал сооднос на ширината и дебелината на сидот бидејќи таквиот појас доста ја зголемува локалната носивост на јазелот, исто така искористеноста на појасот не би требало да надмине 90%. Елементите од исполната треба да бидат со помала дебелина од појасите а соодност на нивната ширина со ширината на појасот да биде во граници од 0.4 до 0.85. Што се однесува до софтверското моделирање на носачите треба да се избере соодветен начин на моделирање со цел да се предвидат реалните угиби.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Еврокод 3: Проектирање на челични конструкции, Дел 1-1: Општи правила и правила за згради
- [2] Еврокод 3: Проектирање на челични конструкции, Дел 1-8: Проектирање на врски
- [3] EN 10219-1:1997 Ладно обликувани заварени конструктивни затворени пресеци од нелегирани и ситнозрни челици-Дел 2: Толеранции, димензиигеометриски карактеристики
- [4] Structural stability of hollow sections (1992, reprinted 1996)
- [5] Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading (1<sup>st</sup> edition 1992 and 2<sup>nd</sup> edition 2009)