

ОДРЕЂИВАЊЕ ЛОКАЛНИХ НАПОНА ПОД ТОЧКОМ У ПОЈАСУ I-НОСАЧА DETERMINATION OF LOCAL STRESSES IN WHEEL SUPPORTING I-BEAM FLANGE

Славко Матерић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – У раду је извршено одређивање локалног напрезања доње стопе IPN 240 профила испод точкова колица једногредне порталне радионичке дизалице на два начина: рачунски према два релевантна стандарда из те области SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6 и компјутерски методом коначних елемената. Добијени резултати су коришћени ради поређења са резултатима добијеним експерименталном анализом, како би се испитала подударност све три методе прорачуна.

Кључне речи: Локални напони, I-носач, рачунски прорачун, метода коначних елемената.

Abstract – The local stress of the lower foot of the IPN 240 profile under the wheels of the single gantry crane beam was determined in two ways: according to two relevant standards in that field SRPS C.B3.131 and SRPS EN 1993-6 and computerically using the finite element method. The obtained results were used for the purpose of comparison with the results obtained by experimental analysis to examine the compatibility of all three calculation methods.

Keywords: Local stresses, I-beam, manual calculation, finite element method.

1. УВОД

Радионичка портална дизалица, слика 1, без шинске стазе на поду просторије представља веома флексибилно средство унутрашњег транспорта које служи за премештање терета са једног места на друго, при чему се, по правилу, на транспортованом терету не обављају додатни, сложенији технолошки захвати како се не би нарушила њена стабилност. Она спада у машине прекидног транспорта.



Слика 1. Радионичка портална дизалица лаке изведбе

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Атила Зелић.

Током транспорта, терет је слободно viseћи. Ослоначки точкови су везани одоздо на ноге дизалице и слободно су закретни, тако да дизалица као целина ручним померањем може да изводи четири различита кретања: транслаторно кретање дуж правца нормалног на главни носач, транслаторно кретање дуж правца главног носача, транслаторно косо кретање које обухвата комбинацију претходна два и ротацију у равни подлоге као што је приказано на слици 2 где је главно кретање дизање/спуштање терета приказано у правцу Z, док су помоћна транслаторна померања по поду приказана у правцима X, Y као и ротирање дизалице. Помоћно кретање (у Y правцу) остварују и колица (са корисним теретом, или без њега), при њеном померању дуж главног носача дизалице.



Слика 2. Могућа радна кретања радионичке порталне дизалице

2. ПРИКАЗ ИЗВЕДБЕ ПРЕДМЕТНЕ ДИЗАЛИЦЕ

Предметна дизалица се налази у Лабораторији за машинске конструкције, транспортне и грађевинске машине Машинског института Факултета техничких наука у Новом Саду. На слици 3 се јасно види да је на основну конструкцију причвршћена и додатна, монтажано-демонтажна радна платформа, која служи за одржавање једногредне мосне дизалице на шинској стази испод плафона лабораторије.

Приступ на ову платформу је могућ преко металних лестви са леђобранском заштитом. У складу са планом даљег развоја и унапређења лабораторијског простора, ова платформа није даље разматрана у раду пошто ће бити демотирана са порталне конструкције и нема никакав утицај на локална напрезања доње стопе главног носача ове дизалице. Главни носач је изведен као ваљани IPN 240 профил који је преко заварених бочних плоча на крајевима, вијцима са тачним налегањем спојен за горње крајеве обе ноге. Дуж овог носача крећу се колица посебне намене која

се користе за експерименталне анализе. На колица се причвршћују одговарајући подизни уређаји.



Слика 3. Предметна дизалица

3. ЗНАЧАЈ ПРИМЕНЕ I-ПРОФИЛА КАО ГЛАВНИХ НОСАЧА КОД ЈЕДНОГРЕДНИХ ДИЗАЛИЦА МАЛИХ НОСИВОСТИ И РАСПОНА

Брзи развој индустрије, нарочито мањих радионица где је неопходно померање лакших терета на краћим растојањима, довео је до раста потребе за уградњом једногредних дизалица мале носивости као што су мосне, порталне и конзолне.

Тежња за уштедом материјала довела је до тога да се I-профили највише примењују за извођење главних носача због велике носивости око јаче осе инерције, мале масе по дужном метру и малој површини попречног пресека.

Приликом пројектовања предметне дизалице за главни носач усвојен је IPN 240 профил, тако да она буде једногредна, материјала S355, дужине 3 m, масе 108,6 kg (36,2 kg/m) и вредности отпорног момента инерције око осе x (осе управну на правац дејства силе тежине терета) $W_x = 354 \text{ cm}^3$.

У табели 1 су приказане врсте разматраних профила који би се могли усвојити као главни носачи предметне дизалице, међу којима су IPN, НЕМ, UPN, кружна бешавна и правоугаона шавна цев, при чему су разматрани и случајеви када би изведена дизалица могла да буде једногредна или двогредна.

У табели се наводе називи профила, да ли се ради о случају када је главни носач једногредни или двогредни, вредности отпорних момената и масе главних носача за сваки случај посебно. Профили су бирали на основу вредности отпорног момента инерције тако да је усвојена прва приближна вредност оној вредности коју поседује IPN 240 профил.

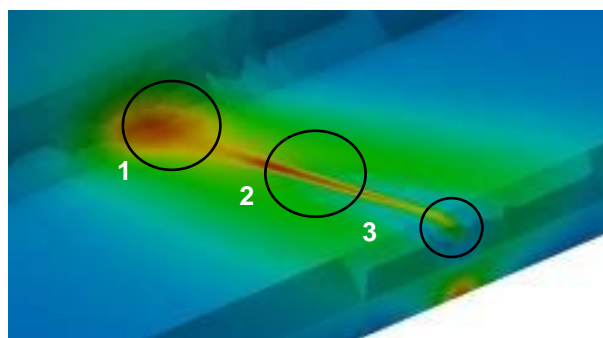
Из табеле 1 јасно се може закључити да од свих разматраних решења, профил IPN 240 у изведби једногредног главног носача поседује најмању масу, што је заправо и циљ сваког изабраног решења, да има што мању масу и ово је један од најважнијих разлога значаја примене IPN профила код једногредних дизалица малих носивости и распона као што су мосне, порталне и конзолне радионичке.

Табела 1. Разматрани случајеви могућих изведби главног носача предметне дизалице

Назив профила	Отпорни момент инер. W_x (cm^3)	Маса главног носача дужине 3 m (kg)
IPN 240 једногредни	354	108,6
IPN 200 двогредни	2x214=428	2x78,9=157,8
НЕМ 140 једногредни	411	189,6
НЕМ 100 двогредни	2x190=380	2x125,4=250,8
UPN 200 двогредни	2x191 = 382	2x75,9 = 151,8
Кружна цев $\varnothing 219,1 \times 5$ двогредни	2x176=352	2x79,2=158,4
Правоугаона цев 180x100x8,8 двогредни	2x196=392	2x104,1=208,2

4. ЛОКАЛНО НАПРЕЗАЊЕ ДОЊЕ СТОПЕ ИСПОД ТОЧКОВА КОЛИЦА

Високо квалитетни софтвери су омогућили да се уз примену методе коначних елемената могу пројектовати главни носачи једногредних дизалица са радним напонима веома блиским граничним, како би се у што већој мери смањила маса конструкције, а тиме и њена цена. Софтверске анализе у све већој мери замењују класичне рачунске, што доста олакшава и убрзава процес пројектовања у машиноградњи. Приликом пројектовања главних носача од I-профила велику пажњу треба обратити на три карактеристична места: 1 - место прелаза доње стопе и ребра; 2 - место испод дејства силе точка колица; 3 - место на крају доње стопе, слика 4, јер се ту добијају максимални напони који настају сабирањем локалних напона од глобалног савијања главног носача и локалних напона од дејства силе испод точкава колица.



Слика 4. Три карактеристична места за проверу локалних напона

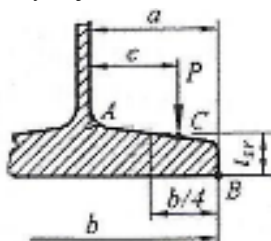
1 – место прелаза доње стопе и ребра; 2 – место испод дејства силе точка колица; 3 – место на крају доње стопе

5. РАЧУНСКИ ПРОРАЧУН ЛОКАЛНОГ НАПРЕЗАЊА ИСПОД ТОЧКОВА КОЛИЦА

Прорачун се спровео на два начина и то применом два релевантна стандарда из те области: SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6. Улазни подаци за оба прорачуна су били: сила испод точкава колица која је износила 9.080 N; удаљеност те силе од крајње ивице доње стопе за вредност 15 mm и геометријске карактеристике главног носача.

5.1 Прорачун према SRPS C.B3.131

Овај стандард се до недавно доста користио у Републици Србији и он предвиђа три карактеристичне тачке на попречном пресеку I-профила за проверу локалних напрезања: А – на месту између горње површине доње стопе и ребра; В – на крају доње стопе; С – на месту дејства силе точка, слика 5.



Слика 5. Карактеристичне тачке пресека

Након одређивања вредности локалних напона за сваку тачку посебно, следи да се израчунају укупни упоредни напони за сваку тачку посебно који представљају збир глобалних напона од савијања носача и локалних напона од точкава колица. Од интезитета ових напона зависи да ли ће доња газећа стопа на месту испод точкава колица бити изложена еластичним или пластичним деформацијама.

Упоредни напони добијени у тачкама А, В и С су:

$$\sigma_u^A = 12,28 \leq \sigma_{dop1} = 23,66 \text{ kN/cm}^2$$

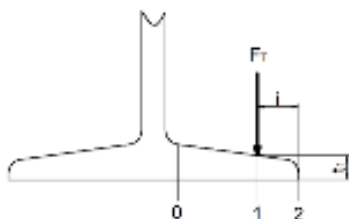
$$\sigma_u^B = 10,18 \leq \sigma_{dop1} = 23,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u^C = 17,81 \leq \sigma_{dop2} = 26,69 \text{ kN/cm}^2$$

5.2 Прорачун према SRPS EN 1993-6

Овај стандард представља новију верзију стандарда SRPS C.B3.131 и он се у данашње време доста користи за одређивање вредности локалних напона испод точкава колица на I-профилу на доњој газећој стопи.

Он исто предвиђа три карактеристична места за проверу локалних напрезања на попречном пресеку I-профила: 0 – место између доње стопе и ребра; 1 – место испод дејства силе; 2 – место на крају стопе, слика 6.



Слика 6. Карактеристична места пресека

Као и код стандарда SRPS C.B3.131, након одређивања вредности локалних напона за свако место посебно, следи да се израчунају укупни упоредни напони на тим местима који представљају збир глобалних напона од савијања носача и локалних напона од точкава колица. Упоредни напони добијени у местима 0, 1 и 2 су:

$$\sigma_{up}^0 = 78,44 < 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{up}^1 = 107,24 < 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{up}^2 = 96,85 < 355 \text{ MPa}$$

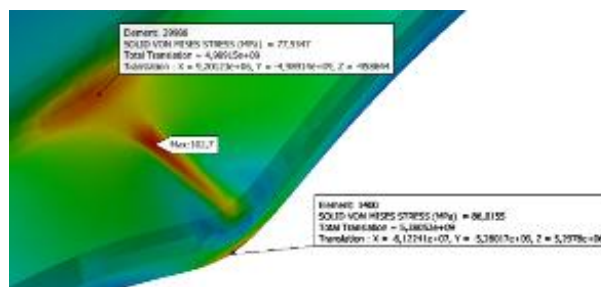
На основу оба урађена прорачуна (према SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6) може се констатовати да локални напони ма колико били мали у неким случајевима, када су напони услед глобалног савијања носача блиски граничним, могу нарушити стабилност главног носача тј. изазвати пластичну деформацију доње газеће стопе и тиме конструкцију учинити непримењивом. Стога је од велике важности, приликом пројектовања главних носача свих врста дизалица (једноредних, двогредних, мосних, конзолних, порталних и сл.) које као главне носаче имају неки од I-профила, да се изврши и провера локалног напрезања испод точкава колица.

6. ПРОРАЧУН ЛОКАЛНОГ НАПРЕЗАЊА ИСПОД ТОЧКОВА КОЛИЦА МЕТОДОМ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Прорачун локалног напрезања испод точкава колица методом коначних елемената је спроведен на два различита начина: 1 - анализа носача без точкава колица и 2 - анализа носача са точковима колица, како би се увидела разлика у анализи добијених решења. Улазни подаци за обе анализе су сила испод точка колица од 9.080 N и материјал главног носача S355.

6.1 Анализа носача без точкава колица

Код ове анализе за проверу локалног напрезања главног носача испод точкава колица методом коначних елемената искоришћен је стандардни 3Д модел IPN 240 профила. Вредности напона добијени на три карактеристична места приказани су на слици 7.



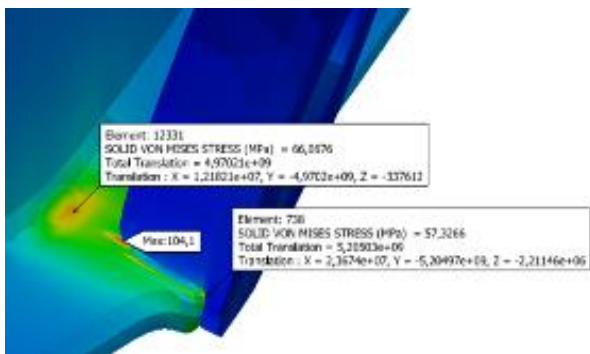
Слика 7. Упоредне вредности напона на три карактеристична места

На месту дејства силе у тачки 1 се јавља максимални напон који износи 102,7 MPa и он је за ≈ 5 MPa мањи од рачунског за ту тачку, на месту тачке 0 се јавља напон од 77,9 MPa који је за ≈ 1 MPa мањи од рачунског за ту тачку, а на месту тачке 2 се јавља напон који износи 86 MPa и који је за ≈ 10 MPa мањи

од рачунског за ту тачку. Овако добијени резултати су у великој мери блиски рачунским, што опрвдава примену методе коначних елемената.

6.1 Анализа носача са точковима колица

За ову анализу геометријске карактеристике главног носача су задржане као и у претходном случају, стим што су на доње стопе постављени точкови колица чије димензије одговарају стварним. Резултати напона добијени на три карактеристична места приказани су на слици 8.



Слика 8. Упоредне вредности напона на три карактеристична места

На месту тачке 1 се јавља максимални напон који износи 104,1 МПа и који је за ≈ 3 МПа мањи од рачунског за ту тачку, на месту тачке 0 се јавља напон интезитета 66 МПа који је за ≈ 12 МПа мањи од рачунског за ту тачку, док се на месту тачке 2 јавља напон интезитета 57 МПа који је за ≈ 40 МПа мањи од рачунског за ту тачку. Из наведеног се може закључити да напони добијени у тачкама 0 и 1 у великој мери одговарају рачунским, док се напон у тачки 2 драстично разликује од рачунске вредности, што може бити узрок неадекватног начина умрежавања коначних елемената на том месту. На основу анализе методом коначних елемената за оба случаја се може констатовати да су напони на местима тачке 1 (тачка дејства силе) и 0 (тачка на месту прелаза доње стопе и ребра) у великој мери блиски рачунским тј. да се разликују за $\approx 5\%$ и да су ти напони меродавни за анализу, док напони на местима тачке 2 због лошије карактеристике умрежавања коначних елемената (која је коришћена у овом раду) на тим местима нису меродавни за анализу.

7. ПОРЕЂЕЊЕ ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Главни задатак овог рада је поређење добијених резултата рачунском методом и методом коначних елемената са резултатима добијеним експерименталном анализом. У табели 2 су приказане вредности упоредних напона за тачке 0, 1 и 2 које су добијене рачунском методом (за оба стандарда SRPS С.В3.131 и SRPS EN 1993-6), методом коначних елемената и експерименталним мерењем. Из табеле се јасно види да вредности напона добијене експерименталним мерењем у тачки 2 знатно одступају од вредности добијених другачијим мерењем из разлога што се у

експерименту касније установило да точак не належе на адекватан начин на доњи појас I-профила, па се зато јављају овако велики локални напони на том месту.

Табела 2. Упоредни напони у карактеристичним тачкама при различитим мерењима

тачка	Вредности упоредног напона (МПа)			
	SRPS С.В3.131	SRPS EN 1993-6	МКЕ (без очка)	експеримент
0	122,8	78,44	77,9	119,4
1	178,1	107,24	102,7	169,7
2	101,8	96,85	86,01	253,47

8. ЗАКЉУЧАК

Високо квалитетни софтвери су омогућили да се уз примену методе коначних елемената могу пројектовати главни носачи једногредних дизалица са радним напонима веома блиским граничним, како би се у што већој мери смањила маса конструкције, а тиме и њена цена. Софтверске анализе у све већој мери замењују класичне рачунске, што доста олакшава и убрзава процес пројектовања у машиноградњи. Локални напони ма колико били мали у неким случајевима, када су напони услед глобалног савијања носача блиски граничним, могу нарушити стабилност главног носача тј. изазвати пластичну деформацију доње газеће стопе и тиме конструкцију учинити непримењивом. Зато је од велике важности, приликом пројектовања главних носача свих врста дизалица (једногредних, двогредних, мосних, конзолних, порталних и сл.) које као главне носаче имају неки од I-профила, да се изврши и провера локалног напрезања испод точкова колица.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Извод из стандарда SRPS С.В3.131.
- [2] Извод из стандарда SRPS EN 1993-6.
- [3] Р. Шостаков, А. Зелић: *Дизалице* (скрипта са практикумом), ФТН, Нови Сад, 2017.
- [4] В. Гашић: *Основе металних конструкција у машиноградњи (приручник)*, МФ, Београд, 2017.
- [5] З. Петковић, Д. Острић: *Металне конструкције у машиноградњи 1*, МФ, Београд, 1996.

Кратка биографија:



Славко Материј рођен је у Новом Саду 1996. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинство – Механизација и конструкционо машинство одбранио је 2023.год.
контакт:
1996slavko@gmail.com