

ANALIZA UTICAJA "DUBINE" POLIEDARSKJE LJUSKE NA PRESEČNE SILE I POMERANJA

Danica Goleš¹,
Dragan Milašinović²

UDK: 624.074.43:531.211/.213

Rezime: Analiza uticaja oblika poprečnog preseka armiranobetonske prizmatične poliedarske ljuske raspona $L=20m$ na dijagrame presečnih sila i pomeranja sprovedena je primenom metoda konačnih traka. U radu je dat prikaz i komentar dobijenih dijagrama pomeranja, obrtanja, presečnih sila, momenata i napona. Izbor optimalnog poprečnog preseka može se izvršiti na osnovu poređenja ovih dijagrama za ljuske različite "dubine". Analizom dobijenih dijagrama zaključuje se da pri izboru oblika poprečnog preseka prizmatične poliedarske ljuske treba izbegavati suviše "plitke" preseke. Povoljan oblik poprečnog preseka dobija se postavljanjem pojedinih ploča poliedra pod takvim nagibom da se postigne što veća sličnost sa odgovarajućom cilindričnom ljuskom.

Ključne reči: Poliedarske ljuske, metod konačnih traka, dubina ljuske, armirani beton

1. UVOD

Poliedarske ljuske su nastale kao rezultat težnje da se formiraju konstrukcije velike prostorne krutosti, sposobne da savladaju izuzetno velike raspone, uz što manji utrošak materijala. Armiranobetonske prizmatične poliedarske ljuske, primenjene za izradu krovnih konstrukcija, istovremeno vrše funkciju krovnog pokrivača i krovnog nosača značajne prostorne krutosti, što ih može učiniti ekonomski prihvatljivijim od nekih drugih konstruktivnih rešenja. Oblik poprečnog preseka ovih konstrukcija može biti diktiran nizom faktora (rešavanje osvetljenja, vođenje instalacija, širina ljuske, estetski zahtevi i dr.). Izbor nagiba ploča poliedra zavisi, između ostalog, od načina ugradnje betona. Tako se kod izvođenja na licu mesta, klasičnim betonom, ne preporučuje nagib pojedinačnih ploča poliedra veći od 45° , kako bi se izbegla potreba za obostranom oplatom. Najčešće se izvode ploče nagiba do 30° , čime se olakšava ugradnja betona. U cilju smanjenja sopstvene težine konstrukcije, debljina ploča koje čine poliedar svodi se na najmanju moguću meru, određenu iz uslova pravilnog smeštaja armature u preseku, i kreće se u granicama između 5 i 10cm. Ovo se odražava i na maksimalnu širinu

¹ Asistent dr Danica Goleš, dipl inž grad., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: dgoles@gf.uns.ac.rs

² Prof. dr Dragan D. Milašinović, dipl inž grad., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: ddmil@gf.uns.ac.rs

pojedinačnih ploča poliedra, koja najčešće ne prelazi 3.0 do 3.5m. Širina jednog talasa poliedarske ljuske se obično kreće u granicama $B=10-12m$.

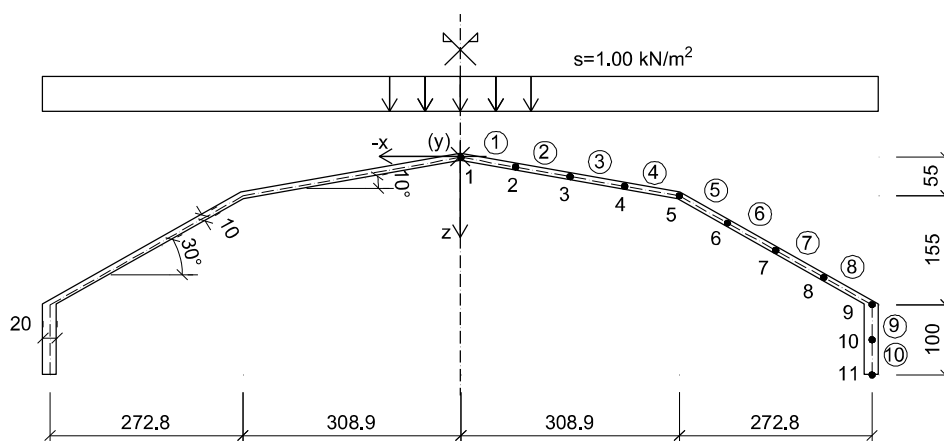
Oblik poprečnog preseka armiranobetske prizmatične poliedarske ljuske se, dakle, određuje prema tehnološkim, konstruktivnim, arhitektonskim i drugim zahtevima. Dimenzije i nagib pojedinih elemenata ovako oblikovane konstrukcije treba odrediti na osnovu analize nekoliko varijantnih rešenja. Prvi korak u ovoj analizi je određivanje i poređenje dijagrama pomeranja, obrtanja, presečnih sila i napona za odabrane poprečne preseke.

U radu [1] je, primenom metoda konačnih traka (MKT), izvršena linearno elastična analiza u slučaju malih pomeranja armiranobetske prizmatične poliedarske ljuske raspona $L=20m$, za četiri različita poprečna preseka. U ovom radu su prikazani i komentarisani rezultati analize.

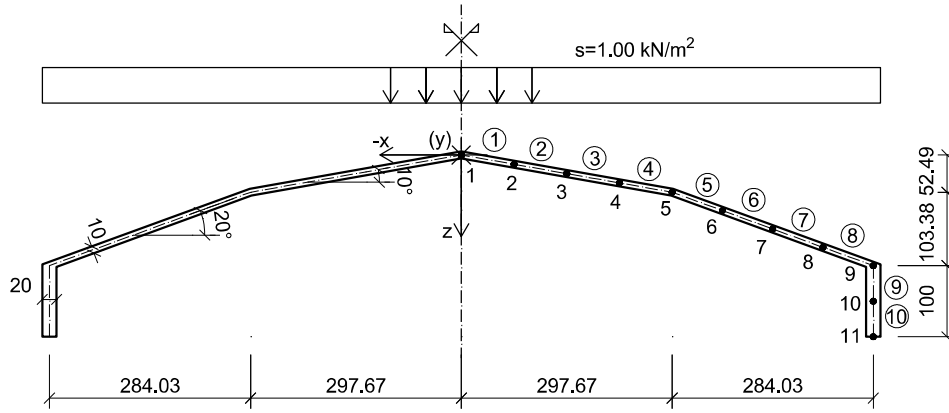
2. OPIS PREDMETA I METODA ANALIZE

Predmet analize je armiranobetska prizmatična poliedarska ljuska raspona $L=20m$, ukupne širine $B=11.6m$. Dimenzije poprečnog preseka ivične grede su $b/d=20/100cm$, dok je debljina ploča ljuske $d_p=10cm$. Konstrukcija je opterećena stalnim opterećenjem: sopstvenom težinom g i težinom obloge nagnutih ploča, intenziteta $\Delta g=0.5kN/m^2$, kao i opterećenjem snegom, intenziteta $s=1.0kN/m^2$. Poliedarska ljuska se na svojim krajevima ($y=0$ i $y=20m$) oslanja na armiranobetske dijafragme krute u svojoj ravni. Konstrukcija je od betona MB 45 (C35/45), sa armaturom RA 400/500-2. Analizirana su četiri različita poprečna preseka ljuske (sl. 1 do 4).

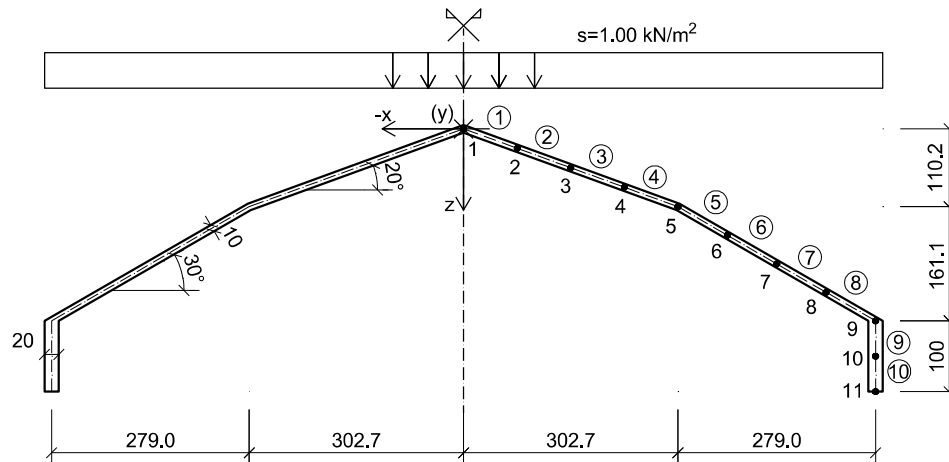
Analiza konstrukcije je sprovedena primenom računarskog programa MKTE1, autora D. D. Milašinića [2], za sto članova reda. Iskorišćena je simetrija geometrije, uslova oslanjanja i opterećenja, pa je numerička analiza sprovedena samo za polovinu nosača. Mreža konačnih traka (ukupno 10), njihove oznake i oznake čvornih linija, kao i orijentacija globalnog koordinatnog sistema, prikazane su na slikama 1 do 4. Trake su na krajevima slobodno oslonjene, a svaka ima po osam stepeni slobode kretanja. Usvojene su sledeće elastične karakteristike materijala: modul elastičnosti $E=34GPa$ i Poisson-ov koeficijent $\nu=0$.



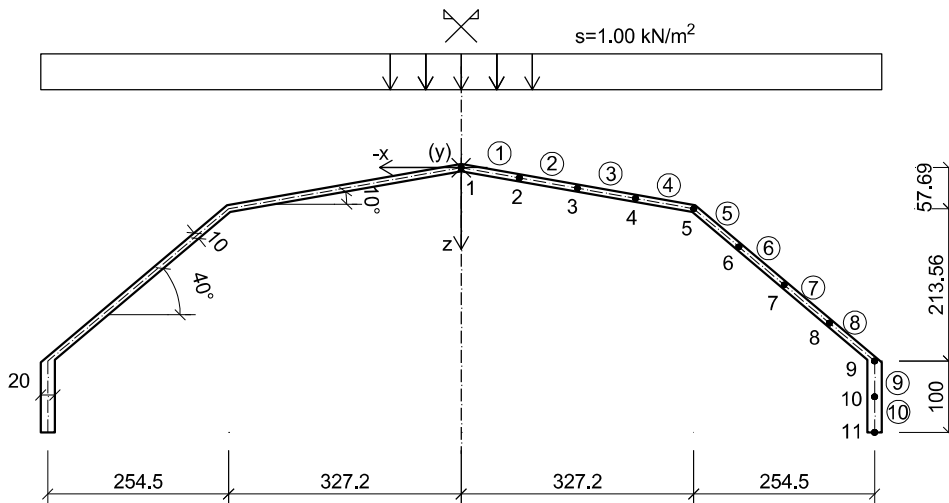
Slika 1. Poprečni presek i opterećenje poliedarske ljuske tipa "A"



Slika 2. Poprečni presek i opterećenje poliedarske ljuske tipa "B"



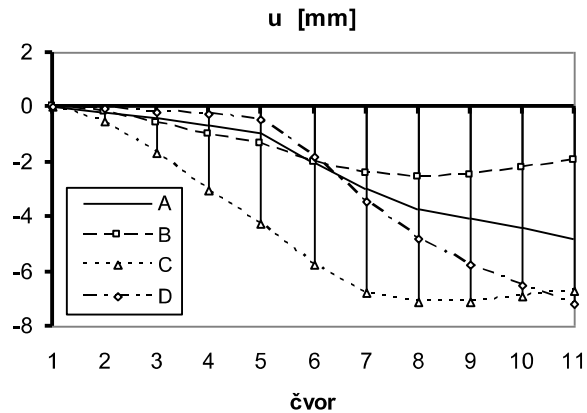
Slika 3. Poprečni presek i opterećenje poliedarske ljuske tipa "C"



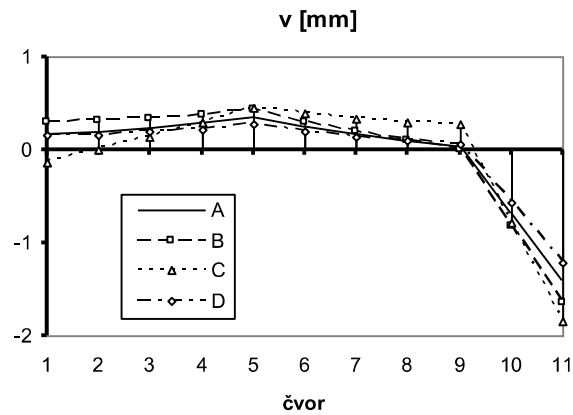
Slika 4. Poprečni presek i opterećenje poliedarske ljuske tipa "D"

3. REZULTATI ANALIZE

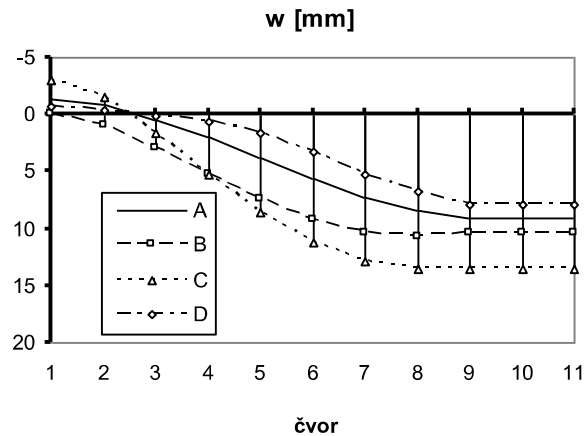
Na slikama 5 do 15 dat je uporedni prikaz dijagrama pomeranja, obrtanja, presečnih sila, momenata i napona, usled ukupnog eksploatacionog opterećenja, za različite poprečne preseke ljuske.



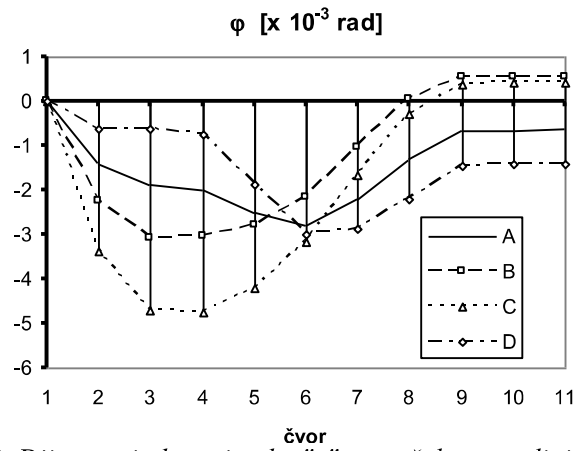
Slika 5. Dijagrami pomeranja u pravcu globalne "x" ose tačakau sredini raspona



Slika 6. Dijagrami pomeranja u pravcu globalne "y" ose tačakaiznad oslonaca



Slika 7. Dijagrami vertikalnih pomeranja tačaka u sredini raspona



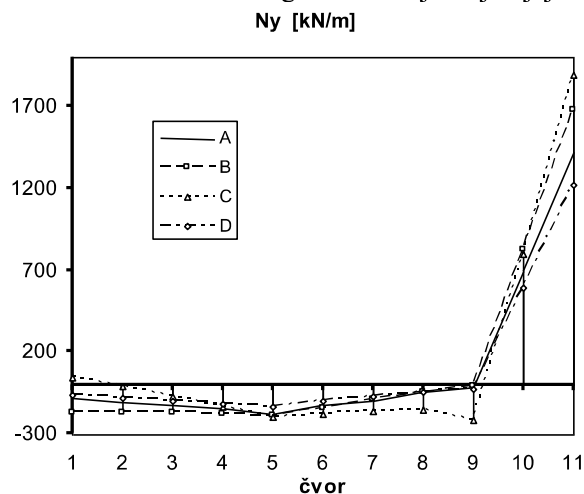
Slika 8. Dijagrami obrtanja oko "y" osetačaka u sredini raspona

Analizom dijagrama pomeranja u pravcu globalne x ose (sl. 5) može se uočiti da se kod "dubokih" ljuski (tip "C" i "D") javljaju veća horizontalna pomeranja nego kod "plićih" (tip "A" i "B"). Najmanja horizontalna pomeranja trpi ljuska tipa "B".

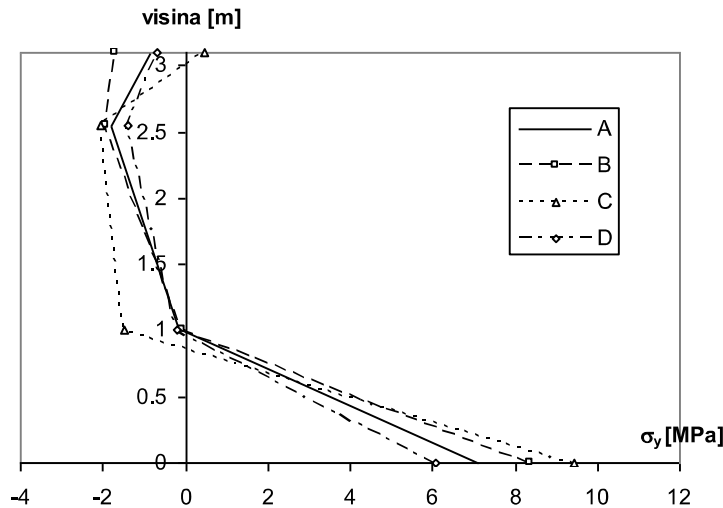
Promena oblika dijagrama pomeranja u pravcu podužne ose ljuske (sl. 6) je najneujednačenija kod ljuske tipa "C", kod koje se predznak dijagrama po širini preseka menja čak tri puta. Najveća pomeranja u temenu poprečnog preseka (čvorna linija 1) javljaju se kod ljuske tipa "B", dok su najveća pomeranja u donjem čvoru ivične grede (čvorna linija 11) zabeležena kod ljuske tipa "C". Oblik dijagrama i veličina pomeranja u pravcu podužne ose ljuski tipa "A" i "D" su gotovo identični.

Vertikalna pomeranja tačaka poprečnog preseka (sl. 7) su najmanja kod ljuske tipa "D". Najneujednačeniji je dijagram ljuske tipa "C", za koju se dobijaju i najveće vrednosti vertikalnih pomeranja. Jedino se kod ljuske tipa "B" sve tačke poprečnog preseka pomeraju naniže, dok se kod svih ostalih ljuski tačke u blizini temena pomeraju vertikalno naviše.

Ugao obrtanja oko podužne ose ljuske (sl. 8) ima promenljiv predznak duž poprečnog preseka ljuski tipa "B" i "C". Maksimalni uglovi obrtanja se javljaju kod ljuske tipa "C".



Slika 9. Dijagrami podužne normalne sile N_y u preseku na sredini raspona



Slika 10. Dijagrami podužnog normalnog napona σ_y po visini poprečnog preseka ljsuske, u sredini raspona

Posmatrajmo dijagrame presečnih sila, podužnih normalnih napona i momenata prikazane na slikama 7 do 15. Kod ljsuske tipa "C" podužna normalna sila N_y ima izraženu krivolinijsku raspodelu po širini nagnutih ploča, za razliku od ostalih tipova ljsuski, kod kojih je ova raspodela linearna (sl. 7). Ekstremne vrednosti podužne normalne sile u ivičnoj gredi javljaju se, takođe, kod ljsuske tipa "C". Kod ovog oblika poprečnog preseka podužna normalna sila tri puta menja predznak, tako da se u ivičnoj gredi, ali i u temenu poprečnog preseka, javlja zatežuća podužna normalna sila. Najmanje vrednosti podužne normalne sile javljaju se kod ljsuske tipa "D", a vrlo sličnu raspodelu i intenzitete ima i podužna normalna sila u ljsusci tipa "A".

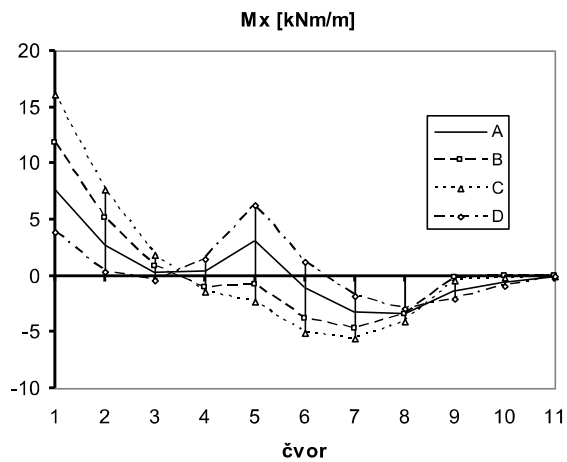
Analizom dijagrama podužnih normalnih napona po visini poprečnog preseka (sl. 8) uočava se pojava napona zatezanja u temenu ljsuske tipa "C", kod koje se javljaju i ekstremne vrednosti ovog napona (i u pritisnutoj i u zategnutoj zoni preseka). Najmanje vrednosti ovog napona se javljaju kod ljsuske tipa "D", a samo su neznatno veće kod ljsuske tipa "A". Ekstremna vrednost napona pritiska u temenu poprečnog preseka javlja se kod "plitke" ljsuske tipa "B".

Najpravnomernija raspodela momenta savijanja M_x oko podužne ose ljsuske uočava se kod ljsuske tipa "D". Vrlo slična raspodela, uz gotovo identične ekstremne vrednosti, javlja se u ljsusci tipa "A". Najveći momenti savijanja oko podužne ose, i u gornjoj i u donjoj zoni preseka, javljaju se kod ljsuske tipa "C".

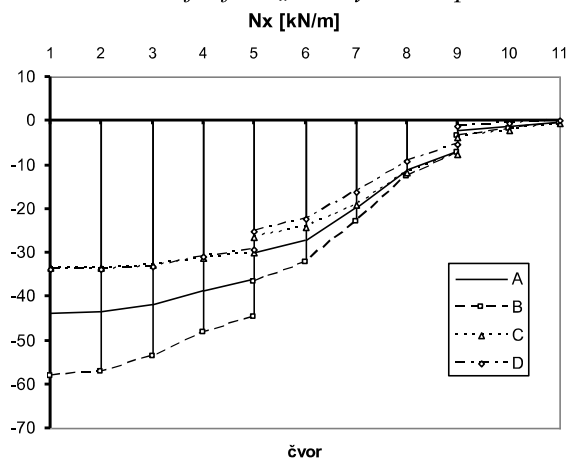
Poprečna normalna sila N_x dostiže maksimalne vrednosti kod ljsuske tipa "B", dok "duboke" ljsuske tipa "D" i "C" imaju znatno manje veličine ove normalne sile.

Ekstremne vrednosti momenta savijanja M_y oko ose x , duž celog poprečnog preseka, javljaju se kod ljsuske tipa "C". Najmanje vrednosti ovog momenta u ivičnoj gredi uočavaju se kod ljsuske tipa "B".

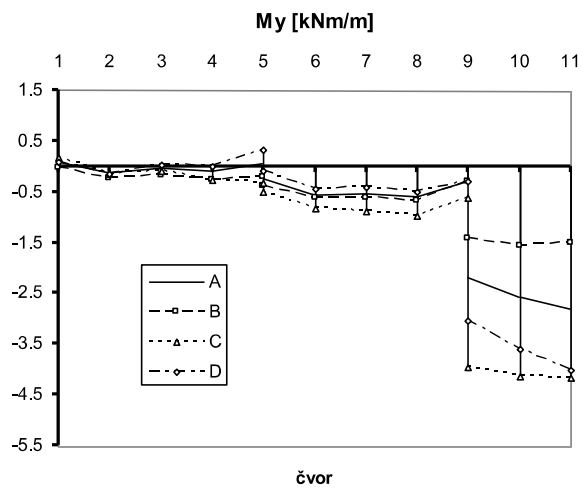
Najveće vrednosti smičuće sile N_{xy} se javljaju u "plitkoj" ljsusci tipa "B", a najmanje kod "duboke" ljsuske tipa "D". Samo u poprečnom preseku ljsuske tipa "C" smičuća sila ima promenljiv predznak.



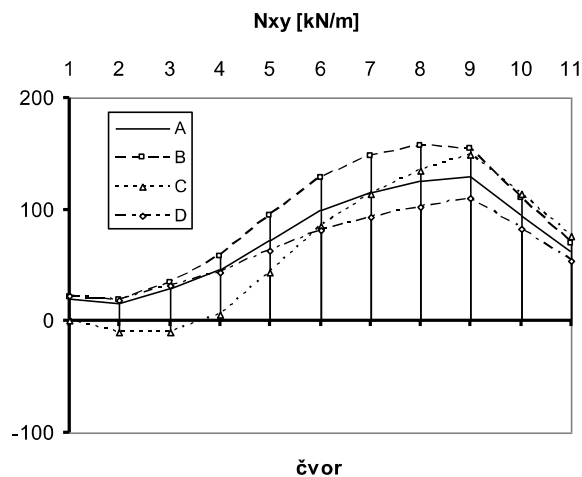
Slika 11. Dijagrami momenta savijanja M_x oko "y" ose u preseku na sredini raspona



Slika 12. Dijagrami normalne sile N_x u poprečnom pravcu u preseku na sredini raspona

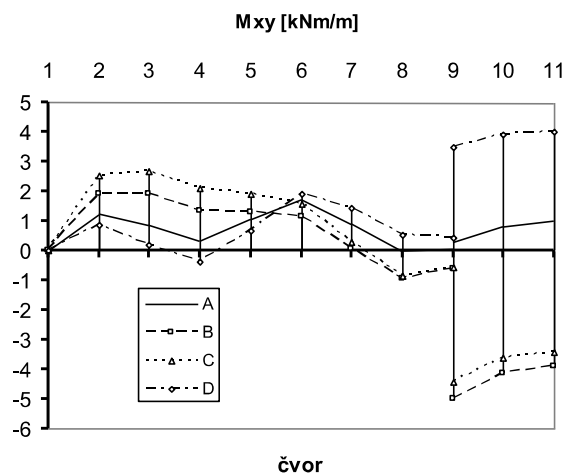


Slika 13. Dijagrami momenta savijanja M_y oko "x" ose u preseku na sredini raspona



Slika 14. Dijagrami smičuće sile N_{xy} u preseku iznad oslonca

Dijagram momenta torzije M_{xy} ima isti predznak duž celog poprečnog preseka samo kod ljuske tipa "A", kod koje je raspodela ovog momenta najujednačenija. Najmanje vrednosti momenta M_{xy} u ivičnoj gredi javljaju se, takođe, kod ljuske tipa "A". Najveći momenti torzije u nagnutim pločama zabeleženi su kod ljuski tipa "C" i "B".



Slika 15. Dijagrami momenta torzije M_{xy} u preseku iznad oslonca

Na osnovu gornje analize pomeranja, obrtanja, presečnih sila, napona i momenata, može se izvesti zaključak da je poprečni presek ljuske tipa "C" (sl. 3) nepovoljan, te ga treba izbegavati. Suviše "plitke" ljuske, kao što je ljuska tipa "B" (sl. 2) trpe velike napone pritiska u temenu poprečnog preseka, što kod armiranobetonskih konstrukcija ne predstavlja problem. Međutim, zbog velikih smičućih sila i momenata torzije, koji se javljaju u nagnutim pločama, treba izbegavati upotrebu suviše "plitkih" poprečnih preseka armiranobetonskih poliedarskih ljuski. Najpovoljnije ponašanje pokazale su ljuske tipa "A" i "D". Kako torzioni momenti u armiranobetonskoj ivičnoj gredi mogu biti merodavni za njeno dimenzionisanje, to se preporučuje upotreba poprečnog preseka

tipa "A", kod koga su ovi uticaji najmanji u odnosu na sve upoređene tipove poprečnih preseka.

4. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada prikazani su rezultati numeričke analize armiranobetonskih prizmatičnih poliedarskih ljski, sprovedene primenom metoda konačnih traka. Analizirane su ljske dužine $L=20\text{m}$, širine $B=11.6\text{m}$, različitog oblika poprečnog preseka, izvedene od istog materijala i jednako opterećene. Ova komparativna analiza je moguća zbog toga što, kod primene MKT, izbor istog broja konačnih traka (ukupno 10) i sto članova reda kod svih analiziranih tipova ljski, obezbeđuje isti stepen numeričke tačnosti izlaznih rezultata, što ne bi bio slučaj kod primene metoda konačnih elemenata. Na osnovu poređenja dijagrama pomeranja, obrtanja, presečnih sila, momenata i napona, poliedarskih ljski različitog poprečnog preseka, zaključuje se da je najpovoljniji oblik poprečnog preseka onaj koji nagibom i širinom ploča što približnije prati oblik odgovarajuće cilindrične ljske. Pri tome treba izbegavati suviše "plitke" ljske.

LITERATURA

- [1] Goleš, D.: Reološko-dinamička analiza armiranobetonskih poliedarskih ljski, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Subotica, jun 2012.
- [2] Milašinović, D. D.: Metod konačnih traka u teoriji konstrukcija, Student, Novi Sad, 1994.

ANALYSIS OF "DEPTH" INFLUENCE ON INTERNAL FORCES AND DISPLACEMENTS OF FOLDED PLATE STRUCTURE'S

Summary: *Influence of cross sectional shape of reinforced concrete prismatic folded plate structure, of span length $L=20\text{m}$, on internal forces and displacements was analysed using finite strip method. The paper presents and comments obtained diagrams of displacements, rotations, internal forces, moments and stresses. Selection of the optimal cross-section can be made based on comparisons of these diagrams for different shell "depth". By analysis of obtained diagrams it is concluded that too "shallow" cross sections of prismatic folded plates should be avoided. Convenient form of the cross section is obtained by placing particular plates under such an angle to achieve maximum similarity with the corresponding cylindrical shell.*

Key words: *Folded plates, finite strip method, shell depth, reinforced concrete*