

# EKSPERIMENTALNA ANALIZA IZVIJANJA PLASTIČNIH KONTEJNERA

## EXPERIMENTAL BUCKLING ANALYSIS OF PLASTIC CONTAINERS

*Stručni rad*

**Damir Hodžić,**  
**Atif Hodžić,**  
**Fadil Islamović**

University of Bihać, Faculty  
of Technical Engineering

**Ključne riječi:**  
plastični kontejner,  
eksperiment, izvijanje,  
stranica kontejnera,  
polipropilen

**Keywords:**  
plastic container, experiment,  
buckling, container side,  
polypropylene

**Paper received:**  
09.01.2018.

**Paper accepted:**  
19.03.2018.

### REZIME

*U radu je izvršena analiza ponašanja plastičnog kontejnera prilikom izvijanja, odnosno prilikom djelovanja tereta na stranice kontejnera. Analiza je urađena eksperimentalno na više različitih tipova kontejnera. Materijal kontejnera je polipropilen. Eksperimentalno određivanje sile pritiska i odgovarajuće deformacije odrađeno je u laboratoriji Tehničkog fakulteta Bihać. Analiza podrazumjeva eksperimentalno ispitivanje na sklopljenim kontejnerima te samo na stranicama. Prikazana su mjesta na kojima dolazi do deformacije stranice opterećenog kontejnera.*

*Professional paper*

### SUMMARY

*The paper analyzes the behavior of the plastic container during the buckling, ie during the load effect on the containers. The analysis was experimentally performed on several different types of containers. The container material is polypropylene. Experimental determination of pressure force and corresponding deformation was performed in the laboratory at the Faculty of Technical Engineering Bihać. The analysis includes experimental testing on assembled containers and on container side. Places where deformation occurs on the container sides are shown.*

### 1. UVOD

U ovom radu prikazana će biti eksperimentalna analiza karakteristika izvijanja plastičnog kontejnera. Prikazano će biti kakva geometrija kontejnera može primiti najveće opterećenje na sebe.

Plastični kontejneri koriste se u različite namjene za odlaganje hrane ili nekih drugih proizvoda. Idealan je za automatizirane sisteme sa konzistentnim dimenzijama i težinom. Dizajniran je poput gnijezda što omogućuje uštede u prevozu i skladištenju. Izrađene su na higijenski visokom nivou, ne apsorbiraju vlagu i pogodne su za skladištenje pakirane hrane [1].

U praktičnoj primjeni kontejneri se slažu jedan na drugi tako da onaj kontejner koji se nalazi na samom dnu na sebe prima najveća opterećenja. Nepoželjna pojava je gubitak stabilnosti na stranicama kontejnera. To se može izbjeći takvom geometrijom stranice kontejnera koja će omogućiti da se plastična deformacija materijala desi prije pojave izvijanja [2].

### 1. INTRODUCTION

In this paper experimental analysis of the characteristics of buckling of a plastic container will be presented. It will be shown which container geometry can withstand the highest load.

Plastic containers are used for various purposes for food storage or some other products. Ideal for automated systems with consistent dimensions and weight. It is designed like a nest that allows you to save on transport and storage. They are made at a high hygienic level, do not absorb moisture and are suitable for storage of packaged food [1].

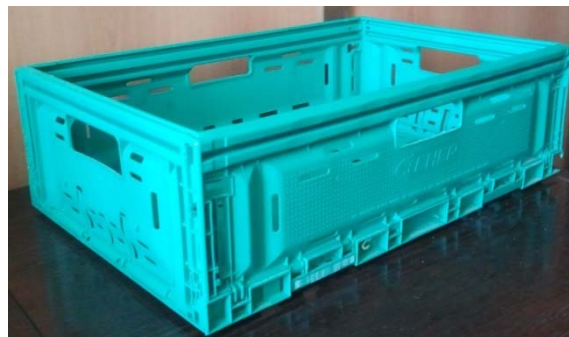
In practical applications the containers are aligned to each other so that the container at the bottom of the table withstands the highest loads. An unwanted occurrence is the loss of stability on the container sides. This can be avoided by such a container side geometry that will allow the plastic deformation of the material to occur before the buckling [2].

## 2. MATERIJAL KONTEJNERA

Materijal kontejnera koji se analiziraju u ovom radu je polipropilen. Polipropilen spada u grupu termoplastičnih masa ili plastomera. Polipropilen je jedan od najlakših polimernih materijala sa gustoćom od 0,90 do 0,91 g/cm<sup>3</sup>. Visoko talište omogućuje upotrebu polipropilena u relativno širokom temperaturnom području. Tako je talište čistog izotaktičnog polipropilena 176°C, dok se tehnički polipropilen tali u temperaturnom području između 160 i 170°C. Srednja molekulska masa standardnih tipova polipropilena iznosi od 200 000 do 500 000.

Sa porastom molekulske mase i sa povećanim udjelom ataktične strukture smanjuje se tvrdoća, vlačna čvrstoća, gustoća, krutost, postojanost izmjera i tečljivost taline polipropilena. Važna je i raspodjela molekulskih masa, pa se tako tečljivost taline povećava s većim udjelom nižih molekulskih masa, ali istodobno opada udarna žilavost materijala. Polipropilen se odlikuje dobrom uravnoteženošću svojih mehaničkih, toplinskih i električnih svojstava [3].

Na slici 1 prikazan je sklopljeni plastični kontejner od polipropilena koji je analiziran u ovom radu.



*Slika 1. Sklopljen plastični kontejner*

*Figure 1. Assembled plastic container*

## 3. MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MATERIJALA

Mehaničke karakteristike materijala kontejnera ispitivane su u laboratoriji Tehničkog fakulteta Bihać. Analizirano je više tipova kontejnera i to na način da je određen napon tečenja, zatezna čvrstoća, modul elastičnosti, Poasonov koeficijent i izduženje.

## 2. MATERIAL OF CONTAINER

The container material analyzed in this paper is polypropylene. Polypropylene belongs to a group of thermoplastic masses or plastomers. Polypropylene is one of the lightest polymeric materials with a density of 0.90 to 0.91 g / cm<sup>3</sup>. High melting point allows the use of polypropylene in a relatively wide temperature range. Thus, the melting point of pure isotactic polypropylene is 176°C, while the technical polypropylene melts in the temperature range is between 160 and 170°C. The average molecular mass of standard types of polypropylene ranges from 200,000 to 500,000. With the increase in molecular weight and with the increased proportion of the atactic structure, the hardness, tensile densities, density, stiffness, stability of the measurement and the flowability of the polypropylene melt decreases. Also important is the distribution of molecular mass, so that the melt flowability increases with a higher proportion of lower molecular mass, but at the same time the impact strength of the material decreases. Polypropylene is characterized by a good balance of its mechanical, thermal and electrical properties [3].

Figure 1 shows the polypropylene plastic container that is analyzed in this paper.

## 3. MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MATERIAL

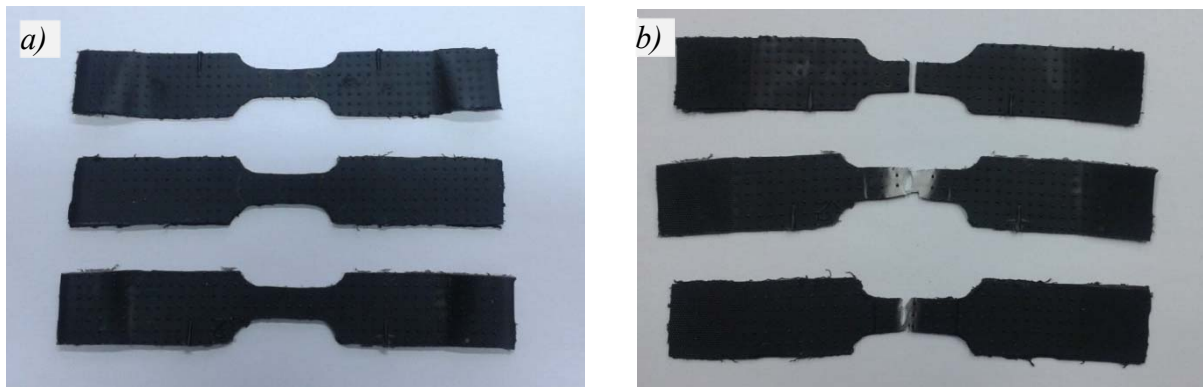
The mechanical characteristics of container materials were examined in the laboratories of the Faculty of Technical Engineering Bihać. Various types of containers were tested, in such a way as to determine the flow rate, tensile strength, modulus of elasticity, Poisson's coefficient and elongation.



**Slika 2.** Stranica kontejnera oznake K2  
**Figure 2.** Sides of container marked as K2

Stranica kontejnera prikazana na slici 2 je izrezana na različitim mjestima odnosno regionima, zavisno od oblika i krutosti regiona. U laboratoriji Tehničkog fakulteta Bihać ispitivanja su izvršena na mašini kidalici Shimadzu AG-X plus. Na slici 3 prikazane su epruvete prije i nakon kidanja [4].

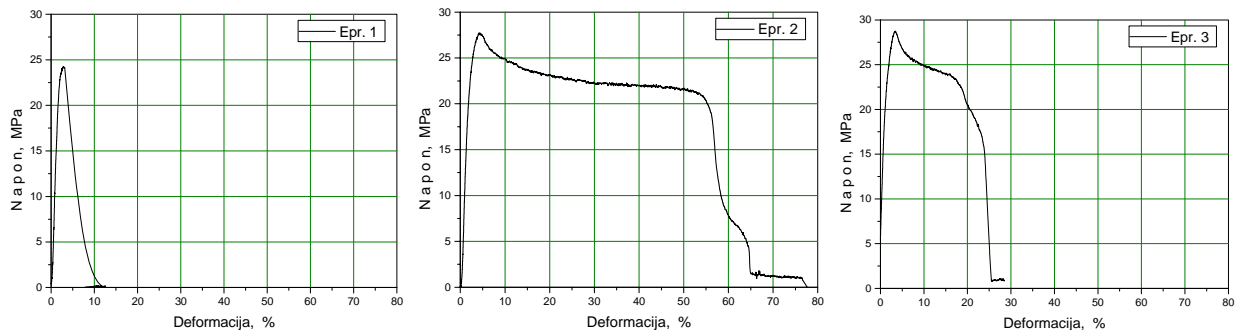
The side of the container shown in the Figure 2 is cut in different places or regions, depending on the shape and rigidity of the region. In the laboratory of the Faculty of Technical Engineering Bihać tests were carried out on a Shimadzu AG-X plus testing machine. Figure 3 shows specimens before and after testing [4].



**Slika 3.** Epruvete a) prije kidanja i b) nakon kidanja  
**Figure 3.** Specimen a) before testing b) after testing

Pomoću instaliranog softvera Trapezium-X dobiveni su dijagrami koji prikazuju zavisnost napona i deformacije uzorka. Dijagrami su prikazani na slici 4.

Trapezium-X software installed provides diagrams showing the stress strain relationship of the sample. The diagrams are shown in the Figure 4.



**Slika 4.** Dijagrami napon-deformacija na epruvetama sa slike 3  
**Figure 4.** Stress-strain diagram for test specimens from Figure 3

Na osnovu dijagrama sa slike 4 dobiju se pomoću softvera karakteristike materijala prikazane u slijedećoj tabeli.

Based on the diagram of Figure 4, the characteristics of the material shown in the following table are obtained automatically by software.

**Tabela 1.** Osnovne karakteristike materijala

**Table 1.** Main material characteristics

Oznaka uzorka (Specimen number)	Napon tečenja (Yield Stress) MPa	Zatezna čvrstoća (Tensile strength) MPa	Modul elastičnosti (Modulus of elasticity) MPa	Poasonov koeficijent (Poissons's coefficient) $\nu$	Izduženje (Elongation) $\epsilon$ , %
Epr. 1	20,6	24,3	1650,5	0,271	7,83
Epr. 2	19,9	27,8	1579,1	0,286	68,51
Epr. 3	20,4	28,8	1601,5	0,307	25,44

#### 4. EKSPERIMENTALNA ANALIZA PLASTIČNOG KONTEJNERA

Eksperimentalno istraživanje karakteristika plastičnog kontejnera urađeno je u laboratoriji Tehničkog fakulteta Bihać na univerzalnoj mašini na ispitivanje Zwick Roell Z600. Obrada podataka radi se na softveru firme Zwick pod nazivom TestXpert II V3.6, kompatibilnim sa navedenom mašinom [4].

Prva ispitivanja urađena su na cijelim kontejnerima, i to na tri različita kontejnera. Da bi se opterećenje rasporedilo ravnomjerno po stranicama kontejnera urađena je „sendvič“ ploča sastavljena od dva čelična lima debljine 4 [mm], između kojih su zavareni L profili 50x50 [mm] i debljine 4 [mm] te ukrućeni sa kvadratnom cijevi 50 [mm] i debljine 4 [mm] po sredini, između limova. Ista takva „sendvič“ ploča postavljena je ispod kontejnera.

#### 4. EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PLASTIC CONTAINER

Experimental analysis of plastic container characteristics was carried out in the laboratory of the Faculty of Technical Engineering Bihać on a universal machine for testing Zwick Roell Z600. Data processing is based on Zwick's software called TestXpert II V3.6, compatible with the specified machine [4].

The first tests were carried out on folded containers, on three different containers. In order to achieve equal load across the sides of the container, a "sandwich" plate was made of two steel sheets of thickness 4 [mm], between which L profiles 50x50 [mm] and thickness 4 [mm] were welded and square tubes 50 [mm] and thicknesses 4 [mm] in the middle, between the plates. The same "sandwich" plate is placed below the container.



**Slika 5.** Kontejner tipa T1 a) prije deformacije b) nakon deformacije

**Figure 5.** Container T1 a) before deformation b) after deformation

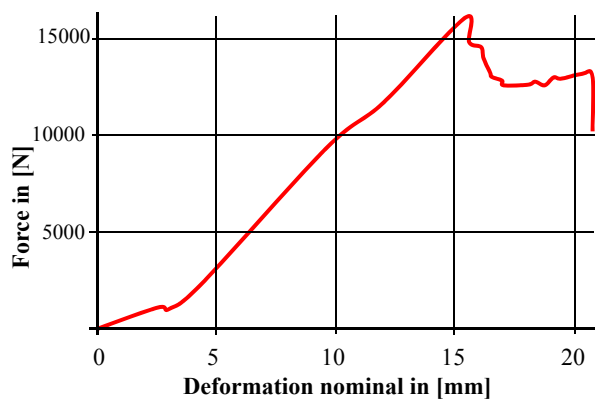
Na kontejneru se mjeri sila, vertikalna deformacija gornje ivice i horizontalna deformacija stranice.

On the container is measured force, vertical deformation of the upper edge and horizontal deformation of the side.

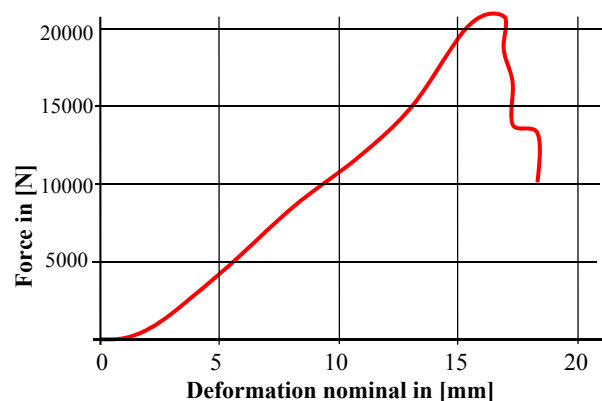
Sila i vertikalna deformacija se direktno očitavaju na softveru i dobija se odgovarajući dijagram a horizontalna deformacija stranice mjeri se pomoću komparatera koji je pričvršćen za donju ploču i naslonjen na dužu stranicu kontejnera. Očitavanje sa komparatera vrši se snimanjem pomjeranja pomoću kamere.

Podaci dobiveni sa univerzalne mašine za ispitivanje pokazali su da do izvijanja stranice kontejnera tipa T1 došlo je pri vrijednosti sile od 10,9 [kN]. Horizontalno pomjeranje duže stranice kontejnera desilo se na unutrašnju stranu kontejnera. Progib je iznosio blizu 4 [mm] da bi nakon porasta sile naglo i porastao dok nije došlo do pucanja stranice kontejnera.

Za tip kontejnera T1 urađena su dva eksperimenta (slika 6) pod istim uvjetima te dijagrami zavisnosti sile i deformacije prikazani na slici 6.



Force and vertical deformation are read directly on the software and an appropriate diagram is obtained, and the horizontal side deformation is measured by a comparator attached to the lower panel and leaning back to the longer side of the container. The reading from the comparator is performed by the camera. Data obtained from the testing machine shows that for the T1 type container buckling has occurred at a force value of 10.9 [kN]. Horizontal displacement of the long side of the container occurred on the innered side of container. The deflection was close to 4 [mm] so that it would suddenly rise after rising force, until there was a crash on the sides of the container. Two types of experiments were carried out for the T1 container type (Figure 6) under the same conditions and relationship between force and deformation is presented in Figure 6.



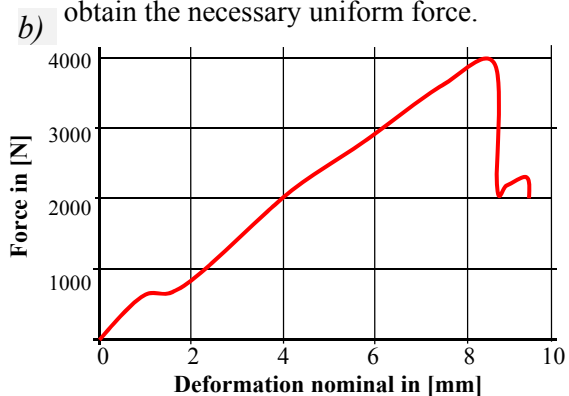
*Slika 6. Dijagram sila-deformacija kod dva testiranja stranice T1*

*Figure 6. Force-deformation diagram by two testing of T1 container side*

U sklopu eksperimentalnog ispitivanja također je pritisnuta samo jedna stranica kontejnera za koju svrhu je urađen poseban pristroj (slika 7). Na postolju koje je identično postolju kod pritiskanja cijelog kontejnera urađen je žlijeb u koji se pričvrsti stranica a sa gornje strane se ivica stranice pritišće preko U-profila čime se dobija potrebna ravnomjerna sila.



As part of the experimental test, only one side of the container has been loaded for which a special tool was made (Figure 7). On the substrate that is identical to the pressing of the entire container, the groove is attached to the side and the edge of the web is compressed through the U-profile to obtain the necessary uniform force.



*Slika 7. a) Izvijanje stranice T1 i b) dijagram sila-deformacija*

*Figure 7. a) T1 side buckling and b) force-deformation diagram*



Kod ovog tipa stranice došlo je do plastičnog tečenja materijala na mjestima koji su prikazani na slijedećoj slici.

This container side geometry has resulted in plastic deformation of material at the locations shown in the following illustration.



**Slika 8.** Pozicije na stranici na kojima je došlo do plastične deformacije materijala  
**Figure 8.** Places on the container side with the plastic deformation of material

Rezultati pritiskanja stranica zavisi su od oblika stranice. Treći oblik plastičnog kontejnera koji je analiziran je K2 čije pritiskanje stranice je prikazano na slici 9.

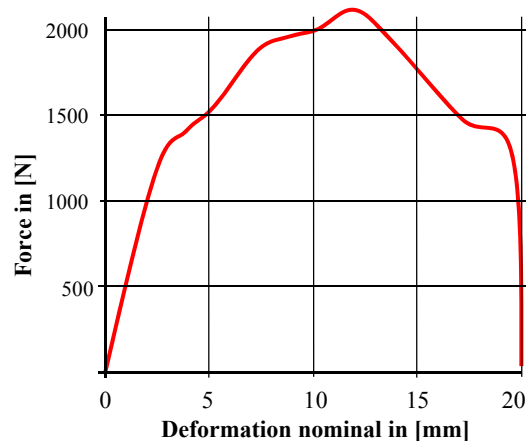
The output results depend on the container side geometry form. The third container geometry which was analyzed is K2 and its pressing was shown in Figure 9.



**Slika 9.** a) Priprema stranice K2 za pritiskanje b) izgled stranice nakon deformacije  
**Figure 9.** a) Preparing page K2 for pressing b) appearance after deformation

Odgovarajući dijagram sila-deformacija za tip kontejnera K2 prikazan je na slici 10.

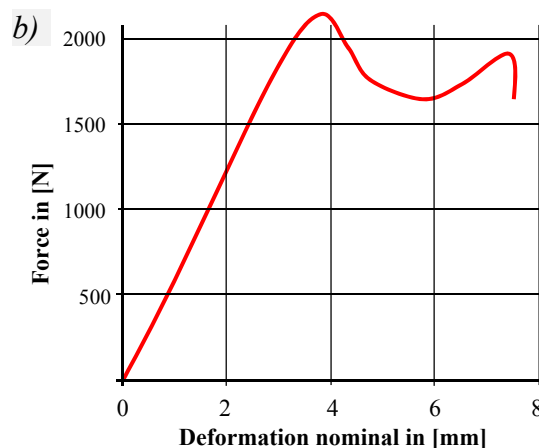
The corresponding force-deformation diagram for container type K2 is shown in Figure 10.



**Slika 10.** Dijagram sila-pomjeranje kod stranice kontejnera K2  
**Figure 10.** Force-deformation diagram for container side K2

Treći oblik stranice za koji je urađen eksperimentalni dio je tip K1 (slika 11).

The third form of the container for which the experimental part was made is K1 (Figure 11).



**Slika 11.** a) Priprema stranice K1 za pritiskanje b) dijagram sila-pomjeranje  
**Figure 11.** a) Preparing page K1 for pressing b) force-deformation diagram

Postoji značajan broj različitih tipova plastičnih kontejnera u zavisnosti od geometrije stranice ali su u ovom radu prikazana samo tri takva primjera.

Numerička analiza sličnih kontejnera data je u [5] i može se reći da za prikazane kontejnere je podudarnost numeričkih i eksperimentalnih podataka značajna.

There are a significant number of different types of plastic containers depending on the geometry of the page but only three such examples are shown in this paper.

Numerical analysis of similar containers is given in [5] and it can be said that for the analyzed containers the correspondence of numeric and experimental data is significant.

## 5. ZAKLJUČAK

Eksperimentalnom analizom željelo se pokazati sa kolikim vrijednostima sile se može opteretiti plastični kontejner. Ovaj podatak nam je bitan da bi se spriječio otkaz stabilnosti konstrukcije što u našem slučaju predstavlja stabilnost kontejnera koji se nalazi na dnu a na kojeg su postavljeni ostali kontejneri napunjeni proizvodima. Eksperimentalna analiza urađena je posebno na kontejneru a posebno na stranicama kontejnera. Iz podataka koji su dobiveni sa univerzlane mašine za testiranje Zwick Roell Z600 može se zaključiti da prikazani kontejneri mogu na sebe primiti silu od približno 10 [kN] prije nego što dođe to takve deformacije da se ne može osigurati stabilnost konstrukcije. Upoređivanjem rezultata eksperimenta sa numeričkom analizom sličnih kontejnera prikazanim u [5] može se zaključiti da numerička i eksperimentalna analiza imaju visok nivo korelacije.

## 5. CONCLUSION

By experimental analysis it was intention to show how much of the force can be burdened with a plastic container. This data is important to prevent the failure of the stability of the structure, which in our case is the stability of the container at the bottom on whom other containers filled with products are placed. The experimental analysis was carried out especially on the container, especially on the container sides. From data obtained from universal testing machine Zwick Roell Z600 it can be concluded that the analyzed containers may receive a force of about 10 [kN] on themselves before such deformations occur that structural stability cannot be ensured. By comparing the experimental results with the numerical analysis of similar containers shown in [5] it can be concluded that the numerical and experimental analysis have high degree of correlation.

**7. LITERATURA**

- [1] <http://global.chep.com/containers/>
- [2] Hodžić D., Maneski T., Rošić H.: *Primjena metode konačnih elemenata u analizi opterećenja plastične preklopive ambalaže*, 9. Međunarodna naučna konferencija o proizvodnom inženjerstvu RIM 2013, Budva
- [3] Haračić N.: *Inženjerski metalni nemetalni materijali*
- [4] Hodžić D.: *Numeričko eksperimentalna analiza izvijanja plastične preklopive ambalaže*, doktorska disertacija, Tehnički fakultet Bihać, novembar 2016. <http://global.chep.com/containers/>
- [5] Čelović Š., Tipsarević M., Maneski T., Vuherer T., Kozak D.: *Numerical-experimental analysis of the foldable container strength*, Tehnički vjesnik 22, 6 (2015), 1527-1532

**Corresponding author:**  
**Damir Hodžić**  
**University of Bihać,**  
**Faculty of Technical Engineering**  
**Email: damir.hodzic@unbi.ba**  
**Phone: +387 37 226 273**