

IDENTIFIKACIJA UTICAJA KRUŽNOG OTVORA NA NAPONSKO STANJE HOMOGENE IZOTROPNE JEDNOOSNO ZATEGNERUTE PLOČE

Milan Bižić¹⁾, Dragan Petrović¹⁾

Kategorizacija rada:
ORIGINALNI NAUČNI RAD

Adresa:
¹⁾ Mašinski fakultet Kraljevo

Režime: U radu je analiziran uticaj kružnog otvora na naponsko stanje homogene izotropne jednoosno zategnute ploče. Primjenjena je metodologija koja omogućava egzaktno određivanje vrednosti napona u svakoj tački ploče, kao i na konturi kružnog otvora, a koja bazira na primeni osnovnih jednačina teorije elastičnosti kojima se opisuje ravno stanje napona u polarnim koordinatama. Dobijeni rezultati verifikovani su pomoću metode konačnih elemenata, pri čemu je proračun sproveden u softverskom paketu ANSYS 12. Varijacijom vrednosti polarnih koordinata u algoritmu za izračunavanje i poređenjem napona ploče sa otvorom sa nominalnim naponom za ploču bez otvora određena je zona uticaja otvora na naponsko stanje, kao i zakonitost promene faktora koncentracije napona razmatrane ploče. Poluprečnik otvora identifikovan je kao jedini uticajni parametar na veličinu zone uticaja otvora na naponsko stanje i vrednosti faktora koncentracije napona. Dokazano je da izraz kojim se definiše zona uticaja otvora, kao i dobijena zakonitost promene faktora koncentracije napona važe za svaku homogenu izotropnu jednoosno zategnutu ploču proizvoljnih dimenzija, oslabljenu otvorom proizvoljnog poluprečnika.

Cljučne reči: zona uticaja, kružni otvor, ploča, naponsko stanje, zatezanje, koncentracija napona

1. UVOD

Mašinski elementi tipa ploče koriste se veoma često pri konstrukciji osnovnih delova železničkih vozila kao što su donje postolje, obrtna postolja, sanduk vagona, itd... Ovakvi mašinski elementi pojavljuju i kod građevinske, rudarske i transportne mehanizacije, dizalica, metalnih nosećih konstrukcija, itd... Zbog raznih konstruktivnih zahteva na određenim mestima pomenutih mašinskih konstrukcija u toku izrade buše se otvori. Pored toga, otvori mogu postojati u cilju optimizacije konstrukcije, smanjenja sopstvene težine, itd... Pod dejstvom opterećenja na mestima oko otvora dolazi do promene raspodele naponskog stanja i pojavljuje se opšte poznat fenomen koncentracije napona. Tačno određivanje naponskih stanja i faktora koncentracije napona stvara velike probleme prilikom projektovanja i konstruisanja takvih mašinskih konstrukcija. Klasičnim metodama proračuna napone nije moguće pravilno i dovoljno tačno identifikovati, a dobijeno naponsko stanje ne predstavlja realno stanje opterećene konstrukcije. Ako se dimenzionisanje i optimizacija izvrši na osnovu tako dobijenog naponskog stanja postoji realna opasnost od lomova i havarija u eksploataciji konstrukcije pri čemu posledice mogu biti tragične sa ljudskim žrtvama i ogromnom materijalnom štetom.

Dakle, jedan od osnovnih preduslova za pravilno dimenzionisanje i optimizaciju mašinskih konstrukcija je potpuna i što tačnija analiza deformaciono-naponskih stanja.

Kada se radi o istraživanju fenomena koncentracije napona oko kružnog otvora u najvećem broju slučajeva analizira se tanka ploča oslabljena kružnim otvorom opterećena određenim opterećenjem [1–5]. Problem se svodi na tačno određivanje raspodele napona oko otvora, kao i na određivanje faktora koncentracije napona.

Pored toga, za projektovanje i konstruisanje ovakvih mašinskih konstrukcija značajno pitanje je identifikacija uticaja otvora na naponsko stanje. U ovom radu izvršena je identifikacija uticaja kružnog otvora na naponsko stanje homogene izotropne jednoosno zategnute ploče. Problem se svodi na određivanje zone uticaja otvora na naponsko stanje, kao i na određivanje zakonitosti raspodele faktora koncentracije napona.

2. ODREĐIVANJE NAPONA U PLOČI PRIMENOM JEDNAČINA TEORIJE ELASTIČNOSTI

Ako je tanka ploča opterećena silama koje su ravnomerno raspoređene po njenoj debljini i koje deluju

paralelno sa njenim osnovama tada imamo ravno stanje napona [6]. U tom slučaju na osnovama ploče nema opterećenja pa su komponente napona τ_{xz} , τ_{yz} i σ_z jednake nuli, a naponsko stanje ploče određeno je samo sa komponentama napona σ_x , σ_y i τ_{xy} , koji su funkcije Dekartovih koordinata x i y , odnosno σ_ρ , σ_θ i $\tau_{\rho\theta}$, koji su funkcije polarnih koordinata ρ i θ .

Ravno stanje napona tada je definisano jednačinama koje povezuju napone i zapreminske sile, jednačinama koje definišu odnose između napona i deformacija, jednačinama koje definišu uslove kompatibilnosti i jednačinama koje definišu konturne uslove [6].

Polazeći od pomenutih jednačina teorije elastičnosti za ravan problem u polarnim koordinatama u literaturi [6] izvedeni su izrazi kojima se definiše naponsko stanje jednoosno zategnute homogene izotropne ploče oslabljene kružnim otvorom (Slika 1):

$$\sigma_\rho = \frac{S}{2} \left(1 - \frac{R^2}{\rho^2} \right) + \frac{S}{2} \left(1 + \frac{3R^4}{\rho^4} - \frac{4R^2}{\rho^2} \right) \cos 2\theta \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{S}{2} \left(1 + \frac{R^2}{\rho^2} \right) - \frac{S}{2} \left(1 + \frac{3R^4}{\rho^4} \right) \cos 2\theta \quad (2)$$

$$\tau_{\rho\theta} = -\frac{S}{2} \left(1 - \frac{3R^4}{\rho^4} + \frac{2R^2}{\rho^2} \right) \sin 2\theta \quad (3)$$

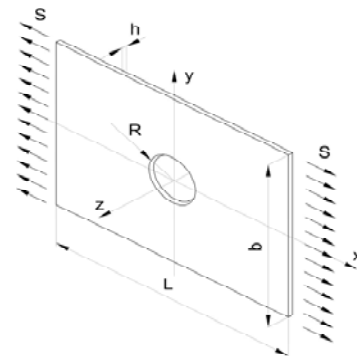
Gde su:

S – raspodeljena sila istezanja ploče

R – poluprečnik otvora

ρ – polarni poteg meren od centra kružnog otvora

θ – polarni ugao



Slika 1. Jednoosno zategnuta ploča oslabljena kružnim otvorom

Na osnovu izraza (1–3) u funkciji polarnih koor-

dinata ρ i θ moguće je egzaktno odrediti vrednosti komponentnih napona u svakoj tački ploče oslabljene kružnim otvorom. U radu su određene konkretne vrednosti napona u preseku duž osa x i y , kao i na konturi kružnog otvora za ploču P1 dimenzija $b=8[cm]$; $L=14[cm]$; $h=0,5[cm]$; $R=1[cm]$, opterećenu raspodeljenom silom istezanja $S=4[kN/cm^2]$.

Vrednosti glavnih napona σ_1 i σ_2 određuju se kada se izračunata vrednosti napona σ_ρ , σ_θ , $\tau_{\rho\theta}$ zamene u sledeće izraze [7]:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2}\right)^2 + \tau_{\rho\theta}^2} \quad (4)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2}\right)^2 + \tau_{\rho\theta}^2} \quad (5)$$

Vrednosti napona σ_x i σ_y određuju se kada se izračunata vrednosti napona određene prema izrazima (1-3) zamene u sledeće izraze [7]:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2} \cos 2\theta - \tau_{\rho\theta} \sin 2\theta \quad (6)$$

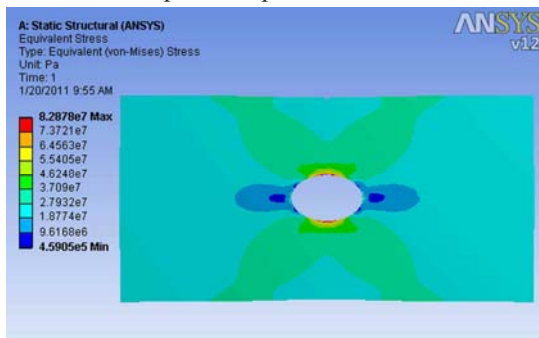
$$\sigma_y = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} - \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2} \cos 2\theta + \tau_{\rho\theta} \sin 2\theta \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2} \sin 2\theta + \tau_{\rho\theta} \cos 2\theta \quad (8)$$

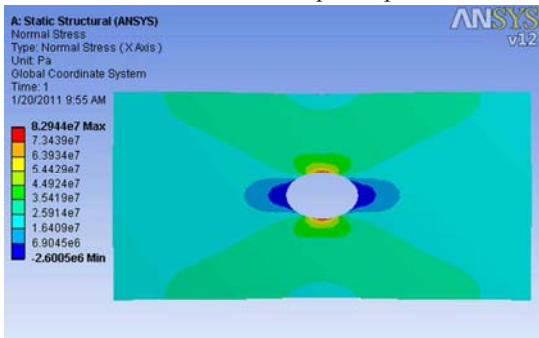
Na osnovu izraza (1-8) formiran je algoritam za izračunavanje vrednosti napona u programskom paketu Microsoft Office Excel. Formirani su dijagrami glavnih napona na konturi otvora, kao i dijagrami napona σ_x i σ_y za preseke koji se poklapaju sa x i y osama.

3. ODREĐIVANJE NAPONA U PLOČI PRIME-NOM METODE KONAČNIH ELEMENATA

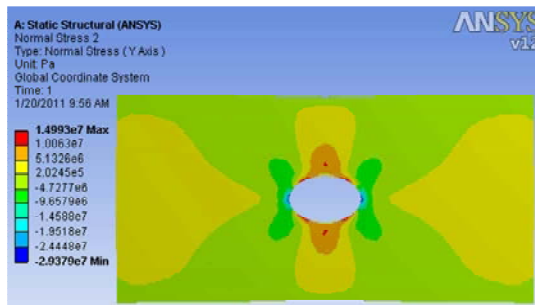
Analizirana je takođe homogena izotropna ploča P1, čije su dimenzije i opterećenje identični kao kod prethodne teorijske metode zasnovane na korišćenju jednačina teorije elastičnosti. Materijal ploče je čelik sa modulom elastičnosti $E=21000[kN/cm^2]$, i Poisson-ovim koeficijentom $\mu=0,33$. Proračun je sproveden u softverskom paketu ANSYS 12, a za diskretizaciju su primenjeni konačni elementi tipa tanke ploče.



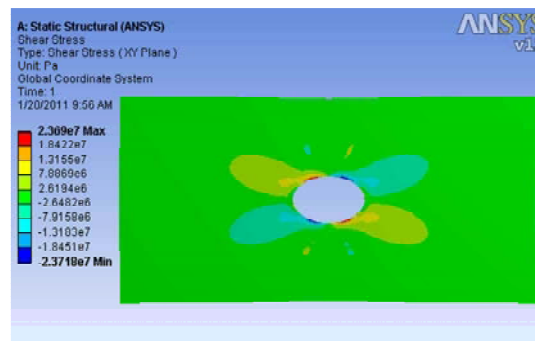
Slika 2. Ekvivalentni napon u ploči P1



Slika 3. Normalni napon σ_x u ploči P1



Slika 4. Normalni napon σ_y u ploči P1

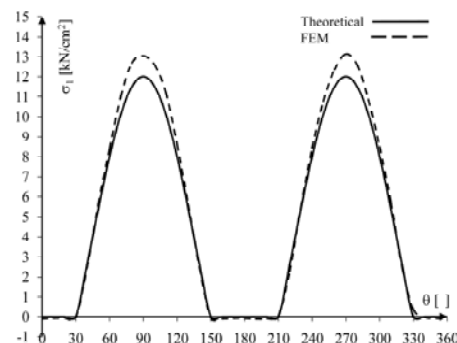


Slika 5. Napon smicanja τ_{xy} u ploči P1

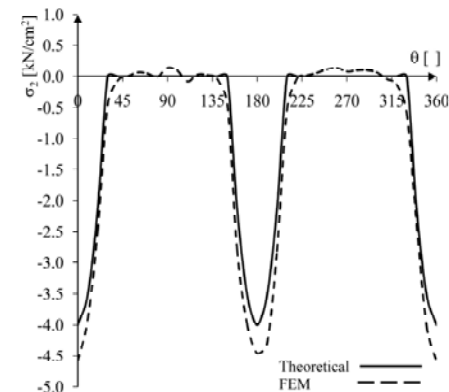
Izvršeno je očitavanje i formirani su dijagrami glavnih napona na konturi otvora, kao i dijagrami napona σ_x i σ_y za preseke koji se poklapaju sa x i y osama.

4. POREĐENJE REZULTATA

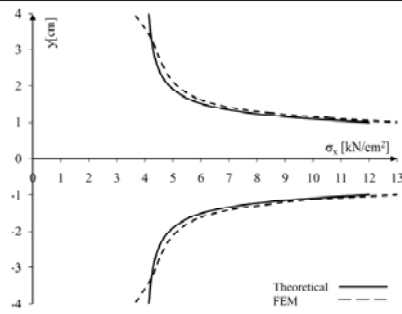
Na dijagramima koji slede date su uporedne vrednosti promena napona za ploču P1 dobijenih pomoću jednačina teorije elastičnosti i metode konačnih elemenata.



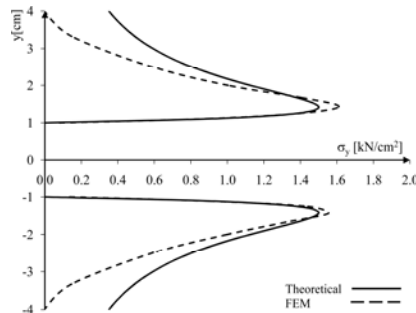
Slika 6. Uporedni dijagram promene napona σ_1 na konturi otvora ploče P1



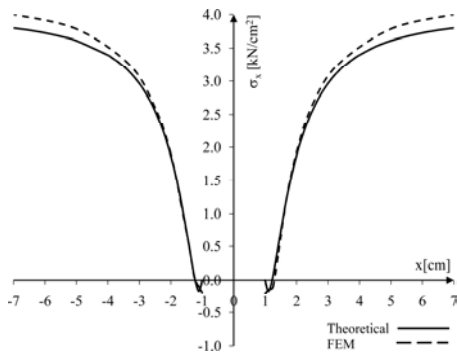
Slika 7. Uporedni dijagram promene napona σ_2 na konturi otvora ploče P1



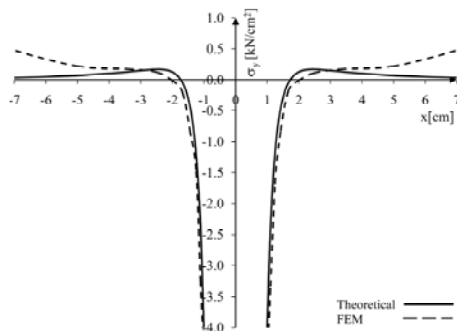
Slika 8. Uporedni dijagram promene napona σ_x u preseku duž ose y ploče P1



Slika 9. Uporedni dijagram promene napona σ_y u preseku duž ose y ploče P1



Slika 10. Uporedni dijagram promene napona σ_x u preseku duž ose x ploče P1



Slika 11. Uporedni dijagram promene napona σ_y u preseku duž ose x ploče P1

U preseku duž osa x i y tangencijalni naponi τ_{xy} određeni primenom obe metode jednaki su nuli.

Analizom rezultata sa dijagrama na slikama 6–11 uočava se da su naponska stanja generalno identična kod obe primenjene metode, uz izvesna odstupanja. Ova odstupanja su veća kod manjih vrednosti napona, a najvažnija činjenica je da su kod većih vrednosti napona ova odstupanja manja i kreću se u granicama do 7%. Imajući u vidu navedena odstupanja može se konstatovati da je data teorijska metoda ispravno postavljena i primenjena, i da za ovaj tip problema daje validne rezultate. Isti zaključak važi i za metod konačnih elemenata. Kod rezultata dobijenih teorij-skom metodom postoji apsolutna simetrija napona u odnosu na pravce osa simetrije ploče, što je logično, dok kod metoda konačnih elemenata posto-

je izvesna odstupanja. Analiza pokazuje da je primenjena teorijska metoda koja bazira na primeni jednačina teorije elastičnosti superiornija u odnosu na metod konačnih elemenata i daje tačnije rezultate. Zbog toga je njena primena veoma značajna za rešavanje problema kod kojih je prisutan fenomen koncentracije napona, u cilju što tačnije identifikacije naponskog stanja opterećenog mašinskog dela ili konstrukcije.

5. UTICAJ KRUŽNOG OTVORA NA NAPONSKO STANJE PLOČE

Uopštavanjem primenjene teorijske metode na slučaj jednoosno zategnute neograničene ploče oslabljene kružnim otvorom, moguće je odrediti zonu uticaja kružnog otvora na naponsko stanje neograničene ploče. U tom smislu analizirana je homogena izotropna ploča P2 u varijantama bez otvora, i sa otvorom. Pretpostavljeno je da je ploča u oba slučaja opterećena raspodeljenom silom zatezanja $S=5[kN/cm^2]$, a dimenzije ploče su: $R=1[cm]$; $h=2[cm]$; $b=70[cm]$; $L=80[cm]$. Kod ovako usvojenih dimenzija veličina otvora je mnogo manja u odnosu na dimenzije ploče, tako da se dobijeni rezultati mogu uopštiti na slučaj kada se otvor nalazi u neograničenoj ploči.

Nominalni napon u ploči P2 koja nije oslabljena otvorom jednak je datoj raspodeljenoj sili istezanja S :

$$\sigma_{x,n} = \frac{F}{A} = S \quad (9)$$

Gde su:

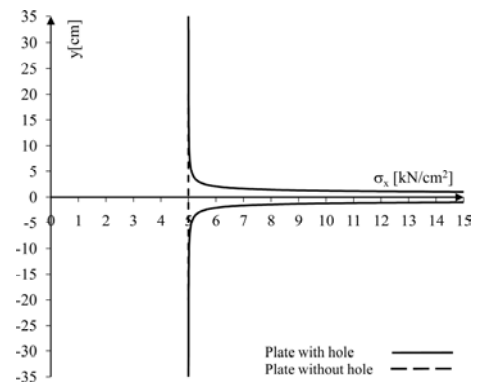
F – sila istezanja ploče

S – raspodeljena sila istezanja ploče

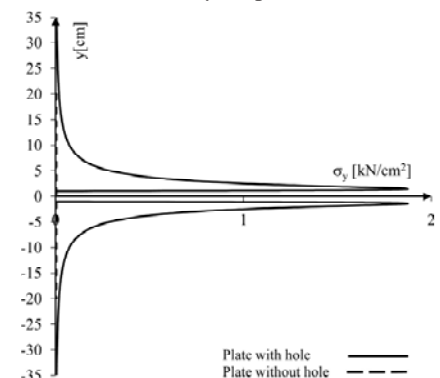
A – površina poprečnog preseka ploče

Istovremeno su za ploču P2 bez otvora naponi σ_y i τ_{xy} jednaki nuli.

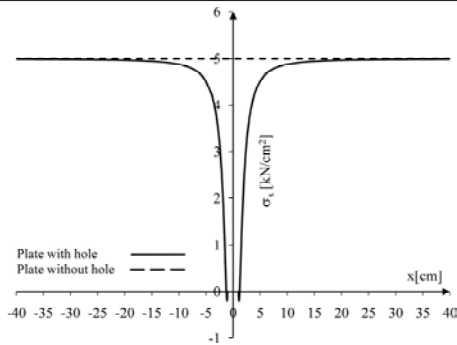
Napon u ploči P2 koja je oslabljena otvorom određuje se prema izrazima (1–8). Uporedne vrednosti napona određene prema izrazima (1–8) i (9) za ploču P2 date su na sledećim dijagramima.



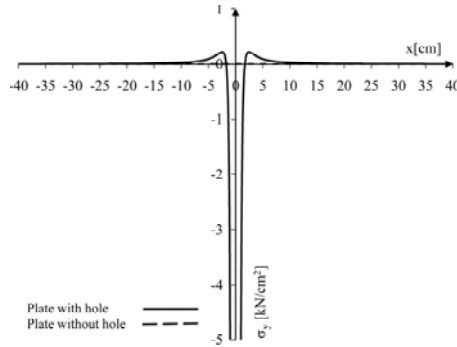
Slika 12. Uporedni dijagram promene napona σ_x u preseku duž ose y za ploču P2



Slika 13. Uporedni dijagram promene napona σ_y u preseku duž ose y za ploču P2



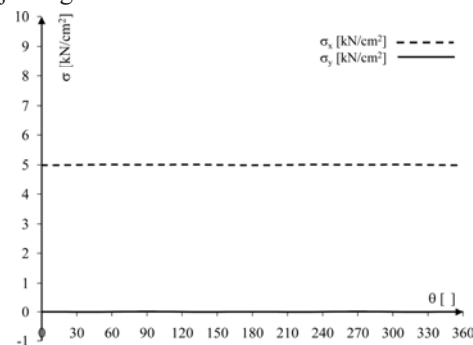
Slika 14. Uporedni dijagram promene napona σ_x u preseku duž ose x za ploču P2



Slika 15. Uporedni dijagram promene napona σ_y u preseku duž ose x za ploču P2

Uticao otvora na naponsko stanje opterećene ploče opada kako se rastojanje od otvora povećava. Taj uticaj na određenom rastojanju od otvora potpuno nestaje, i tada naponi postaju identični sa naponima ploče koja nije oslabljena otvorom. Varijacijom vrednosti koordinate ρ u formiranom algoritmu za izračunavanje vrednosti napona prema izrazima (1–8) i sa dijagrama na slikama 12–15 uočava se da su na rastojanjima $x = \pm 30R$ i $y = \pm 30R$ naponi ploče bez otvora i naponi ploče sa otvorom jednaki, što znači da na tim rastojanjima uticaj otvora na naponsko stanje ploče P2 nestaje.

U cilju određivanja zone uticaja otvora na naponsko stanje ploče P2 određene su vrednosti napona prema izrazima (1–8) za vrednost koordinate $\rho = 30R = 30[cm]$ i variranjem ugla θ u intervalu $0^\circ \div 360^\circ$ sa korakom od 10° .



Slika 16. Dijagram promene napona σ_x i σ_y za vrednost koordinate $\rho = 30R$

Sa dijagrama na slici 16 uočava se da je za vrednost koordinate $\rho = 30R = 30[cm]$ vrednost napona σ_x konstantna i jednaka vrednosti nominalnog napona za ploču koja nije oslabljena otvorom za sve vrednosti ugla θ na intervalu $0^\circ \div 360^\circ$. Takođe, uočava se da je vrednost napona σ_y takođe konstantna i jednaka nuli za sve vrednosti ugla θ na intervalu $0^\circ \div 360^\circ$, što takođe odgovara naponskom stanju u ploči bez otvora.

Na osnovu rezultata za ploču P2 zaključujemo da je zona uticaja otvora na naponsko stanje ploče kružna oblast koja je definisana sledećim izrazom:

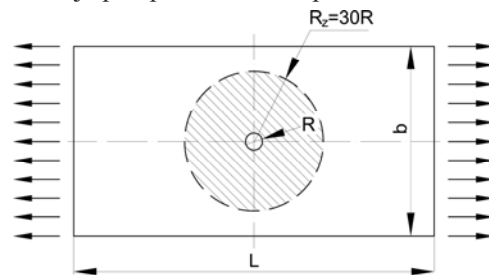
$$R_z / 30R \quad (10)$$

Gde su:

R_z – poluprečnik zone uticaja otvora

R – poluprečnik otvora ploče

Relacija (10) kojom se definiše zona uticaja otvora na naponsko stanje važi za svaku homogenu izotropnu jednoosno zategnutu ploču proizvoljnih dimenzija b , L i h (Slika 17). Jedini uticajni parametar na veličinu zone uticaja otvora je poluprečnik otvora ploče R .



Slika 17. Zona uticaja kružnog otvora na naponsko stanje jednoosno zategnute homogene izotropne ploče

Za proizvoljnu jednoosno zategnutu homogenu izotropnu ploču dimenzija b , L i h otvor neće imati uticaja na naponsko stanje ploče u onim delovima ploče za koje važi:

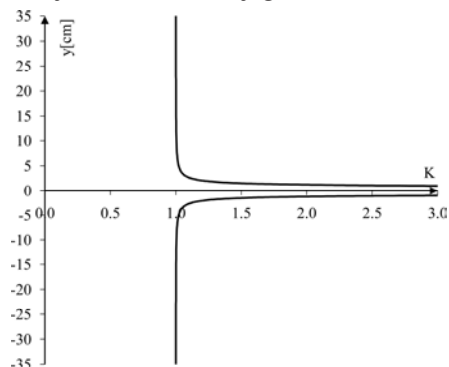
$$b > 2R_z \text{ i } L > 2R_z, \text{ odnosno } b > 60R \text{ i } L > 60R$$

6. FAKTOR KONCENTRACIJE NAPONA

Faktor koncentracije napona definiše se kao odnos napona u ploči oslabljenoj otvorom σ_x , i nominalnog napona u ploči bez otvora $\sigma_{x,n}$.

$$K = \frac{\sigma_x}{\sigma_{x,n}} \quad (11)$$

Promena vrednosti faktora koncentracije napona K u funkciji od koordinate y za ploču P2 oslabljenu sa otvorom data je na sledećem dijagramu:



Slika 18. Dijagram promene faktora koncentracije napona u zavisnosti od koordinate y za ploču P2

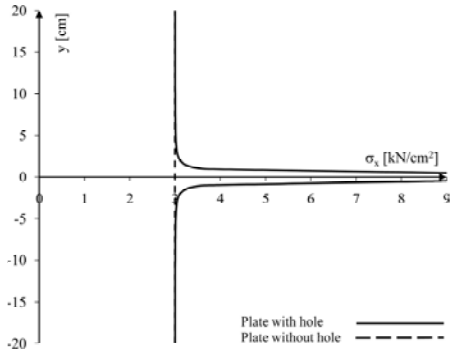
Dijagram na slici 18 prikazuje zakonitost promene vrednosti faktora koncentracije napona K u funkciji od koordinate y , odnosno poluprečnika otvora ploče R . Za vrednosti koordinata ($x=0$, $y=\pm R$), odnosno ($\rho=R$, $\theta=90^\circ$ i $\theta=270^\circ$) vrednost faktora koncentracije napona je maksimalna i iznosi $K=3$. Znači, na tom mestu napon ploče sa otvorom je trostruko veći u odnosu na napon ploče koja nije oslabljena otvorom. Takođe, proračunom se dobija vrednost faktora koncentracije napona $K=1$ za vrednosti koordinata ($x=0$, $y=\pm 30R$), odnosno ($\rho=30R$, $\theta=90^\circ$ i $\theta=270^\circ$), čime se potvrđuje ispravnost relacije (10) kojom je definisana zona uticaja otvora na naponsko stanje ploče.

Poluprečnik otvora ploče R opet se identifikuje kao jedini uticajni parametar na zakonitost promene vrednosti faktora koncentracije napona. Ova zakonitost promene vrednosti faktora koncentracije napona K u funkciji

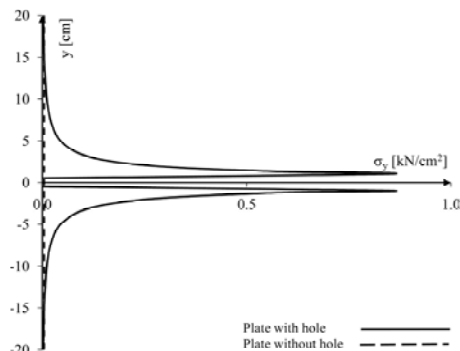
koordinata, odnosno poluprečnika otvora R identična je za svaku jednoosno zategnutu homogenu izotropnu ploču proizvoljnih dimenzija b , L i h .

7. VERIFIKACIJA

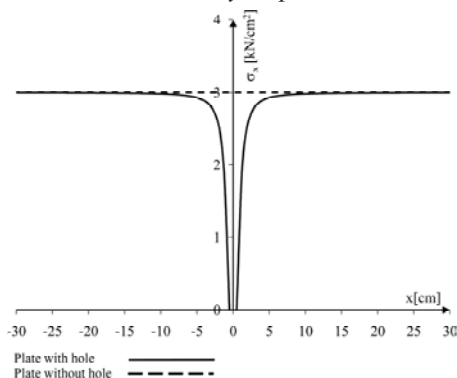
Zbog verifikacije prethodnih rezultata analizirana je i homogena izotropna ploča P3 opterećena raspoljenom silom zatezanja $S=3[kN/cm^2]$, a dimenzije ploče su: $R=0,5[cm]$; $h=0,8[cm]$; $b=40[cm]$; $L=60[cm]$. Uporedne vrednosti napona za ploču P3 date su na sledećim dijagramima.



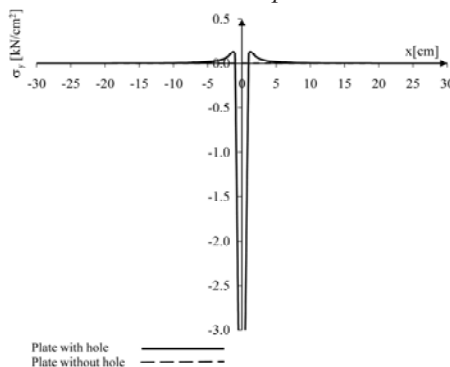
Slika 19. Uporedni dijagram promene napona σ_x u preseku duž ose y za ploču P3



Slika 20. Uporedni dijagram promene napona σ_y u preseku duž ose y za ploču P3

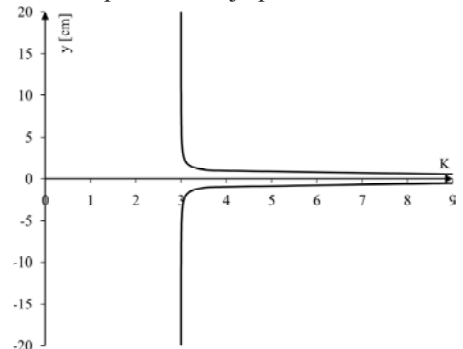


Slika 21. Uporedni dijagram promene napona σ_x u preseku duž ose x za ploču P3



Slika 22. Uporedni dijagram promene napona σ_y u preseku duž ose x za ploču P3

Varijacijom vrednosti koordinate ρ u algoritmu za izračunavanje vrednosti napona prema izrazima (1-8) kao i sa dijagrama na slikama 19-22 za ploču P3 takođe uočavamo da su na rastojanjima $x=\pm 30R$ i $y=\pm 30R$ naponi ploče bez otvora i naponi ploče sa otvorom jednaki, što znači da na tim rastojanjima uticaj otvora na naponsko stanje ploče nestaje. Dakle, za vrednost koordinate $\rho=30R=15[cm]$ naponi su konstantni i jednaki naponima u ploči koja nije oslabljena otvorom, što znači da i za ploču P3 takođe važi relacija (10) kojom se definiše zona uticaja otvora na naponsko stanje ploče.



Slika 23. Dijagram promene faktora koncentracije napona u zavisnosti od koordinate y za ploču P3

Za vrednosti koordinata ($x=0, y=\pm R$), odnosno ($\rho=R, \theta=90^\circ$ i $\theta=270^\circ$) vrednost faktora koncentracije napona je maksimalna i opet iznosi $K=3$. I u ovom slučaju proračunom se dobija vrednost faktora koncentracije napona $K=1$ za vrednost koordinata ($x=0, y=\pm 30R$), odnosno ($\rho=30R, \theta=90^\circ$ i $\theta=270^\circ$), čime se verifikuje relacija (10).

Dobijenim rezultatima za ploču P3 potvrđuje se izraz kojim se definiše zona uticaja otvora i zakonitost raspodele faktora koncentracije napona u funkciji poluprečnika kružnog otvora R .

8. ZAKLJUČAK

Za određivanje naponskog stanja u mašinskim konstrukcijama sastavljenim od elemenata tipa jednoosno zategnute homogene izotropne ploče oslabljene kružnim otvorom moguće je koristiti jednačine teorije elastičnosti ili metod konačnih elemenata. U oba slučaja dobijaju se generalno identične raspodele napona, uz izvesna odstupanja koja imaju veće vrednosti kod manjih vrednosti napona. Kod većih vrednosti napona, koje su merodavne za procenu stanja mašinskog dela ili konstrukcije, ova odstupanja su manja i kreću se u granicama do 7%.

Teorijska metoda koja bazira na primeni jednačina teorije elastičnosti daje tačnije rezultate, i njena primena se preporučuje u slučajevima kada se zahteva visoka tačnost proračuna.

Primenom te metode u ovom radu određena je zona uticaja kružnog otvora na naponsko stanje ploče. Takođe, određen je faktor koncentracije napona, kao i njegova zavisnost od poluprečnika otvora ploče. Za svaku proizvoljno izabranu homogenu izotropnu jednoosno zategnutu ploču oslabljenu kružnim otvorom poluprečnika R zona uticaja otvora na naponsko stanje ploče definisana je izrazom $R_z \leq 30R$. Faktor koncentracije napona je maksimalan i iznosi $K=3$ na samoj konturi kružnog otvora ploče za vrednosti koordinata ($x=0, y=\pm R$), odnosno ($\rho=R, \theta=90^\circ$ i $\theta=270^\circ$). Poluprečnik kružnog otvora R identifikuje se kao jedini uticajni parametar na veličinu zone uticaja otvora na naponsko stanje ploče, i na zakonitost promene vrednosti faktora koncentracije napona.

Rezultate ovog rada treba imati u vidu prilikom projektovanja elemenata mašinskih konstrukcija tipa

homogene izotropne jednoosno zategnute ploče koja je oslabljena kružnim otvorom. Zbog prisustva koncentracije napona, može doći do situacije da naponska stanja dobijena klasičnim metodama proračuna nisu pravilno identifikovana i ne predstavljaju realno stanje opterećenog mašinskog dela ili konstrukcije. Dimenzionisanje i optimizacija izvršena na bazi takvih naponskih stanja može u velikom broju slučajeva izazvati potencijalnu opasnost usled koje mogu nastupiti neželjene posledice u eksploataciji konstrukcije.

Iz tog razloga se još jednom podvlači značaj primene metoda zasnovanih na jednačinama teorije elastičnosti, koje omogućavaju potpunu i egzaktnu identifikaciju naponskih stanja u tačkama opterećenog mašinskog dela ili konstrukcije. Pored primene prethodno navedenih metoda na kraju, ali ne i na poslednjem mestu naglašava se i značaj izvođenja eksperimentalnih ispitivanja koja omogućavaju verifikaciju svih dobijenih rezultata i identifikaciju stanja mašinskih konstrukcija u stvarnim eksploatacionim uslovima.

REFERENCE

- [1] Troyani N., Gomes C., Sterlacci G.: Theoretical Stress Concentration Factors for Short Rectangular Plates With Centered Circular Holes. *Journal of Mechanical Design*, Volume 124, Issue 4, pp 126-128, 2002.
- [2] Chen P. S., Archer R. R.: Stress concentration factors due to the bending of a thick plate with circular hole, *Archive of Applied Mechanics*, Volume 59, Number 6, pp. 401-411, 1989.
- [3] Chandrashekhara K., Muthanna S. K.: Stress analysis of a thick plate having a circular hole under axisymmetric radial load, *Archive of Applied Mechanics*, Volume 47, Number 1, pp. 1-9, 1978.
- [4] Wang Q. Z.: Stress concentration factors for an eccentric circular hole in a finite-width strip or in a semi-infinite plate in tension, *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, Volume 39, Number 6, pp 625-630, 2004.
- [5] Bojić N., Jugović Z., Popović M.: Uticaj oblika otvora na naponsko stanje delova mašinskih konstrukcija pri jednoosnom zatezanju ploča, *IMK-14 - Istraživanje i razvoj*, vol. 16, br. 2, str. 17-22, 2010.
- [6] Timoshenko S., Goodier J. N.: *Theory of elasticity*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Company; 1951.
- [7] Petrović D.: Naponi i deformacije vagonkog postolja koje je oslabljeno otvorima, *Magistarski rad*, Mašinski fakultet Beograd, 1988.

IDENTIFICATION OF THE EFFECTS OF CIRCULAR HOLE ON THE STRESS STATE OF HOMOGENEOUS ISOTROPIC UNIAXIAL TENSIONED PLATE

Abstract: *The paper analyzes the effects of circular hole on the stress state of uniaxial tensioned homogeneous isotropic plate. Applied methodology allows the exactly determination of the stresses at every point of plate, and the contour of the circular hole, which is based on the application of the basic equations of elasticity theory that describe the plane stress state in polar coordinates. The obtained results were verified using finite element method (FEM), where the calculation is performed in the software package ANSYS 12. By varying the values of polar coordinates in the calculating algorithm and comparing the stresses for the plate with hole with the appropriate stresses for a plate without hole where determined the zone of impact of hole on the stress state and the law of change of stress concentration factor of considered plate. The radius of the hole was identified as the only parameter that influence on size of the zone of impact of hole on the stress state and the values of stress concentration factor. It is proven that the expression which defines the zone of impact of hole on the stress state and the law of change of stress concentration factor apply for every homogeneous isotropic uniaxial tensioned plate of any dimensions, weakened by hole of any radius.*

Keywords: *zone of impact, circular hole, plate, stress state, tension, stress concentration*