

## PRIMJENA METODE KONAČNIH ELEMENATA U ANALIZI OPTEREĆENJA PLASTIČNE PREKLOPIVE AMBALAŽE

Damir Hodžić<sup>1</sup>, Taško Maneski<sup>2</sup>, Husein Rošić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, [hodzicdamir@yahoo.com](mailto:hodzicdamir@yahoo.com)

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd, [tmaneski@mas.bg.ac.rs](mailto:tmaneski@mas.bg.ac.rs)

**Ključne riječi:** MKE, plastična preklompiva ambalaža, softver, model, izvijanje

### **SAŽETAK:**

*U ovom radu prikazana je numerička analiza opterećenja plastične preklompive ambalaže pomoću metode konačnih elemenata. Prikazani su osnovni principi na kojima počiva metoda konačnih elemenata te prikazana plastična preklompiva ambalaža koja se analizira u ovom slučaju. Za obradu podataka pomoću metode konačnih elemenata korišten je softver Komips koji je razvijen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu od jednog od autora ovog rada. Osnovni cilj ovog istraživanja je da se pokaže da li plastična deformacija ambalaže nastaje prije ili poslije izvijanja. Rezultati numeričke analize trebali bi kasnije biti potvrđeni i prilikom eksperimentalnog istraživanja.*

### **1. UVOD**

Ovo istraživanje bazira se na analizi geometrije plastične preklompive ambalaže (kontejnera) odnosno pronalaženja najoptimalnijeg oblika i geometrije stranica kontejnera s obzirom na opterećenja koja nastaju. Ovi kontejneri se obično slažu jedan na drugi a ako uzmemo u obzir i činjenicu da su napunjeni određenim materijalom onda opterećenje na jednom kontejneru može biti relativno veliko. Istraživanje se izvodi numeričkim i eksperimentalnim putem stoga da ćemo se u ovom radu bazirati samo na numeričku analizu koja u ovom slučaju prethodi eksperimentu.

Numerička metoda treba nam pokazati kolika će vertikalna i horizontalna deformacija stranice kontejnera biti prilikom opterećenja te na osnovu statičke i dinamičke analize potrebno je odrediti da li će se plastična deformacija plastičnog kontejnera desiti prije ili poslije izvijanja stranice.

Preklompivi plastični kontejneri imaju različite tipove geometrije stranica odnosno različita orebravanja što utiče na krutost samog kontejnera. Pri samoj numeričkoj analizi postoje određeni problemi zbog anizotropnosti geometrije stranice kontejnera.

Osnovni problem dijagnostike ponašanja kontejnera predstavlja nemogućnost dosljednog računarskog modeliranja veza. Svaka veza ne nosi opterećenje na isti način u oba smjera istog pravca. Slijedeći problem predstavlja nemogućnost prenosa opterećenja sa jedne površine na površine dva pokretna elementa (realna greška izrade i montaže). Takođe, sve veze je neophodno maksimalno rasteretiti.

Da bi se umanjio uticaj prethodno navedenih problema potrebno je

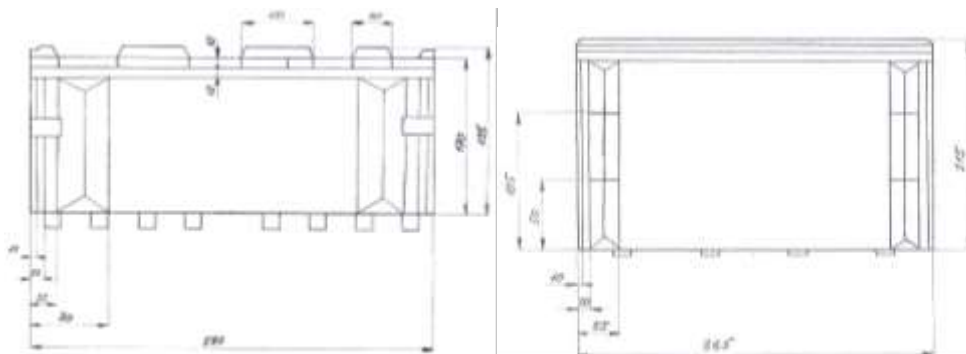
- povećati krutosti elemenata kontejnera putem redizajniranja geometrije,
- povećati krutosti veza i oslonaca,
- donje veze treba dizajnirati tako da mogu primiti minimalno vertikalno i horizontalno opterećenje,
- elemente veze i oslonaca izvesti pomoću jačih materijala,

- pretvaranje pokretne veze u privremenu montažnu nepokretnu vezu,
- geometrijom osigurati da vertikalno opterećenje djeluje samo kroz četiri stuba u četiri oslonca.

## 2. PLASTIČNA PREKLOPIVA AMBALAŽA (KONTEJNERI)

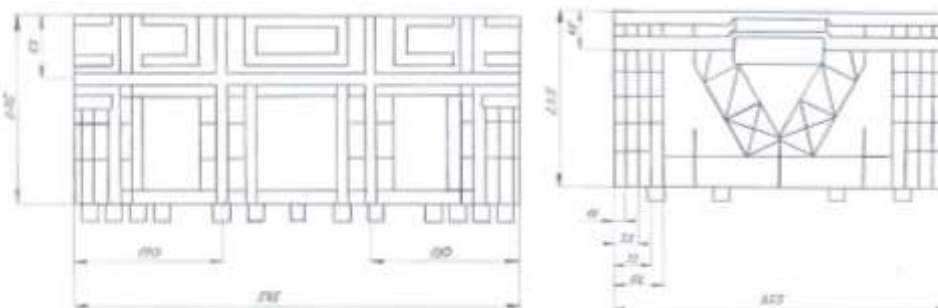
Plastična preklopiva ambalaža koja se koristi u ovom istraživanju je ambalaža koja se vrlo lako može naći na tržištu i u svakodnevnoj upotrebi. Koristi se za pohranjivanje raznih vrsta proizvoda, od hrane do nekih industrijskih proizvoda. Autori u toku cjelokupnog istraživanja koriste šest različitih tipova kontejnera posebnih gabaritnih dimenzija te geometrije stranica.

U ovom radu prikazat ćemo dva primjera plastične preklopive ambalaže koju možemo vidjeti na slikama 1 i 2, kao i osnovne dimenzije kraće i duže stranice. Osnovna razlika, osim u samim gabaritnim dimenzijama, je u postavljanju većeg broja rebara u vertikalnom pravcu čime se povećava krutost kontejnera.



Slika 1. Primjer kontejnera gabaritnih dimenzija 600x400x220 sa osnovnim geometrijskim dimenzijama kraće i duže stranice

Savijanje stranice se najefikasnije savladava ukoliko poprečni presek stranice posjeduje maksimalni moment inercije. On se može obezbjediti samo ukoliko postoje dvije ploče na određenom rastojanju. Jasno, te dvije ploče se moraju povezati rebrima. Na mnogim primjerima postoji jedna ploča i rebra. Ovo isto važi i za pod. Drugi način za postizanje veće krutosti stranice je da stranica ima kutijaste zatvorene presjeke po ivicama i u polju stranice. Vertikalni bočni kontakt između stranica se mora obezbjediti. Ovaj kontakt značajno povećava krutost stranice na savijanje. Trebamo znati da on može prenijeti opterećenje samo u jednom smjeru. Prenos opterećenja u oba smjera može se obezbjediti samo umetanjem montažnog aluminijumskog "L" profila između dve stranice. Materijal od kojeg su izrađeni kontejneri je polipropilen.



Slika 2. Primjer kontejnera gabaritnih dimenzija 575x385x245 sa osnovnim geometrijskim dimenzijama kraće i duže stranice i većim brojem rebara

Savijanje u ravni stranice (uvijanje) se najefikasnije može savladati postojanjem rebara koji formiraju trougaonu mrežu. Pritisak stranice treba realizovati samo preko vertikalnih kutijastih stubova postavljenih na krajevima manjih stranica. Povećanje ove krutosti se može najefikasnije obezbediti uvođenjem novog materijala u navedene stubove (fiberglas, aluminijum).

### 3. NUMERIČKA ANALIZA PLASTIČNE PREKLOPIVE AMBALAŽE

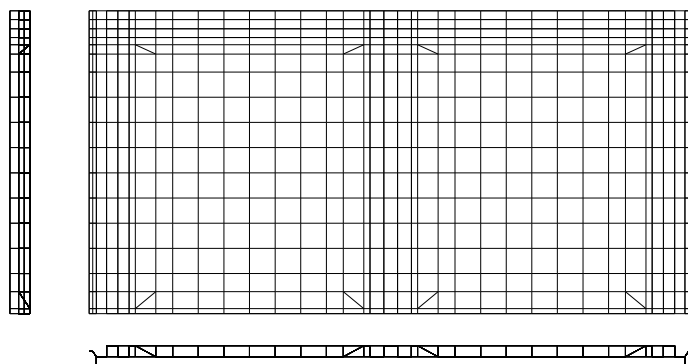
Numerička analiza je rađena metodom konačnih elemenata pomoću softvera „KOMIPS“. Ovaj softver je u vlasništvu autora ovog rada, prof.dr. Taška Maneskog i veoma je efikasan pri rješavanju različitih problema iz industrijske prakse pomoću numeričke metode. Softver „KOMIPS“ može se koristiti za modeliranje i analizu različitih vrsta opterećenja. Njegov razvoj je započeo 1978. godine, uporedo sa intenzivnijim razvojem i same metode konačnih elemenata.

Osnovni elementi programa su:

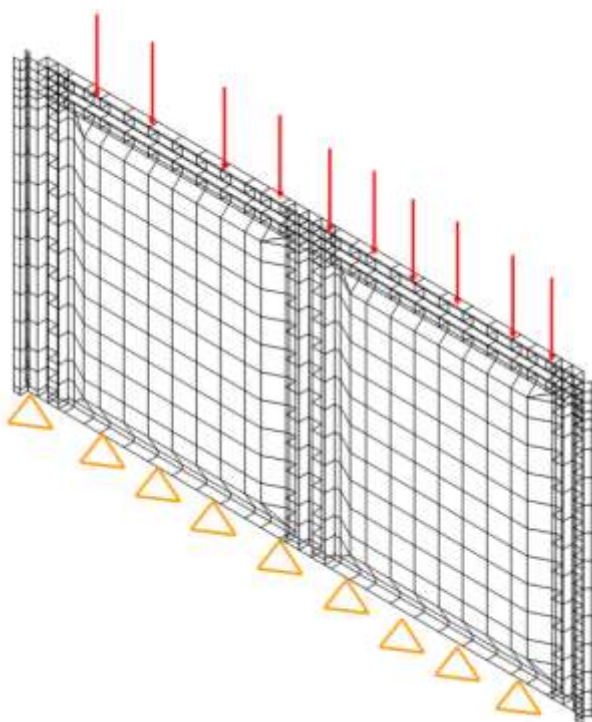
- preprocesor, za generiranje interaktivnog kompjuterskog modela,
- procesor, za statički, dinamički i termički proračun,
- postprocesor, za analizu i dijagnostiku ponašanja strukture,
- korisničke funkcije,
- interaktivni kompjuterski grafički prikaz i
- konverzija modela.

Iz gore navedenog može se zaključiti da softver „KOMIPS“ u svim segmentima prati teoretske postavke metode konačnih elemenata.

Na slici 3 prikazan je model duže stranice plastične preklopive ambalaže u ortogonalnoj projekciji, dok na slici 4 imamo prikazan model stranice opterećen silama i oslonjen na osloncima.



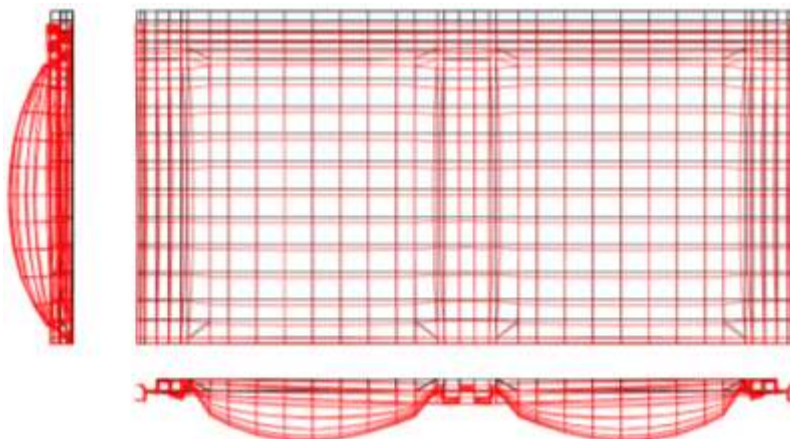
Slika 3. Ortogonalna projekcija modela duže stranice plastične preklopive ambalaže



Slika 4. Model duže stranice plastične preklopive ambalaže opterećen silama i oslonjen

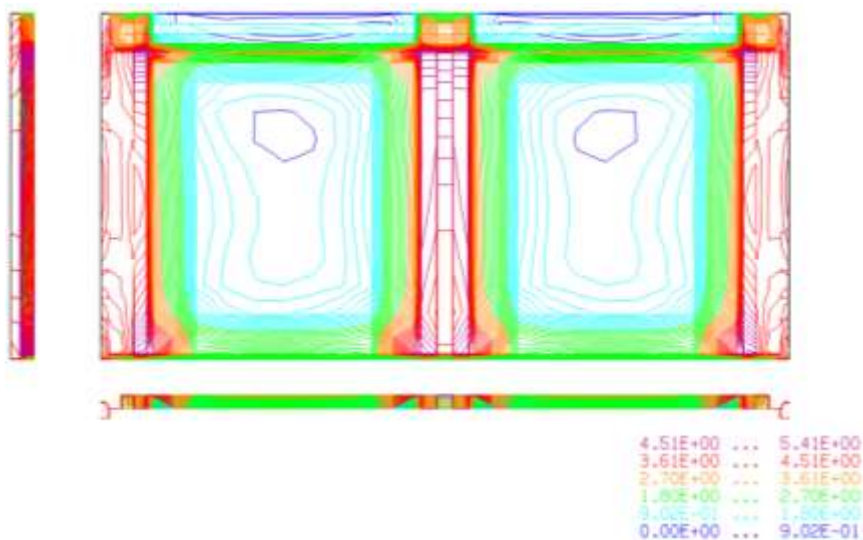
Modul elastičnosti materijala koji se koristi je  $E=1200$  [MPa]. Ukupna vrijednost sile pritiska odozgo prema dole jednoliko raspoređena duž čitave duže stranice je 4023 [N], odnosno otprilike 400 [kg]. To znači da bi ukupna linearna sila po čitavoj dužini stranica kontejnera bila 1341 [kg].

Maksimalna prostorna deformacija iznosi 3,7 [mm], Vertikalna deformacija vrha ivice iznosi 1 [mm] dok bočna deformacija u horizontalnoj ravni je 0,92 [mm], slika 5.



Slika 5. Grafički prikaz vertikalne i horizontalne deformacije iz softvera „KOMIPS“

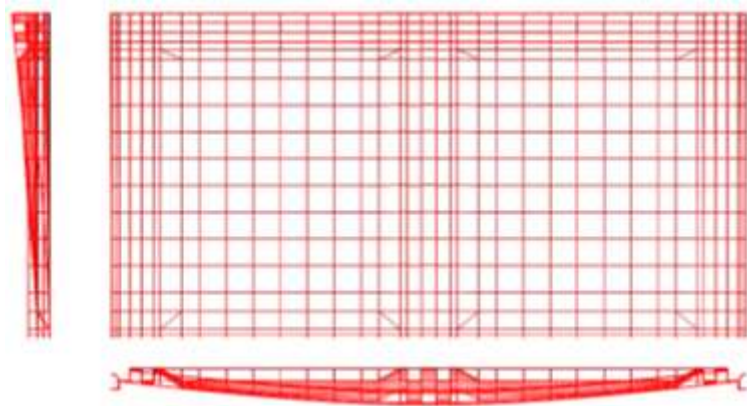
Nakon postavljanja opterećenja na dužu stranicu plastične preklapive ambalaže, možemo dobiti i raspodjelu napona po stranici te maksimalne vrijednosti napona koja iznosi 5,41 [MPa], kako je prikazano na slici 6.



Slika 6. Grafički prikaz raspodjele napona na dužoj stranici plastične preklapive ambalaže

Analizom izvijanja duže stranice plastične preklapive ambalaže dolazi se do podataka da je pri frekvenciji od 32,4 [Hz] maksimalna horizontalna bočna deformacija vrha ivice stranice 3,3 [mm].

Grafički prikaz izvijanja stranice prikazan je na slici 7.



Slika 7. Grafički prikaz deformacije duže stranice plastične preklapive ambalaže usljed izvijanja

Statičkim proračunom dobivenih podataka dobije se odnos linearne elastičnosti i maksimalnog napona  $27 \text{ [MPa]}/5,4 \text{ [MPa]} = 5$ , dok se dinamičkim proračunom dobije odnos bočne horizontalne deformacije usljed izvijanja i horizontalne bočne deformacije usljed sile pritiska  $3,3 \text{ [mm]}/0,92 \text{ [mm]} = 3,59$ . Uporedimo li ova dva rezultata vidimo da je  $3,59 < 5$  što znači da će se izvijanje desiti prije plastične deformacije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dosadašnjih istraživanja može se reći da je analiza opterećenja plastične preklapive ambalaže složen postupak najviše iz razloga anizotropnosti same konstrukcije odnosno stranica kontejnera. Od velikog je značaja sama geometrija stranice kontejnera odnosno postavljanje rebara što utiče na krutost a time i na nosivost kontejnera. Na jednom primjeru proizvoljne konstrukcije geometrije stranice kontejnera smo vidjeli da se izvijanje dešava prije plastične deformacije. Dalje istraživanje ide u pravcu eksperimentalnog dobivanja potrebnih podataka i njihovo upoređivanje sa numeričkim podacima te pronalaženje takve geometrije stranice da se plastična deformacija desi prije izvijanja što i jeste cilj ovoga istraživanja.

#### 5. LITERATURA

- [1] Maneski T., *Computer modelling and structure analysis*, Belgrade (2000)
- [2] Maneski T., *Rešeni problemi čvrstoće konstrukcija*, Monografija, Mašinski fakultet, Beograd (2002)
- [3] Maneski T., *Stress Analysis for Structural Integrity Assessment*, Paper in Monograph IFMASS 8, From fracture mechanics to structural integrity assessment (editor Sedmak S.) (2004), DIVK, Belgrade
- [4] Maneski T., Nestorivć B., *Validation numerical modelling with 3D optical measurement of deformations of foldable plastic packaging buckling failure*, SAJ 2011, UDK 621.798.1:678.5
- [5] Celovic S., Maneski T., Vuherer T., Tipsarević M., Zrilić M., *Experimental and Numerical Analysis Of Foldable Plastic Packaging Buckling Failure*, 2<sup>nd</sup> International Conference Manufacturing Engineering & Management 2012,(2012), p. 53-55, ISBN 978-80-553-1216-3
- [6] Hodžić D., Maneski T., Osnovni principi analize opterećenja plastičnih kontejnera, 8. međunarodna naučna konferencija RIM 2011, Velika Kladuša