



**Univerzitet u Beogradu**  
**Elektrotehnički fakultet**

# **PROJEKTOVANJE POMOĆU RAČUNARA**

## **U ELEKTROENERGETICI**

**Osnovne akademske studije**

**Dr Zlatan Stojković, redovni profesor**  
**[zstojkovic@etf.rs](mailto:zstojkovic@etf.rs)**  
**<http://ees.etf.rs>**

ANSYS

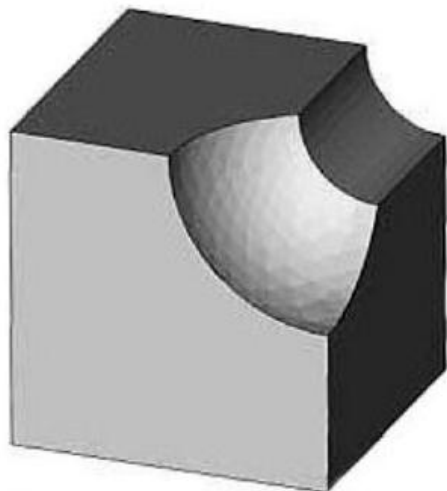
---

# UVOD

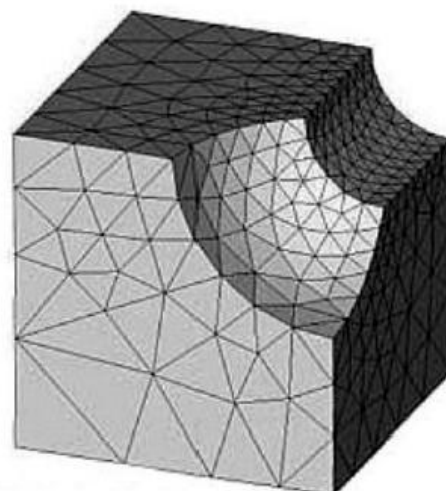
---

## ANSYS:

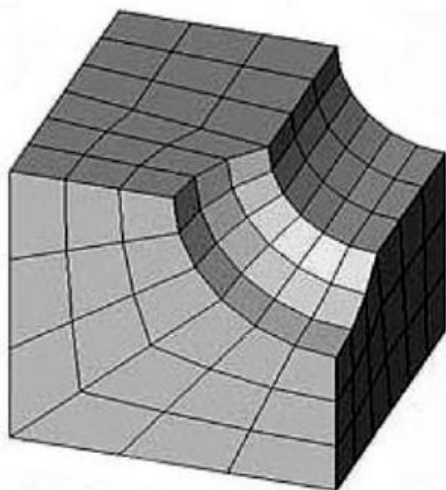
1. Formiranje računarskih modela ili prenos postojećih CAD modela raznih struktura, proizvoda, komponenata ili celih sistema
2. Predviđanje ponašanja i mogućnosti sistema usled prisustva opterećenja
3. Proučavanje fizičkih odziva kao što su naprezanje materijala, raspodela temperature ili elektromagnetnog polja
4. Optimizacija dizajna u ranim fazama procesa razvoja proizvoda u cilju smanjenja proizvodnih troškova
5. Simulacija ponašanja proizvoda u sredinama za koje su izrada i testiranje pravih prototipova nemogući ili nepoželjni



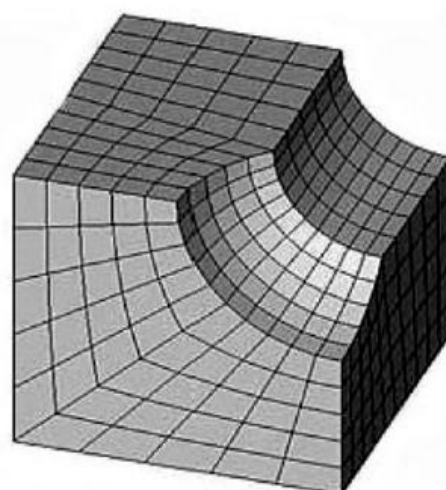
a) Model pre generisanja mreže



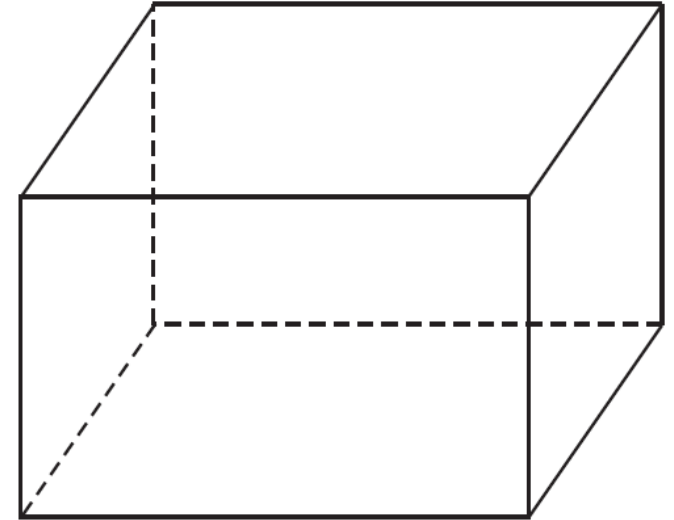
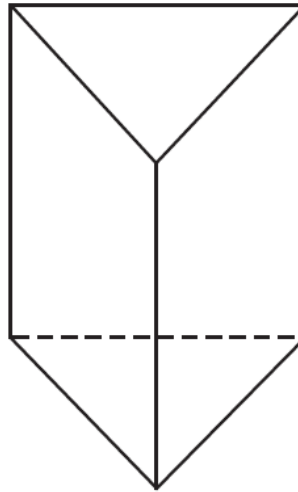
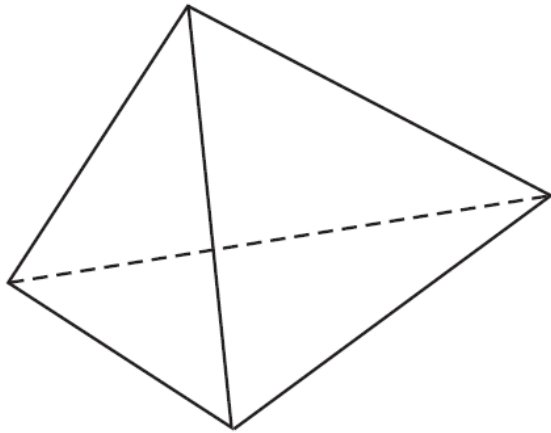
b) Slobodan tip mreže



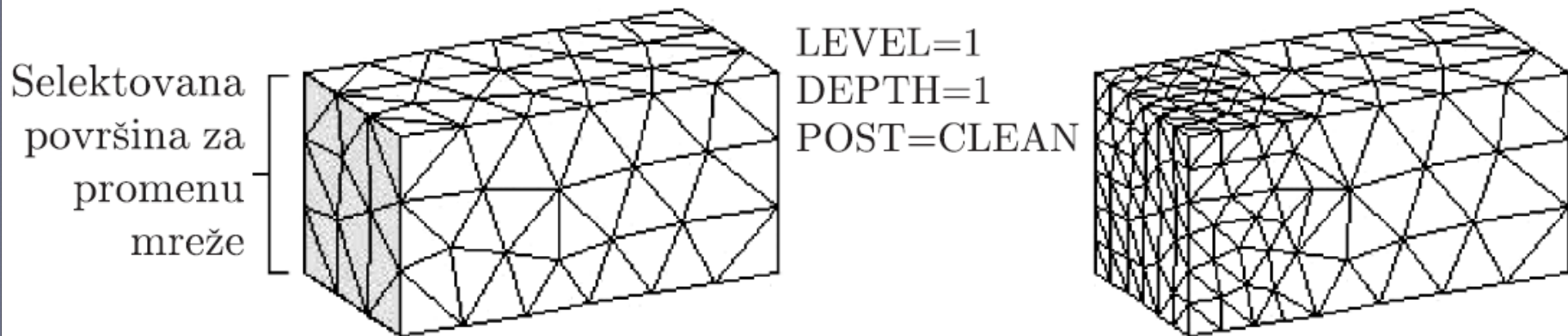
c) Mapiran tip mreže sa osnovnom veličinom elementa



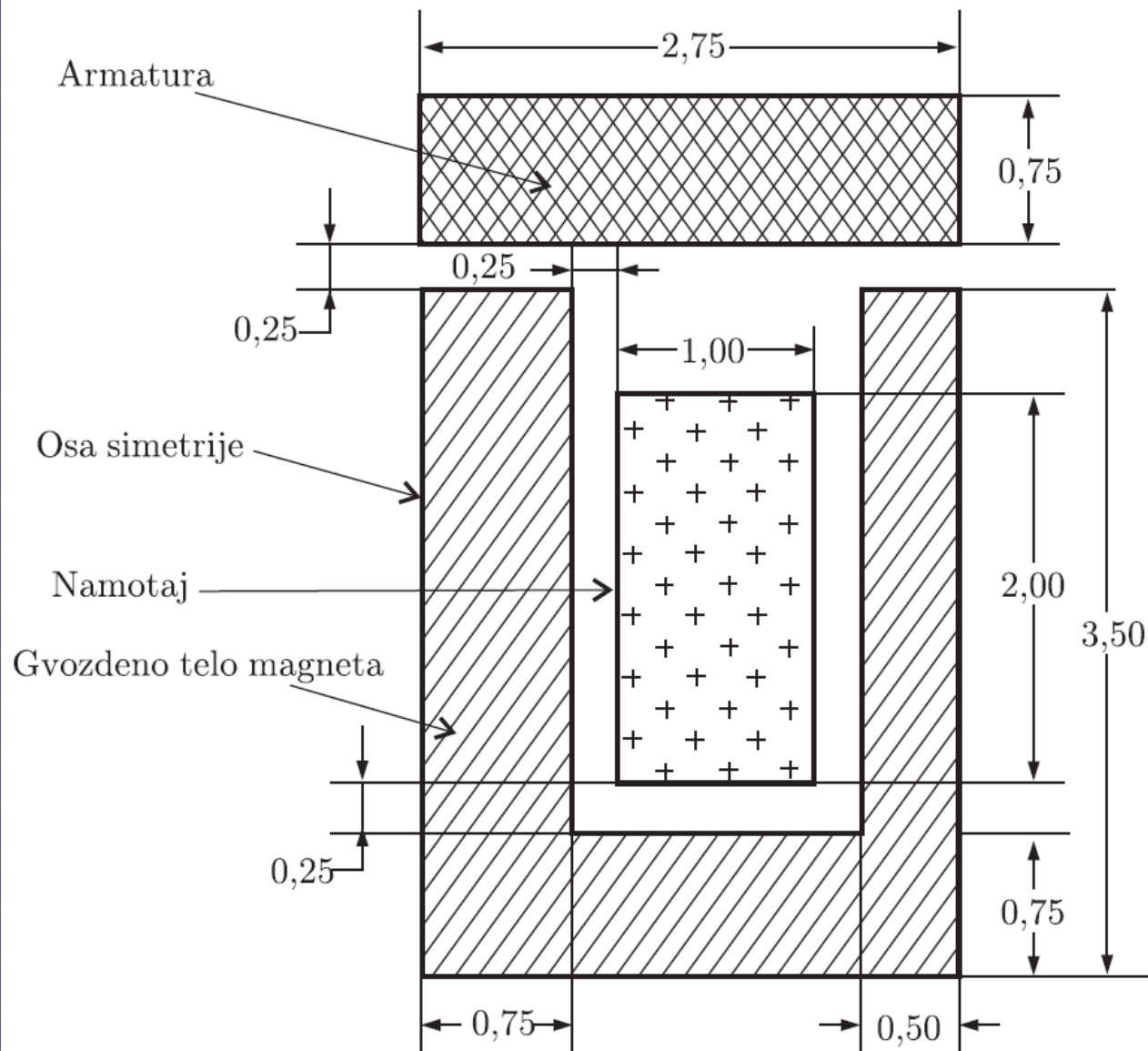
c) Mapiran tip mreže sa smanjenom veličinom elementa



Sl. 2.131 – 3D konačni elementi



Sl. 2.147 – Promena mreže na lokalnom nivou 3D objekta



Sl. 2.148 – Geometrija modela elektromagneta



# Algoritam za analizu

---

-formiranje geometrije modela

Korak 1: generisanje modela ili unos odgovarajuće datoteke

-definisanje materijala

Korak 2: podešavanje prioriteta analize (Preferences)

Korak 3: određivanje svojstava materijala

-generisanje mreže elemenata

Korak 4: definisanje tipa elemenata i odgovarajućih opcija

Korak 5: dodela odgovarajućih atributa elementima

Korak 6: podešavanje mrežnih kontrola unutar vazdušnog zazora

Korak 7: generisanje mreže primenom alata MeshTool

Korak 8: podešavanje odgovarajućih jedinica



# Algoritam za analizu

---

-primena opterećenja

Korak 9: definisanje armature kao jedne komponente

Korak 10: primena graničnih uslova na armaturu

Korak 11: definisanje gustine struje

Korak 12: podešavanje parametara za rešavanje fluksa

-dobijanje rešenja

Korak 13: primena komande SOLVE

-pregled rezultata

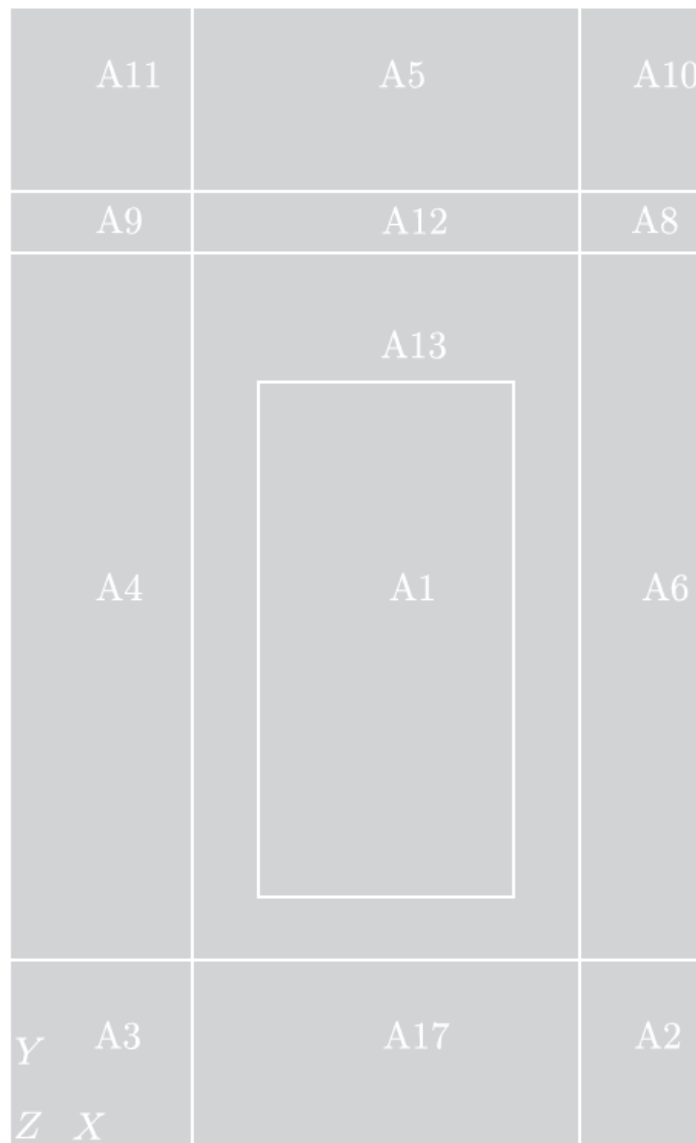
Korak 14: prikaz linija fluksa u modelu

Korak 15: prikaz raspodele mehaničke sile i dobijanje ukupne sile

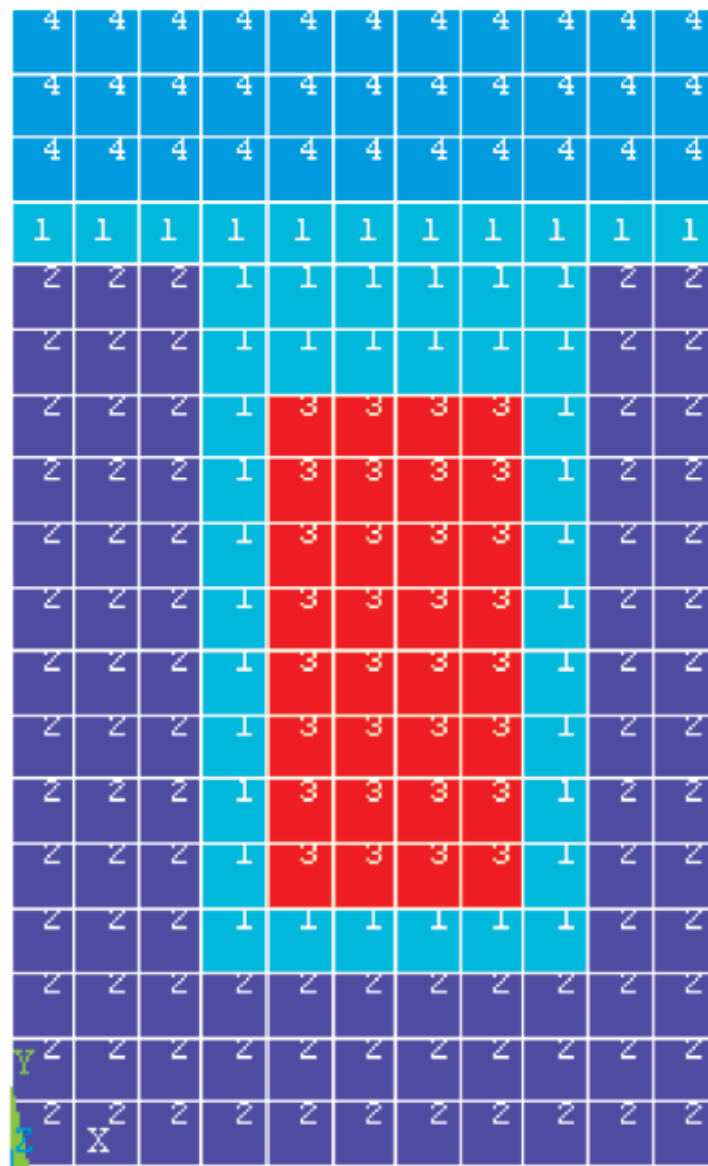
Korak 16: prikaz magnetne indukcije u vektorskoj formi

Korak 17: prikaz intenziteta magnetne indukcije

Korak 18: završetak rada u ANSYS-u

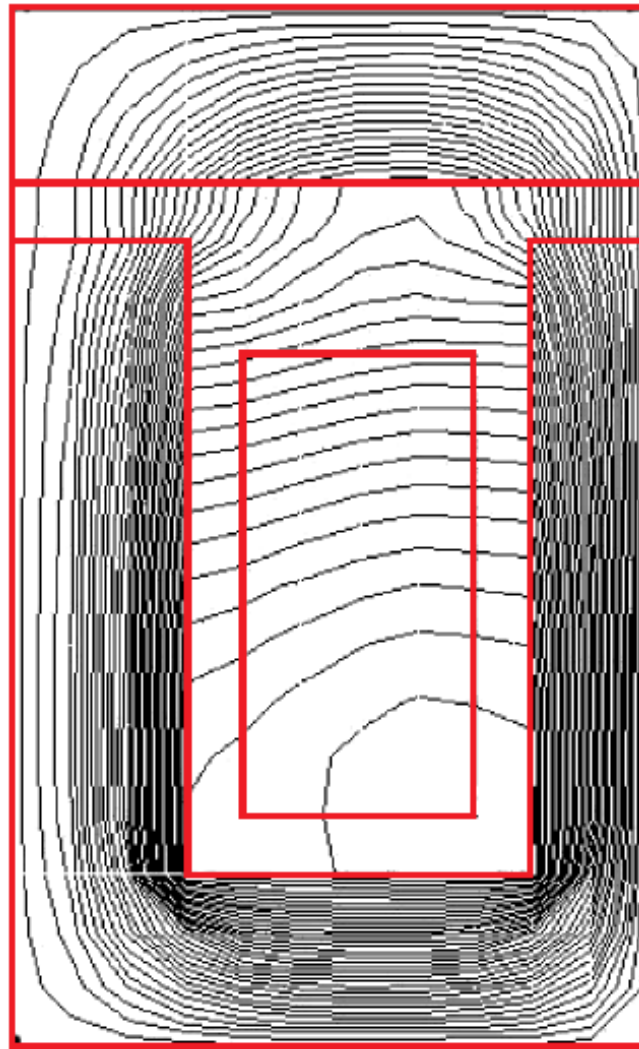


Sl. 2.149 – Formiran model elektromagneta



Sl. 2.150 – Izgled formirane mreže elemenata

1

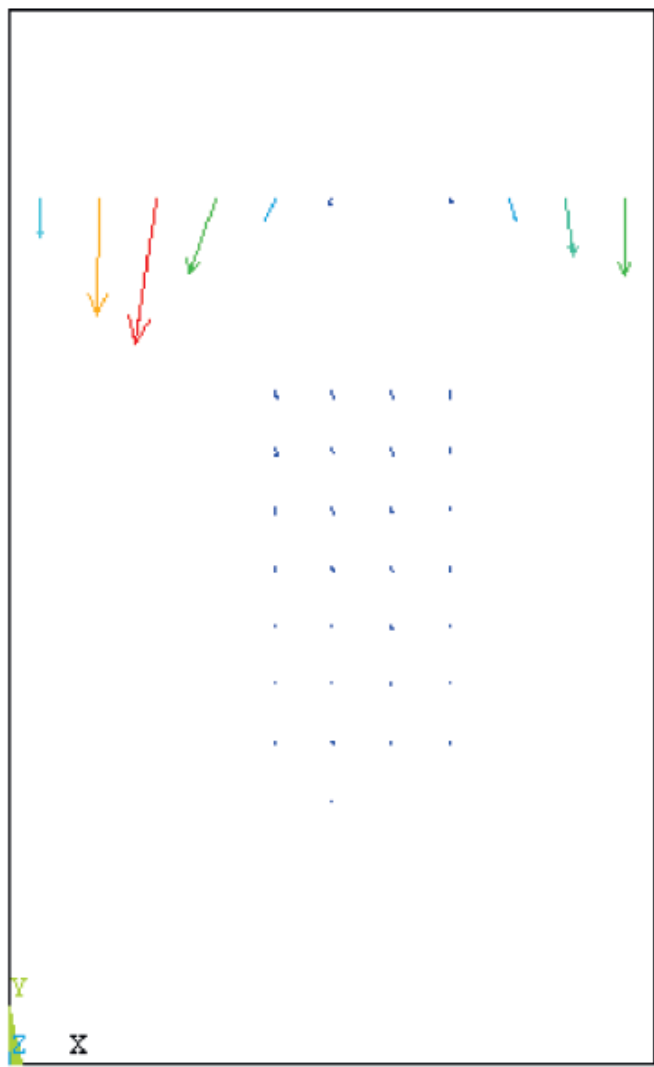


```
ANSYS 8.0  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
AZ  
RSYS=0  
SMX =.199E-04
```

```
ZV =1  
DIST=.02475  
XF =.01375  
YF =.0225  
.285E-06  
.142E-05  
.256E-05  
.370E-05  
.484E-05  
.598E-05  
.712E-05  
.826E-05  
.997E-05  
.111E-04  
.122E-04  
.134E-04  
.145E-04  
.157E-04  
.168E-04  
.179E-04  
.196E-04
```

Sl. 2.151 – Linije magnetnog polja

1



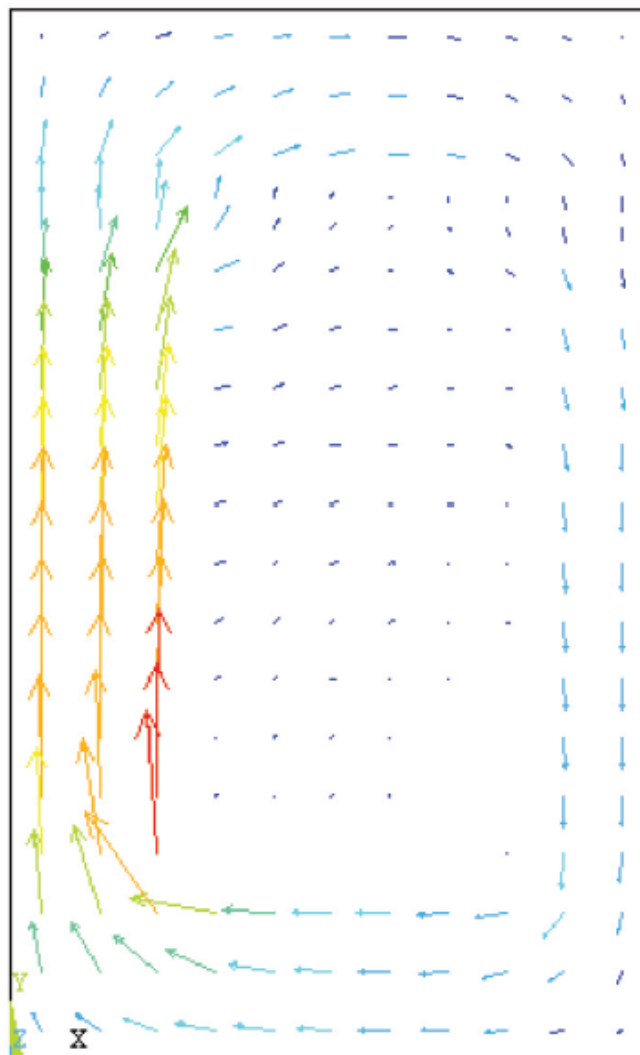
ANSYS 8.0  
VECTOR  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
FMAG  
ELEM=144  
MIN=0  
MAX=1.486  
  
ZV =1  
DIST=.02475  
XF =.01375  
YF =.0225  
Z-BUFFER  
EDGE  
0  
0  
.165153  
.330305  
.495458  
.660611  
.825763  
.990916  
1.156  
1.321  
1.486

Sl. 2.152 – Raspodela sile koja deluje na pomični deo elektromagneta

```
fmagsum.out
File
SUMMARY OF FORCES BY VIRTUAL WORK
Load Step Number:      1.
Substep Number:       1.
Time:                  0.1000E+01
Units of Force:        ( N )
Component              Force-Y
  ARM                  -0.57202E+01
-----
SUMMARY OF FORCES BY MAXWELL STRESS TENSOR
Units of Force:        ( N )
Component              Force-Y
  ARM                  -0.55983E+01
-----
Note: Maxwell forces are in the Global Cartesian coordinate system.
Virtual work forces are in the element ESYS coordinate system.
The forces correspond to a full 360 degree revolution of the cross
section (an axisymmetric model).
The following element table items are available for printing and
plotting of the forces obtained by Virtual Work and the Maxwell Stress
Tensor methods.
  Element Item Name      Method      Direction
  FUW_Y                  Virtual Work  Y
  FMX_Y                  Maxwell Stress  Y
-----
```

Sl. 2.153 – Prikaz dobijenih rezultata o ukupnoj mehaničkoj sili

1



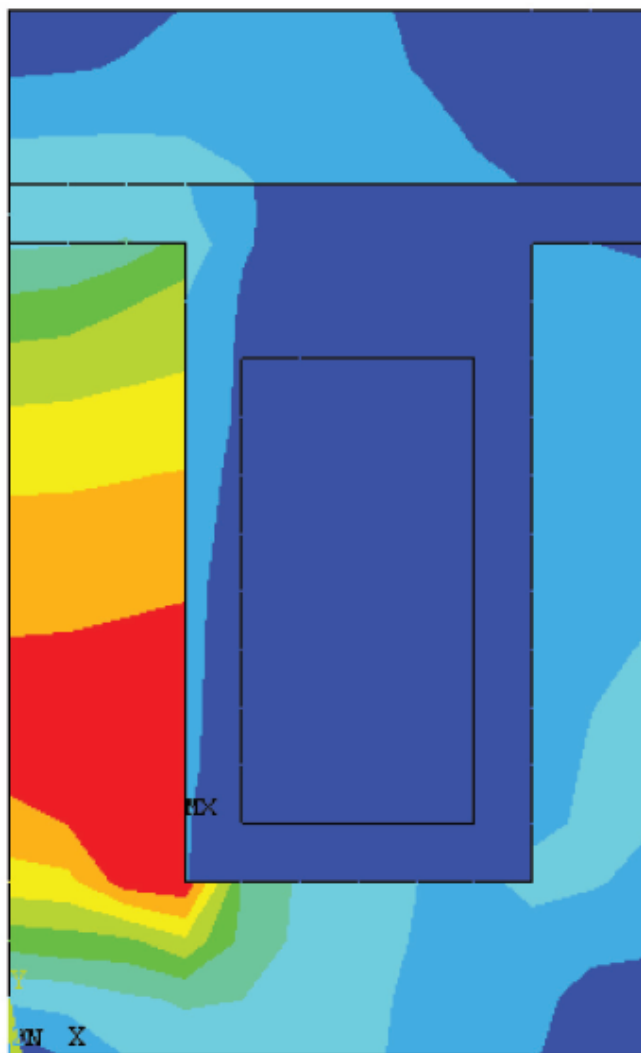
ANSYS 8.0  
VECTOR  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
B  
ELEM=136  
MIN=0  
MAX=.751626  
  
ZV =1  
DIST=.02475  
XF =.01375  
YF =.0225  
Z-BUFFER  
EDGE  
0

■	.083514
■	.167028
■	.250542
■	.334056
■	.41757
■	.501084
■	.584598
■	.668112
■	.751626

Sl. 2.154 – Vektorski prikaz polja



1

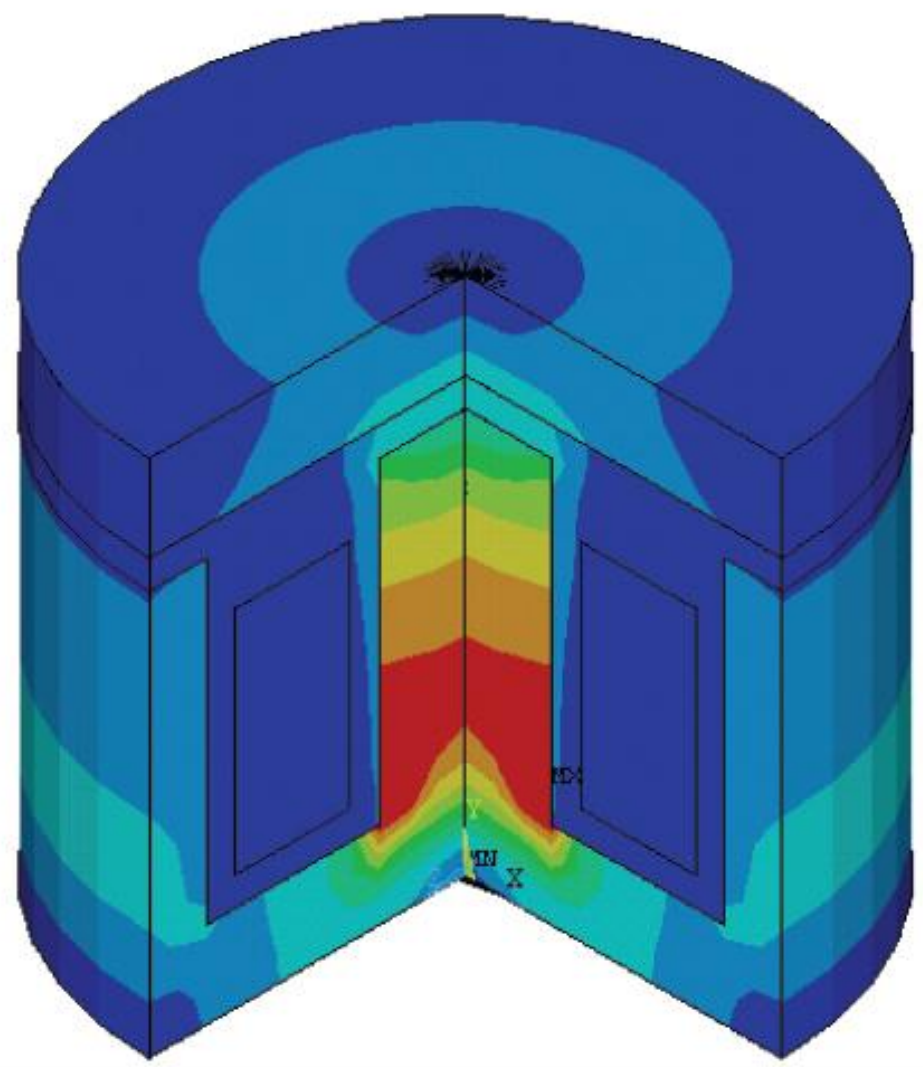


```
ANSYS 8.0  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
BSUM      (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
SMX =.710666
```

```
ZV =1  
DIST=.02475  
XF =.01375  
YF =.0225  
Z-BUFFER  
0  
.078963  
.157926  
.236889  
.315852  
.394814  
.473777  
.55274  
.631703  
.710666
```

Sl. 2.155 – Prikaz intenziteta magnetnog polja

1



```
ANSYS 8.0
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
/EXPANDED
BSUM      (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
SMX =.710666

XV  =1
YV  =1
ZV  =1
*DIST=.034508
*XF  =-.001409
*YF  =.025318
*ZF  =-.001409
Z-BUFFER
0
.078963
.157926
.236889
.315852
.473777
.55274
.631703
.710666
```

Sl. 2.156 – 3D prikaz modelovanog sistema

# LITERATURA

---

- [1] J.H. Mathews, K.D. Fink: Numerical methods using MATLAB, Fourth edition, Pearson Education International, 2004.
- [2] Z. Stojković, P. Vučetić, M. Bubnjević, A. Mijalčić, B. Bjelanović: Primena baza podataka u projektovanju visokonaponskih postrojenja, Elektroprivreda, Br. 1, 2005, str. 3-19.
- [3] M. Marinković, Z. Stojković: Programski alat SPLCAD za projektovanje srednjenaponskih nadzemnih vodova, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2009.
- [4] Razvoj prostornog skenera magnetskog polja za dijagnostiku opreme u elektroenergetskim sistemima i zaštitu okoline, Projekat tehnološkog razvoja, TR-17031, Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, 2008-2011, (rukovodilac: Z. Stojković)
- [5] Modeling and simulation of the power plants and power systems in the Balkan region under a new technological and market environment, Faculty of Electrical Engineering, Rostock, FR Germany, Faculty of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia, 2006-2007, (koordinator projekta: Z. Stojković)
- [6] M. Lovrić, Z. Stojković: Modelovanje turbinskog regulatora hidroelektrane Kokin Brod primenom programa MATLAB / Simulink, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2007.
- [7] D. Stojanović, Z. Stojković: Modelovanje hidrauličkog i mehaničkog dela hidroelektrane Kokin Brod primenom programa MATLAB / Simulink, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2007.
- [8] A.M. Miri, Z. Stojković: Transient electromagnetic phenomena in the secondary circuits of voltage and current transformers in GIS (measurements and calculations), IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 4, Oct 2001, pp. 571-575.

# LITERATURA

---

- [9] A.M. Miri, Z. Stojković: Elektromagnetni prelazni procesi u sekundarnim kolima mernih transformatora u SF6 postrojenju, Elektroprivreda, Br. 4, 1999, str. 61-66.
- [10] Z. Stojković, A. M. Miri, G. Mitrić: Proračun porasta potencijala metalnog oklopa gasom SF6 izolovanog postrojenja izazvanog sklopnim operacijama rastavljačem, Elektroprivreda, Br. 2, 2003, str. 54-59.
- [11] Z. Stojković, A. M. Miri, G. Mitrić: Proračun porasta potencijala metalnog oklopa gasom SF6 izolovanog postrojenja izazvanog sklopnim operacijama rastavljačem, 26. Savetovanje JUKO CIGRE, Ref. 33-06, Teslić, maj 2003.
- [12] Z. Stojković: Studija „Stručna ocena stanja MOP-a HE Višegrad“ ES ENERGO SYSTEMS; Poglavlje 5.3 – Analiza sklopnih prenapona, str. 5.1-5.12, Naručilac JM DP Elektroprivreda RS, ZDP Hidroelektrane na Drini, Višegrad, 2004.
- [13] Procena vrednosti telekomunikacione opreme Telekom Srbija a.d., Elektrotehnički fakultet, Beograd, Naručilac Telekom Srbija a.d., 2005. (Z. Stojković – učešće u studiji).
- [14] Z. Stojković, D. Medan, M. Nikolić, Ž. Stankić, S. Oparnica: Neki aspekti primene programa AutoCAD u računarskom projektovanju, Elektroprivreda, Br. 4, 2003, str. 18-26.
- [15] K. Redžić, Z. Stojković: Projektovanje elektroenergetskih postrojenja primenom makroa u Excel-u, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2008.
- [16] Uputstvo za projektovanje elektroenergetskih sistema i instalacija za napajanje baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema, Naručilac Republička agencija za telekomunikacije – RATEL, Beograd, 2007, (rukovodilac Radne grupe Z. Stojković).



# LITERATURA

---

- [17] I. Jovanov, Z. Stojković: Primena programa Excel u projektovanju napajanja telekomunikacione opreme, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2007.
- [18] D. Medan, Z. Stojković: Trodimenzionalno modelovanje elektroenergetskih objekata primenom programa AutoCAD, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2004.
- [19] Z. Stojković, D. Medan: Softverski alat za projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene, Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2005, Vol. 4, Ref. D-11, mart 2005, str. 186-190.
- [20] Z. Stojković, Ž. Stankić: AutoCAD-based concept for estimating lightning protection zone of transmission lines and structures, International Journal of Electrical Engineering Education (IJEEE), Vol. 43, No. 4, Oct 2006, pp. 299-317.
- [21] Z. Stojković: Evaluation of lightning protection zone using AutoCAD-based software tool, Institute of Power Transmission and High Voltage Technology, University of Stuttgart, FR Germany, Annual Report 2006, pp. 64-67.
- [22] Z. Stojković, Ž. Stankić: Projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene, Elektroprivreda, Br. 3, 2005, str. 84-91.
- [23] Z. Stojković, Ž. Stankić: Projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene, 27. Savetovanje JUKO-CIGRE, Ref. C4-01, Zlatibor, 29. maj – 3. jun 2005.
- [24] Z. Stojković, A. Grujić, S. Tenbohlen: Projektovanje gromobranske zaštite razvodnih postrojenja i nadzemnih vodova, 28. Savetovanje JUKO-CIGRE, Ref. C4-01, Vrnjačka Banja, 30. septembar – 5. oktobar 2007.

# LITERATURA

---

[25] I. Velimirović, Z. Stojković: Trodimenzionalno modelovanje u elektroenergetici primenom programa ANSYS, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2004.