

PRORAČUN INDEKSA POUZDANOSTI NA PRIMJERU NADSTREŠNICE ČELIČNE HALE, USPOREDBA PTP i EC-1 PROPISA ZA OPTEREĆENJE SNIJEGOM

CALCULATION INDEX OF RELIABILITY ON THE EXAMPLE OF THE SHED OF A STEEL HALL, COMPARATION OF PTP AND EC-1 REGULATIONS FOR SNOW LOAD

Hadžović Rašid¹
Redžić Vahid²
Redžić Nermin²

Stručni rad

¹University “Džemal
Bijedić” Civil Engineering
Faculty

²University of Zenica,
Polytechnic faculty

Ključne riječi: indeks
pouzdanosti, normirano
opterećenje snijegom,
karakteristično opterećenje
snijegom

Keywords:
reliability index,
standardized load, snow load,
characteristic snow load

Paper received:
13.09.2017.

Paper accepted:
05.12.2017.

REZIME

U radu izvršen je proračun čelične nadstrešnice u Drvaru u skladu sa važećim tehničkim propisima za snijeg iz 1961. godine i EC-1 propisima. Cilj ovog rada je probabilističkim postupkom provjeriti pouzdanost nosača, odnosno izvršiti kalibraciju čelične nadstrešnice proračunate klasičnim determinističkim postupkom. Statički sistem čelične nadstrešnice je prosta greda datog raspona, slika br.1. Čelični profili su valjani INP profili datih statističkih parametara. Međusobni razmak nosača iznosi $\lambda = 2,4$ m. Potrebno je proračunati indekse pouzdanosti u tački 1 (jer su tu mjerodavni statički uticaji i pomjeranja za oba granična stanja) u skladu sa jednačinama graničnih stanja.

Professional paper

SUMMARY

This paper deals with the resistance of the shed of a steel hall in Drvar according to technical regulations for snow from 1961 and EC1 regulations. The paper aims to check the reliability of the shed with probabilistic approach. That also implies calibration of the steel hall construction analyzed with classic deterministic method. Statical system of the shed of a steel hall is a beam with a given span, Figure 1. Steel sections are hot rolled INP sections with specified statistic parameters. The length of the beam span is $\lambda = 2,4$ m. The reliability indexes have to be analyzed in point 1 (relevant statical forces and displacements for ULS and SLS) and according to equations of limit states.

1. UVOD

U decembru 1999. i februaru 2012. godine usljed velikih padavina snijega značajan broj objekata doživio je manja ili veća oštećenja. Oštećenja su nastala na različitim vrstama nosača i materijala, ali su najčešće stradale čelične konstrukcije, za koje je snijeg dominantno opterećenje. Dosadašnje vjerovanje je da su proračunati objekti “apsolutno sigurni”, ukoliko se opterećenja pomnože sa globalnim koeficijentom sigurnosti, da naponi budu manji od dopuštenih, a da ugibi budu u dozvoljenim granicama. U današnje vrijeme se provode probabilistički proračuni postojećih objekata - kalibracija konstrukcija u cilju dobivanja indeksa pouzdanosti na osnovu kojeg se može donijeti zaključak o pouzdanosti postojećih konstrukcija u Bosni i Hercegovini.

1. INTRODUCTION

Due to extreme snowfall in December 1999 and in February 2012 significant number of objects suffered smaller or serious damage. The damage appeared on different kinds of girders and materials but mostly on steel structures because on those structures snow is the dominant load.

Analyzed objects are “absolutely safe” because the analyzed load values are multiplied by the safety coefficient so that the stress levels were under the allowed values and deflection values were within allowed limits. Nowadays existing objects are analyzed with probabilistic approach-calibration of constructions aimed to determine reliability index. The result is getting a conclusion of reliability of existing

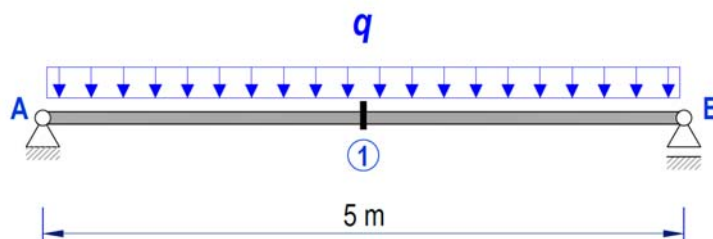
Primjerom proračuna čelične nadstrešnice u Drvaru će se bolje definisati razlika pouzdanosti konstrukcije na opterećenje snijegom dobiveno probabilističkim i determinističkim putem.

2. PRORAČUN ČELIČNE NADSTREŠNICE

2.1. Osnovni podaci za proračun čelične nadstrešnice

Izvršen je proračun čelične nadstrešnice u Drvaru u skladu sa važećim tehničkim propisima i prema EC-1 za povratni period od 30 godina. U skladu sa važećim tehničkim propisima opterećenje snijegom iznosi $0,75 \text{ kN/m}^2$ jer se Drvar nalazi na nadmorskoj visini od 485 m, što je manje od 500 m (propisana vrijednost).

Model nosive konstrukcije prikazan je na slici 1.



Slika 1. Model nosive konstrukcije s oznakama mjesta za proračun indeksa pouzdanosti
Figure 1. Model of the load-bearing structure with points relevant for calculation of reliability index

Ulazni podaci za čeličnu nadstrešnicu dati su u Tabeli 1.

Input data for steel structure is presented in Table 1:

Tabela 1. Ulazni podaci za čeličnu nadstrešnicu
Table 1. Input data for steel structure

Mjerno mjesto i nadmorska visina- Metrical location and elevation	Drvar, nadmorska visina 485 m-Drvar, elevation 485 m
Vrsta pokrova-Cover type	Lagani pokrov-Lightweight cover
Usvojeni profil-Selected section	INP 140
Raspon nosača-Girder span	$L=5,0 \text{ m}$
Nagib nosača-Girder incline	$\alpha = 8,53^\circ$
Period trajanja objekta- Duration of the construction	$T = 30 \text{ godina(years)}$
Razmak između rožnjača-Beam span	$\lambda = 2,4 \text{ m}$

Proračunato karakteristično opterećenje snijegom u skladu sa EC-1 za povratni period od 30 godina je $2,83 \text{ kN/m}^2$. Evidentna je razlika u opterećenju snijegom na istom mjestu za različite propise što može dovesti do ugrožavanja pouzdanosti konstrukcije. Dok

structures in Bosnia and Herzegovina. In the example of the shed of a steel hall in Drvar the difference between probabilistic and deterministic approach will be better defined.

2. STRUCTURAL ANALYSIS OF STEEL SHED

2.1. Basic data for analysis of the shed of a steel hall in Drvar

The structural analysis of steel shed in Drvar has to be done according to technical regulations for defining snow load and Eurocode 1 and for the return period of 30 years. According to technical regulations the snow load is $0,75 \text{ kN/m}^2$ because Drvar resides at 485 m above sea level and that is lower than 500 m (prescribed value).

Figure 1: model of the load-bearing structure.

normirano opterećenje snijegom iznosi 0,75 kN/m² (n.v. Drvara je 485 m, što je manje od 500 m).

Determined snow load come to 0,75 kN/m² (elevation of Drvar is 485 m which is less than 500 m).

2.2 .Analiza opterećenja na čeličnu nadstrešnicu

Stalno opterećenje:

- krovni panel Al-lim 2x1 poliuretan, kao ispuna 0,15 kN/m²
- spojnice i veze 0,05 kN/m²
0,20 kN/m²

na nosač nadstrešnice:

$$0,20 \cdot \lambda = 0,20 \cdot 2,40 = 0,48 \text{ kN/m}$$

- vlastita težina nosača (INP 140)
0,144 kN/m
g = 0,624 kN/m

2.2. Load analysis for steel shed in Drvar

Dead load:

- roof panel Al-sheet metal 2x1 polyurethane as fill material 0,15 kN/m²
- joints and connections 0,05 kN/m²
0,20 kN/m²

on the beam:

$$0,20 \cdot \lambda = 0,20 \cdot 2,40 = 0,48 \text{ kN/m}$$

- weight of the beam (INP 140)
0,144 kN/m
g = 0,624 kN/m

Opterećenje snijegom prema PTP na nadstrešnici

$$S_{\text{norm}} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \times 2,4 \text{ m} \times 0,8 = 1,44 \text{ kN/m}$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja za usvajanje profila:

$$q = 0,624 \text{ kN/m} + 1,44 \text{ kN/m} = 2,064 \text{ kN/m}$$

Opterećenje snijegom prema EC-1:

$$S_K = 2,83 \text{ kN/m}^2 \times 2,4 \text{ m} \times 0,8 = 5,43 \text{ kN/m}$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja:

$$q = 0,624 \text{ kN/m} + 5,43 \text{ kN/m} = 6,05 \text{ kN/m}$$

Snow load according to PTP on a shed:

$$S_{\text{det}} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \times 2,4 \text{ m} \times 0,8 = 1,44 \text{ kN/m}$$

Relevant load combination for choosing sections:

$$q = 0,624 \text{ kN/m} + 1,44 \text{ kN/m} = 2,064 \text{ kN/m}$$

Snow load according to EC-1:

$$S_K = 2,83 \text{ kN/m}^2 \times 2,4 \text{ m} \times 0,8 = 5,43 \text{ kN/m}$$

Relevant load combination:

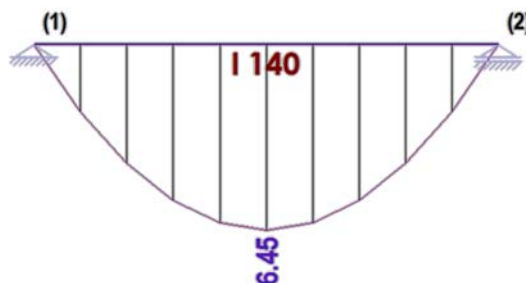
$$q = 0,624 \text{ kN/m} + 5,43 \text{ kN/m} = 6,05 \text{ kN/m}$$

2.3. Rezultati statičkog proračuna

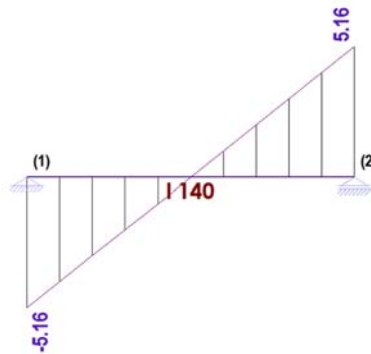
Na sljedećim slikama biće prikazani rezultati statičkog proračuna za opterećenje iz 2.2. Rezultati se odnose na momente savijanja, transverzalne sile, normalne napone, smičuće napone i ugibe. Za statičku analizu korišten je softverski paket Radimpex Tower 6.0.

2.3. Results of structural analysis

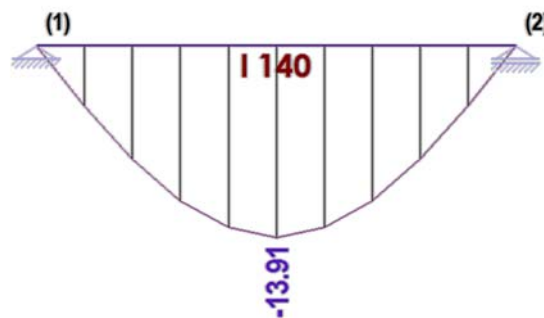
The results of structural analysis for load from 2.2. will be presented in the following Figures. Results refer to bending moment, shear force, normal stress, shear stress and deflections. Software package Radimpex Tower 6.0 is used for structural analysis.



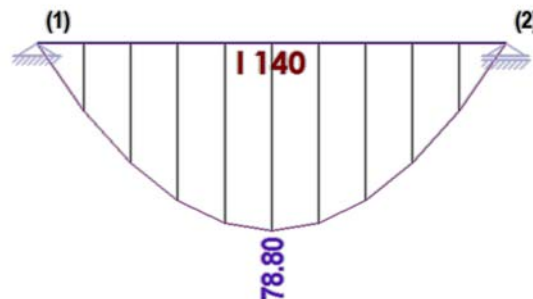
Slika 2. Dijagram momenata savijanja za mjerodavnu kombinaciju opterećenja (kNm)
Figure 2. Bending moment diagram for relevant load combination (kNm)



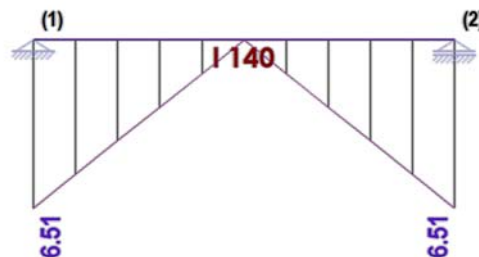
Slika 3. Dijagram transverzalnih sila za mjerodavnu kombinaciju opterećenja (kN)
Figure 3. Shear force diagram for relevant load combination (kN)



Slika 4. Dijagram ugiba za mjerodavnu kombinaciju opterećenja (mm)
Figure 4. Deflection diagram for relevant load combination (mm)



Slika 5. Dijagram normalnih napona za mjerodavnu kombinaciju opterećenja (MPa)
Figure 5. Normal stress diagram for relevant load combination (MPa)



Slika 6. Dijagram smičućih napona za mjerodavnu kombinaciju opterećenja (MPa)
Figure 6. Shear stress diagram for relevant load combination (MPa)

INP 140 $\rightarrow W_x = 81,9 \text{ [cm}^3\text{]}; I_x = 573 \text{ [cm}^4\text{]}; S_x = 47,7 \text{ [cm}^3\text{]};$

$s = 5,7 \text{ [mm]}; E = 210000 \text{ [MPa]}; A = 18,2 \text{ [cm}^2\text{]}; G = 0,143 \text{ [kN/m]}'$

dopušteni napon: $\sigma_{dop} = \sigma_F / \nu = 240 / 1,5 = 160 \text{ [MPa]}$

$\nu = 1,5$ - globalni koeficijent sigurnosti

Kontrola normalnih napona:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = 78,80 \text{ [MPa]} < \sigma_{dop} = 160 \text{ [MPa]}$$

Kontrola smičućih napona:

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_x}{s \cdot I_x} = 6,51 \text{ [MPa]} < \tau_{dop} = 90 \text{ [MPa]}$$

Kontrola ugiba:

$$v_{\max} = 1,3359 \text{ [cm]} < v_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{500}{200} = 2,5 \text{ [cm]}$$

USVOJEN PROFIL: INP 140!

2.4. Probabilistički proračun

U nastavku su proračunati indeksi pouzdanosti prema propisanom karakterističnom opterećenju snijegom prema EC-1 za Drvar na prethodno dimenzioniranoj konstrukciji u skladu sa PTP za cilj kalibracije konstrukcije.

INP 140 $\rightarrow W_x = 81,9 \text{ [cm}^3\text{]}; I_x = 573 \text{ [cm}^4\text{]}; S_x = 47,7 \text{ [cm}^3\text{]};$

$s = 5,7 \text{ [mm]}; E = 210000 \text{ [MPa]}; A = 18,2 \text{ [cm}^2\text{]}; G = 0,143 \text{ [kN/m]}'$

allowable stress: $\sigma_{all} = \sigma_F / \nu = 240 / 1,5 = 160 \text{ [MPa]}$

$\nu = 1,5$ - global safety coefficient

Normal stress check:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = 78,80 \text{ [MPa]} < \sigma_{all} = 160 \text{ [MPa]}$$

Shear stress check:

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_x}{s \cdot I_x} = 6,51 \text{ [MPa]} < \tau_{all} = 90 \text{ [MPa]}$$

Deflection check:

$$v_{\max} = 1,3359 \text{ [cm]} < v_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{500}{200} = 2,5 \text{ [cm]}$$

SELECTED SECTION: INP 140!

2.4. Probabilistic analysis

In the sequel the indexes of reliability will be calculated according to EC-1 for characteristic snow load in Drvar on previously designed construction according to PTP aiming to construction calibration.

Tabela 2. Bazne varijable otpornosti konstrukcije [1]

Table 2. Base variables of structure resistance [1]

BAZNE VARIJABLE OTPORNOSTI [X]				
Varijabla-Variable	Srednja vrijednost-Average value	ν	Raspodjela-Distribution	Opis bazne varijable-Description of base variable
X ₁	30,9 kN/cm ²	0,1	Weibull-ova (Weibull)	Granica popuštanja-Yield strength
X ₂	18,2 cm ²	0,05	Normalna-Normal	Površina poprečnog presjeka-Cross section area
X ₃	81,9 cm ³	0,05	Normalna-Normal	Moment otpora-Moment of resistance
X ₄	l/200 = 2,5 cm	0,1	Normalna-Normal	Limitirani pomak nosača-Limited displacement of girder

Proračunate vrijednosti indeksa pouzdanosti za povratni period od 30 godina [1]su:

$\beta_{norm} = 3,82$ za GSN (granično stanje nosivosti) 2.1.

$\beta_{norm} = 1,58$ za GSN (granično stanje upotrebljivosti) 2.2.

Proračun je izvršen metodom FORM – metoda pouzdanost prvog reda pomoću programskog paketa STRUREL (Comrel).

Calculated values of reliability index for return period of 30 years:

$\beta_{norm} = 3,82$ for ULS (ultimate limit state) 2.1.

$\beta_{norm} = 1,58$ za for SLS (serviceability limit state) 2.2.

In the analsis is used FORM method of reliability of first row using the software package STRUREL(Comrel).

Tabela 3. Bazne varijable dejstava na konstrukciju iz 2.2

Table 3. Base variables actions on structure from 2.2.

BAZNE VARIJABLE DEJSTVA [Y]-BASE VARIABLES OF ACTIONS				
Varijabla-Variable	Srednja vrijednost-Average value	V	Raspodjela-Distribution	Opis bazne varijable-Description of base variable
Y ₁	0,624 kN/m	0,05	Normalna-Normal	Stalno dejstvo-Dead load
Y ₂	S ₁ ,S ₂	V ₁ ,V ₂	Gumbel	Dejstvo snijega-Snow load

Tabela 4. Proračunate vrijednosti indeksa pouzdanosti β za opterećenje snijegom prema PTP

Table 4. Calculated values of reliability index β for determined load

TAČKE NA KONSTRUKCIJI-POINTS ON CONSTRUCTION		Vrijednost indeksa pouzdanosti β - Value of reliability index obtained from the regulated snow	
Granično stanje nosivosti – GSN Ultimate limit state - ULS	1	6,49	
Granično stanje upotrebljivosti – GSU Serviceability limit state - SLS	1	1,65	

Tabela 5. Proračunate vrijednosti indeksa pouzdanosti β za opterećenje snijegom prema EC-1

(**bold** označene vrijednosti su manje od preporučenih vrijednosti iz Eurocode-a 1)

Table 5. Calculated values od reliability index for snow load according to EC-1

(**bold** marked values are lower from recommended values in Eurocode 1

TAČKE NA KONSTRUKCIJI-POINTS ON CONSTRUCTION		Vrijednost indeksa pouzdanosti β - Value of reliability index obtained from the regulated snow load	
Granično stanje nosivosti - GSN Ultimate limit state - ULS	1	1,76	
Granično stanje upotrebljivosti - GSU Serviceability limit state - SLS	1	-2,34	

U tabelama br. 4. i br. 5. su date vrijednosti proračunatih indeksa pouzdanosti za obje vrste opterećenja. Iz tabele br.4 proračunate vrijednosti indeksa pouzdanosti su veće od vrijednosti 2.1. za GSN i 2.2. za GSU, što znači da je konstrukcija sigurna.

In Tables 4 and 5 are given values of reliability indexes for both snow loads.

It is visible from the Table 4 that the reliability indexes for certain points on construction are higher from those recommended for ULS and SLS which means that the construction is safe.

Iz tabele br. 5. evidentno je da su vrijednosti β manje od vrijednosti 2.1. za GSN i 2.2. za GSU, što znači da je ugrožena sigurnost konstrukcije.

Prema tome postoji potreba da se čelični profili povećaju, jer karakteristično opterećenje snijegom je veće od normiranog i objekat je doveden u opasnost od kolapsa.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobivenih rezultata urađenog primjera može se konstatirati sljedeće:

- prema važećim propisima, opterećenje snijegom ne zavisi od klase građevine i tipa konstrukcije,
- za čelične konstrukcije, opterećenje snijegom je dominantno opterećenje,
- određivanje opterećenja snijegom u privremeno korištenim tehničkim propisima je nedovoljno,
- karakteristično opterećenje snijegom se proračunava za povratni period objekta koje se može pojaviti tokom trajanja objekta,
- proračunom je utvrđeno da su vrijednosti β prema EC-1 manje od vrijednosti β prema PTP, te da ne zadovoljavaju pogledu sigurnosti prema preporukama Eurocode-a 1,

Da bi u budućnosti izbjegli urušavanje objekata potrebno je izvršiti ujednačavanje vrijednosti indeksa pouzdanosti, odnosno stepena sigurnosti na cijeloj teritoriji Bosne i Hercegovine, tako da je ista konstrukcija u svakom dijelu Bosne i Hercegovine jednako sigurna bez obzira na nadmorsku visinu, opterećenje snijegom, snježnu zonu.

Uskoro će biti na snazi novi tehnički propisi za određivanje i upotrebu karakterističnog opterećenja u Bosni i Hercegovini BAS EN 1991-1-3:2015, kao dio Eurocode 1, koji će omogućiti ostvarivanje ujednačenijih stepena sigurnosti, a time i optimalniju gradnju građevina.

4. REFERENCES – LITERATURA

- [1] R. Hadžović, B. Peroš: „*Pouzdanost konstrukcija dominantno opterećenih snijegom u Bosni i Hercegovini*“, Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić u Mostaru, 2016.,

From the Table 5 it is evident that the reliability indexes are lower from those values for ULS and SLS which means that the safety of construction is in danger. Based on that it can be concluded that there is a need for increasing steel sections because the characteristic snow load is higher from determined and our structure is in danger of collapse.

3. CONCLUSION

Based on the results of this example the following can be concluded:

- according to valid regulations, snow load does not depend on the structure class and structure type,
- snow load is the dominant load for steel structures,
- defining snow load from temporary technical regulations is not enough,
- characteristic snow load is calculated for return period of the object and it can appear during the lifetime of the object,
- it is determined that the reliability index value β according to EC-1 is lower than the value of β according to PTP. That does not satisfy safety according to Eurocode 1 recommendation.

To avoid collapsing structures in the future equalizing of reliability index has to be done and therefore safety level will be equalized on the territory of Bosnia and Herzegovina. Under these circumstances every structure in every part of the country is equally safe independently of the elevation, snow load and snow zone.

New technical regulations will be used soon for defining and using characteristic load in Bosnia and Herzegovina BAS EN 1991-1-3:2015 as a part of Eurocode 1. That will enable achieving uniformed safety levels and according to that, optimized building constructions.

- [2] K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović: „*Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom*“ - naučni rad, Građevinar 53 (2001) 6, 363 – 378.
- [3] Evropski standard, Eurocode 1, EN 1991-1-3.: “*Dejstva na konstrukcije Dio 1-3 Opterećenje snijegom*“ – knjiga propisa,

- [4] D. Lončarić: „Metalne konstrukcije 1“, Eurocode, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2007.,
- [5] B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba: „Metalne konstrukcije 1“, Sveučilište u Zagrebu, „A. G. Matoš“ d.d. Samobor, 1994.,
- [6] B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba: „Metalne konstrukcije 3“, Sveučilište u Zagrebu, 1998.,
- [7] B. Peroš, R. Hadžović: „Analiza pouzdanosti čeličnih konstrukcija za slučaj ekstremnog opterećenja snijega u Kantonu Sarajevo“ - stručni rad, Bihać – RIM 2003.
- [8] STRUREL - A Structural Reliability Analysis Program System, RCP Consult, 1996.
- [9] R. Hadžović, B. Peroš: „Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom u Bosni i Hercegovini prema Eurocode-u“, Internacionalni naučno-stručni skup “Građevinarstvo – nauka i praksa”, GNP 2006, Žabljak, Crna Gora
- [10] R. Hadžović: „Određivanje sigurnosti nosivih konstrukcija za karakteristično opterećenje snijegom u Bosni i Hercegovini“, magistarski rad odbranjen 28.06.2004., Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
- [11] V. Milčić, B. Peroš: „Uvod u teoriju sigurnosti nosivih konstrukcija“, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2003,
- [12] R. Hadžović, B. Peroš, Ž. Džubur, M. Muratović, M. Šahinagić-Isović: „Određivanje pouzdanosti čeličnih rožnjača opterećenih snijegom u Bosni i Hercegovini“, Internacionalni naučno-stručni skup “Građevinarstvo – nauka i praksa”, GNP 2012, Žabljak, Crna Gora

Corresponding author's:**Rašid Hadžović¹****Vahid Redžić²****Nermin Redžić³****¹University “Džemal Bijedić” Civil Engineering Faculty****^{2,3}University of Zenica, Polytechnic Faculty****Fakultetska 1****72000 Zenica****¹e-mail: rasid.hadzovic@unmo.ba****²e-mail: vahid.redzic@ptf.unze.ba****³e-mail: nermin.redzic@ptf.unze.ba****¹tel.: +387 62 490 048****²tel.: +387 62 157 879****³tel.: +387 61 699 940**