

Osnove praktičnega dela s programom FEMM

D. Križaj, 2015

V4

FEMM (Finite Elements Method Magnetics) je programsko orodje (za Linux in Windows operacijska sistema) za numerično simulacijo električnih in magnetnih pojavov. Je popolnoma brezplačen za uporabo in omogoča izračune potenciala in polja preprostejših 2D struktur. Spletna stran je <http://www.femm.info/wiki/HomePage>. Na tej spletni strani so povezave do naslednjih pomembnih povezav:

Download: od tu naložimo program FEMM in (predlagam) tudi OctaveUPM, ki se zažene v španskem jeziku a je potem vse v angleščini. Omogoča delo podobno kot Matlab, torej vsebuje editor in ostale potrebne pripomočke.

Documentation: tu se nahajajo vsi pomembnejši dokumenti, navodila, tutoriali. Reference manual vsebuje tudi opis vseh relevantnih enačb, ki jih potrebujemo pri numerični simulaciji. Opisuje tudi robne pogoje, nastavitve električnih parametrov materialov itd. Posebno poglavje je posvečeno delu z t.i. LUA skriptnim jezikom.

Examples: zelo dobri primeri iz katerih se lahko veliko naučite.

Contributions: tudi velja prebrati, nekaj dobrih prispevkov o možnostih uporabe s programom SCILAB, Excel-om, itd.


S programom si bomo ogledali porazdelitev potenciala (skalarno polje) in električne poljske jakosti (vektorsko polje) za nekaj izbranih struktur:

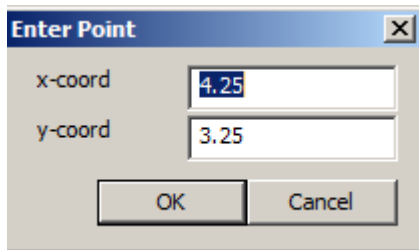
- Idealni zračni ploščni kondenzator (neskončne ravne elektrode)
- »realni« zračni ploščni kondenzator (elektrode končne velikosti)
- Realni kondenzator z dvema dielektrikoma (zrak in guma)
- Dva enako naelektrena valja
- Dva nasprotno naelektrena valja
- Klinasta elektroda
- Celice v polju




Ta dokument in nekaj dodatnih je na strani:

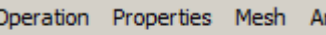
<http://tinyurl.com/aplikativna-elektromagnetika>

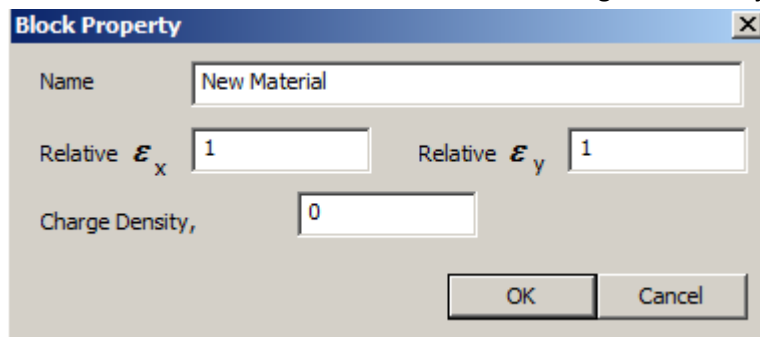
NALOGA 1: Prva struktura

1. File/New izberete Elektrostatično simulacijo
2. Kliknemo  in na delovni površini s kliki označimo meje simulacijske površine. Alternativno lahko kliknete na tipko Tab (tabulator) in prikazalo se bo okno na sliki spodaj, v katerega lahko vnesemo koordinate točke. Ta način je posebno primere, če imamo strukturo vnaprej izrisano in hkrati tudi njene dimenzije. To je vsekakor priporočljivo pri simulaciji konkretne strukture.

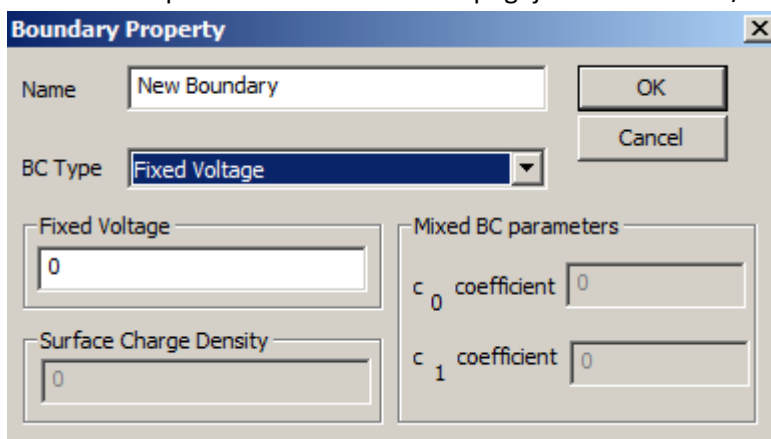


3. Kliknemo  ali  in s klikom na začetek in konec predhodno določenih pik povežemo pike in s tem določimo meje strukture.
4. Kliknemo  za izbiro bloka oziroma prostora, kateremu bomo dodali lastnosti.

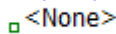
5. Kliknemo Properties  in dodamo Materials/Add Property. Prikaže se okno na sliki spodaj, kjer vpišemo Ime (smiselno, recimo Zrak, Guma, itd) ter relativno dielektričnost v X in Y smeri. Lahko tudi določimo gostoto naboja v tem objektu.

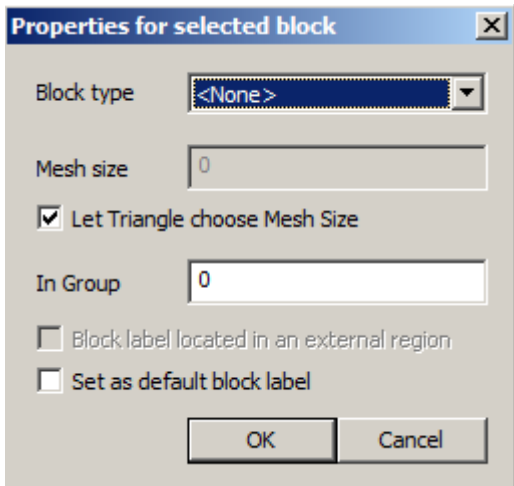


6. Kliknemo Properties in dodamo Robne pogoje na Boundaries/Add Property. Prikaže se okno




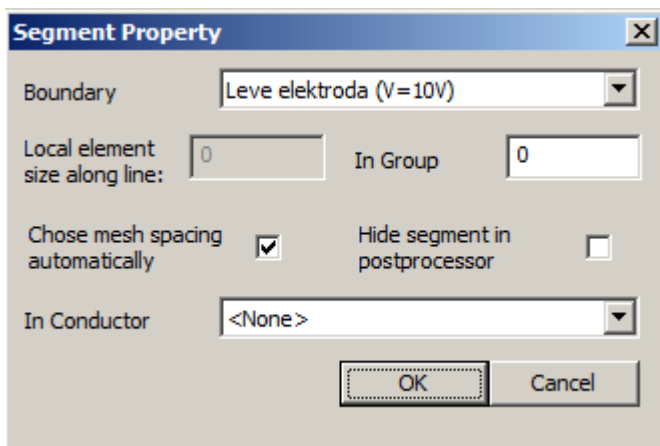
v katerem vpišemo ime (smiselno, recimo Leva elektroda ($V = 10\text{ V}$), itd.) in nato tip robnega pogoja. Najbolj običajen je Fixed voltage (potencial na robu), lahko pa uporabimo tudi mejni pogoj površinske gostote naboja in druge.

7. **Desno** kliknemo na piko  in nato **na tipko za presledek**. Prikaže se okno




V Block type izberete ustrezen predhodno določen material.

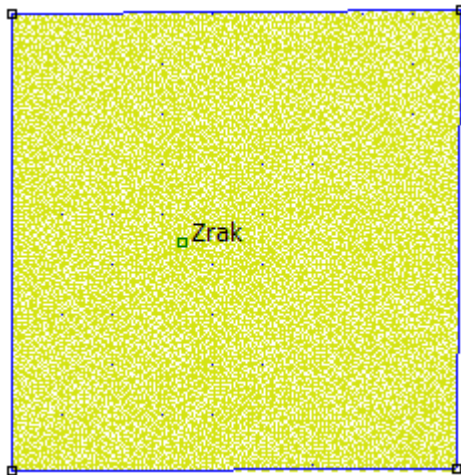
8. Kliknemo na  in nato z desnim kliko na eno od linij. Pri tem se spremeni barva izbrane linije v rdečo. Nato pritisnemo tipko Presledek in prikaže se okno z izbiro robnih vrednosti.



Izberemo ustrezen robni pogoj in nadaljujejo z izbiro ostalih robnih pogojev.

9. Sedaj je struktura pripravljena za mreženje in izračun. Predhodno jo je le še potrebno shraniti na File/Save ali Save As.

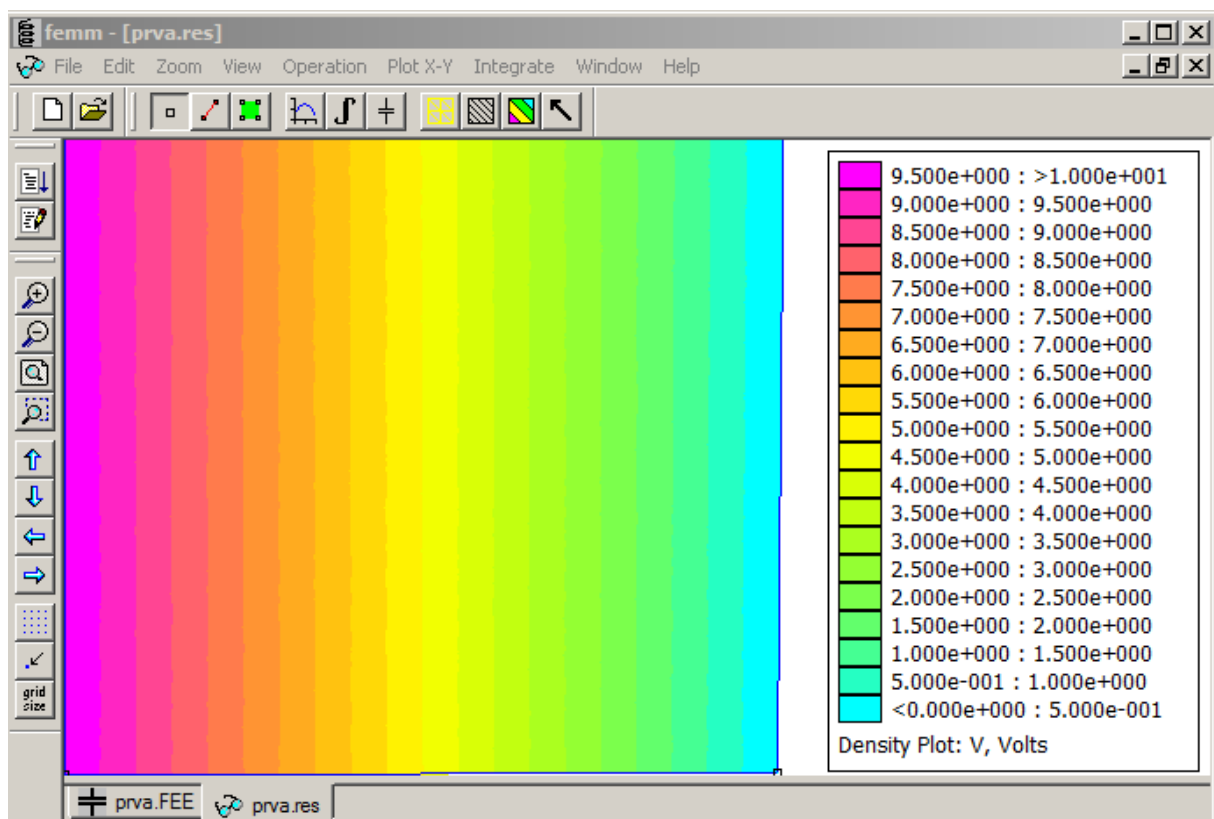
10. Kliknemo na , s čimer se požene generiranje mreženja. Če je vse narejeno pravilno, se mora prikazati omrežena struktura, kot je prikazano na spodnji sliki




11. Nato kliknemo na Analysis in program izračuna porazdelitev potenciala po strukturi. Rezultat vidimo v zavihku Analysis/View Results. Odpre se nov zavihek, v katerem lahko določamo različne prikaze in analize rezultatov.







Analiza rezultatov

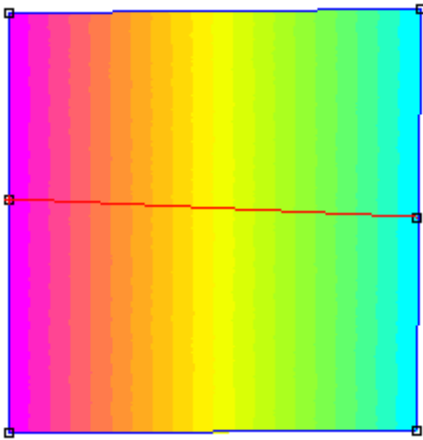
Če je program opravil izračun, se v zavihku View Results prikaže porazdelitev potenciala po strukturi.



Izberemo lahko še druge prikaze:

- S klikom na  lahko izberemo izris gostote električnega pretoka ali električne poljske jakosti.

- S klikom na  lahko izberemo izris z vektorji polja.
- S klikom na  izberemo izris ekvipotencialnih ravnin.
- S klikom na  lahko izračunamo integral tangencialne komponente polja, normalne komponente gostote pretoka, sile ali navora.
- S klikom na  lahko prikažemo spreminjanje določene veličine (npr. potenciala) po določeni liniji. Linijo izberemo predhodno s klikom na  in izbiro ustrezne linije. Če želimo linijo, ki ni že narisana, lahko gremo nazaj v izračun in dodamo dve točki. Nato ponovimo izračun in v analizi rezultatov določimo linijo med točkama ter nato s klikom na  izrišemo graf po tej liniji.



NALOGA 2: Opazovanje polja in potenciala v strukturi iz dveh dielektrikov

Zgradite strukturo na sliki, ki ima dodan pravokotnik. V pravokotniku je zrak, v okolici pa dielektrik z dielektričnostjo 10.



Narišite strukturo na sliki. Naredite izračun polja ter prikažite 2D porazdelitev potenciala, ekvipotencialne ravnine ter vektorski prikaz električne poljske jakosti.

ZAMENJAJ ZA SLIKO

Slika: Na sliki je 2D prikaz porazdelitve potenciala v barvnih odtenkih in ekvipotencialne ravnine.

ZAMENJAJ ZA SLIKO

Slika: Na sliki je 2D prikaz porazdelitve električne poljske jakosti.



Vprašanja:

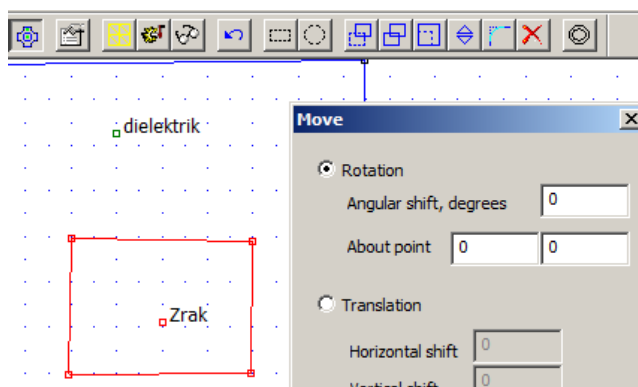
1. Kako in zakaj se spremenijo ekvipotencialne ploskve, če je med dielektrikom zrak?
2. Kje je večja električna poljska jakost, v zraku ali dielektriku? Zakaj?

3. Zamenjajte zrak za dielektrik z 10x večjo relativno dielektričnostjo od okolice in ponovite izračun. Poglejte porazdelitev polja in potenciala ter komentirajte rezultat.

DODAJ SLIKO 2D PORAZDELITVE POTENCIALA IN JO OPIŠI

DODAJ SLIKO VEKTORJEV ELEKTRIČNE POLJSKE JAKOSTI IN JO OPIŠI

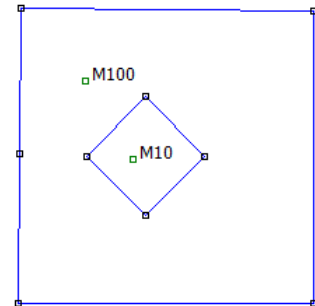
4. Zavrtite notranji pravokotnik in ponovite izračun: Izberite meni Označi in z orodjem za izbiro  označite pravokotnik, ki se bo obarval rdeče. Nato kliknite na  in zavrtite objekt za določen kot, npr. 45 stopinj. Predhodno pogledajte, kje je približno sredina pravokotnika (koordinate se ob premiku miške izpisujejo v kotu levo spodaj) in to vpišite v oknu.




Prikaži rezultat in ga komentirajte. Kje je polje največje in zakaj?

NALOGA 3: Dodatni izračuni

Vzemimo že izdelano strukturo, npr. dielektrik v dielektriku, kjer je notranji dielektrik oblike zavrnjenega pravokotnika in opravimo še dodatne izračune, ki jih omogoča program FEMM, kot so izračun določene veličine v poljubni točki, na liniji, v volumnu oz. po površini.



1. Izberite gumb  in se pomaknite v poljubno točko ter kliknite z miško. V posebnem oknu se prikažejo vrednosti veličin v tej točki. (Če se okno ne prikaže, v meniju View izberite Point Properties).


```
FEMM Output
Point: x=2.58, y=2.48
V = 4.74474 V
|D| = 1.81562e-008 C/m^2
Dx = 1.78124e-008 C/m^2
Dy = -3.51639e-009 C/m^2
|E| = 205.057 V/m
Ex = 201.175 V/m
Ey = -39.7144 V/m
ex = 10 (rel)
ey = 10 (rel)
nrg = 1.86152e-006 J/m^3
```

Izberite točko v sredini in določite velikost potenciala in polja:

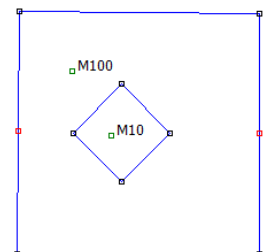
$V(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$
 $E_x(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$
 $E_y(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$
 $E(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$

Izberite točko v pred dielektrikom in določite velikost potenciala in polja:

$V(\text{pred dielektrikom}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$
 $E_x(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$
 $E_y(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$
 $E(\text{sredina}) = \text{vnesi vrednost in enoto}$

2. Izberite meni linijo  ter povlecite linijo v prečni smeri od leve do desne elektrode. Prikaže se rdeča črta. Če z izbiro niste zadovoljni pritisnite Esc in črta se bo izbrisala. Kliknite meni za izris linije ter izberite izris potenciala ali polja po liniji. Preverite lahko, če držijo mejni pogoji za električno poljsko jakost.

Za izris boste potrebovali dodatni dve točki, ki jih dodajte v osnovnem oknu. Tam dodajte le točki narisani rdečo na sliki, ne pa tudi linij, ker bi v slednjem primeru morali dodatno določiti tudi področja, ki ste jih z linijami razmejili. Linije dodate v oknu, kjer je izrisana rešitev (polje).



DODAJ SLIKO POTENCIALA PO PRESEKU IN JO OPIŠI

DODAJ SLIKO POLJA PO PRESEKU IN JO OPIŠI

- Izberite meni z integralom in izračunajte integral tangencialne komponente polja po liniji. Komentirajte rezultat!


Integral tangencialne komponente polja vzdolž linije je: **izpiši vrednost**

Komentar: **komentar**

- Izberite linijo vzdolž leve elektrode in izračunajte integral normalne komponente vektorja D vzdolž linije. Komentirajte rezultat!

Integral normalne komponente vektorja D vzdolž linije je: **izpiši vrednost**

Komentar: **komentar**

- Izberite meni za bloke  ter označite oba objekta. Nato kliknite na meni z integralom ter izračunajte z integracijo gostote energije izračunajte elektrostatično energijo shranjeno v polju.

Integral gostote energije v objektu je: **izpiši vrednost**

Komentar: **komentar**

- Izračunajte kapacitivnost strukture iz izračunane energije.

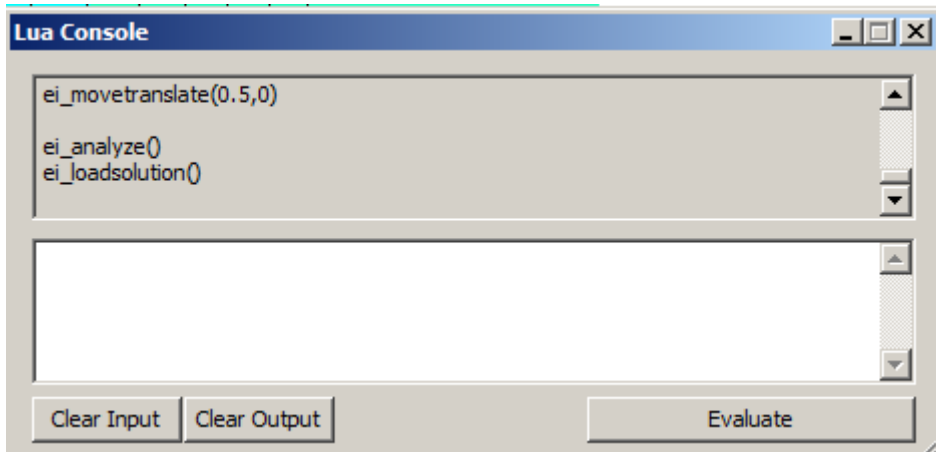
Kapacitivnost je:

7. Preverite, če se kapacitivnost spremeni, če povečate priključeno napetost za npr. 2x.
8. Preverite, če se kapacitivnost spremeni, če se spremeni dielektrik.

V naslednji nalogi se naučite delo z ukazi LUA in tako npr. spreminjajte dielektričnost v zanki in izračunavajte kapacitivnost.

NALOGA 4: Delo z LUA ukazi

LUA je skriptni jezik, ki olajša delo s programom. Bolj večji uporabniki naredijo celotno simulacijsko strukturo z uporabo LUA. Glavna prednost je v tem, da lahko fleksibilno spreminjamo vse parametre analize. Ta način je zelo primeren za parametrične izračune, torej tedaj, ko en parameter spreminjamo in nas zanima, kako se pri tem spreminja rešitev. Npr. da spreminjamo obliko objekta ali določen snovni parameter. Okno z LUA konzolo dobimo s klikom menija View/Lua Console.



Spreminjanje snovnih lastnosti

Izvedimo spremembo relativnih dielektričnosti notranjega objekta (v tem primer imenovanega »Zrak«, ter nastavimo vrednosti relativnih dielektričnosti v x in y smeri na 1. Pomagamo si z ukazi, ki jih razberemo iz Priročnika (Manual):

mo

`ei_modifymaterial("BlockName", propnum, value)` This function allows for modification of a material's properties without redefining the entire material (e.g. so that current can be modified from run to run). The material to be modified is specified by "BlockName". The next parameter is the number of the property to be set. The last number is the value to be applied to the specified property. The various properties that can be modified are listed below:

propnum	Symbol	Description
0	BlockName	Name of the material
1	ex	x (or r) direction relative permittivity
2	ey	y (or z) direction relative permittivity
3	qs	Volume charge

Primer: s spodnjim ukazom določimo vrednost relat. dielektričnosti na 10:

```
ei_modifymaterial("Zrak",1,10,2,10)
ei_analyze()
ei_loadsolution()
```

Povečujte vrednosti relativnih dielektričnosti in opazujte spremembe polja in potenciala po izračunu.

Uporaba zanke za večkratne izračune

Če želimo avtomatizirati proces spreminjanja vrednosti relativnih dielektričnosti, to opravimo z zanko. Spodnji izrazi spreminjajo v zanki relativne dielektričnosti objekta »Zrak« od 1 do 20 v korakih po 4.

```
for er=1,20,4 do
```

```
ei_modifymaterial("Zrak",1,er,2,er)
```

```
ei_analyze()
```

```
ei_loadsolution()
```

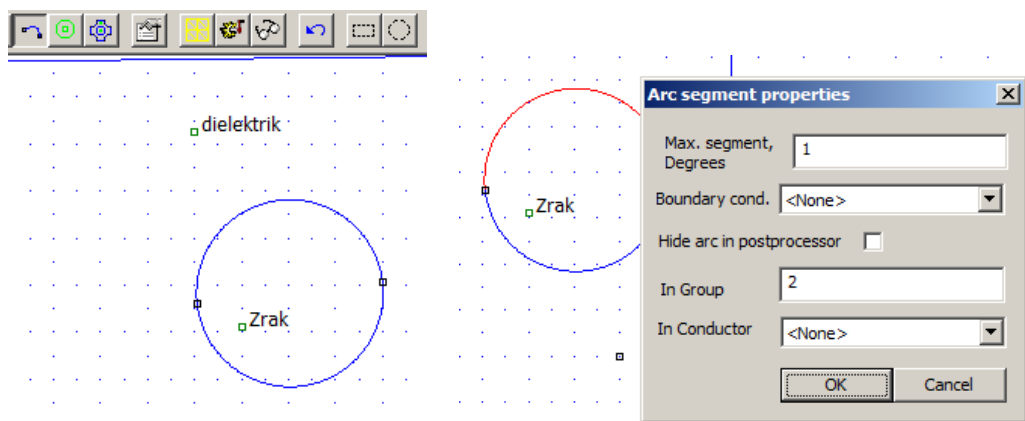
```
end
```

Preverite sami!

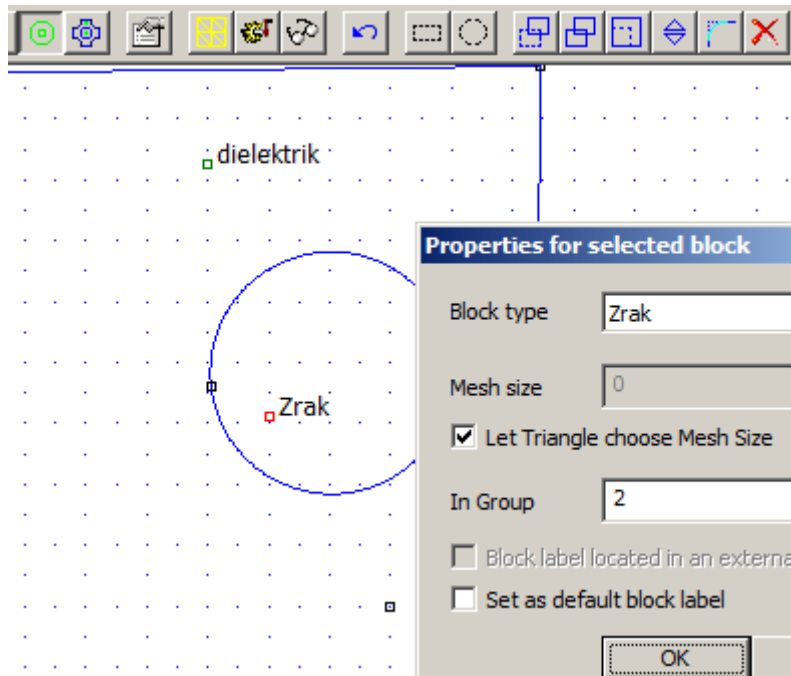
Premik objekta z LUA ukazi

Objekt moramo imeti označen predhodno kot skupino (group). Označiti je potrebno tako odseke, ki tvorijo objekt kot tudi samo oznako objekta, ki služi definiranju električnih lastnosti objekta.

Npr. da želimo premakniti zračni mehurček (krog). Izberemo lok v meniju, se premaknemo z miško na točko na loku (del kroga) in kliknemo z desno miško. Lok se obarva rdeče, torej je izbran. Nato pritisnemo na presledek in odpre se okno z izbiro (slika desno) v katerem vpišemo v katero skupino spada lok. Enako storimo še za spodnji lok.



Nato izberemo meni Block (glej sliko spodaj), se premaknemo z miško na oznako Zrak in kliknemo z desno tipko miške. Točka se označi z rdečo, kot je prikazano na sliki. Nato pritisnemo tipko za presledek in prikaže se izbirno okno. Izberemo enako skupino kot za dele kroga (2) in s tem imamo povezane meje objekta in njegove električne/magnetne lastnosti.



Premik v LUA oknu izvedemo z ukazoma

`ei_selectgroup(2)` ... izberemo skupino

`ei_movetranslate(-1,0)` (premaknemo v levo za -1)

Sledi izračun in prikaz

`ei_analyze()`

`ei_loadsolution()`

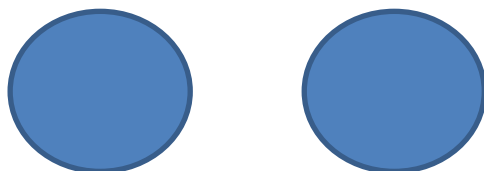
Vaša naloga:

Odprite Manual za delo s programom FEMM (<http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>) in si oglejte ukaze za delo z LUA ter jih preskusite. Uporabite navaden tekstovni urejevalnik ter v njem vpisujte zaporedje ukazov LUA in jih izvršite s kopiranjem v LUA okno.

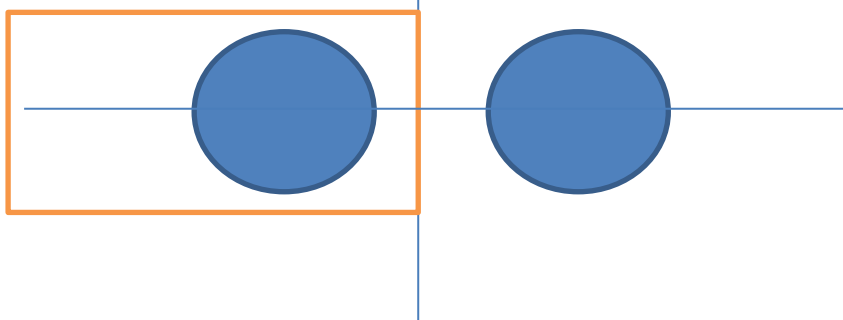
Zamislite si poljubno strukturo in opravite simulacijo z LUA ukazi.

NALOGA 5: Upoštevanje simetrije

V simulacijah pogosto naletimo na simetrične probleme. Na primer dva vodnika kot na sliki spodaj. Zanima nas polje v okolici teh dveh vodnikov, če je med njima priključena napetost.



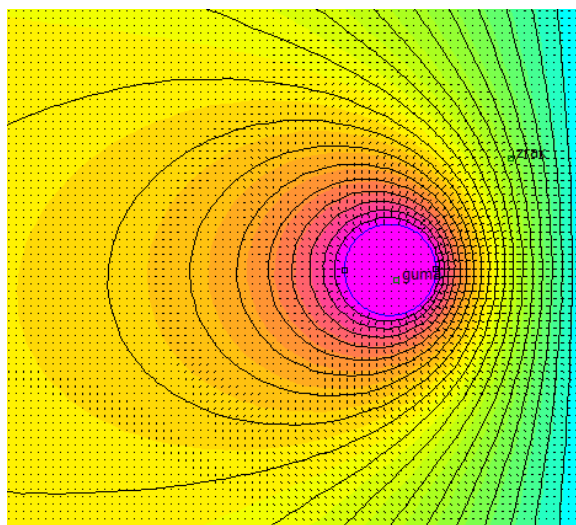
To lahko storimo tako, da vključimo oba v simulacijo in uporabimo dovolj veliko okolico za simulacijo, lahko pa tudi upoštevamo, da sta simetrična in sicer na dva načina, tako vzdolžno kot prečno, kot je prikazano na spodnji sliki. Torej bo dovolj, če opravimo simulacijo le četrtnine strukture, kot je prikazano s pravokotnikom na spodnji sliki.



Take simulacije uporabimo zato, da zmanjšamo število točk in s tem pohitrimo izračunavanje.

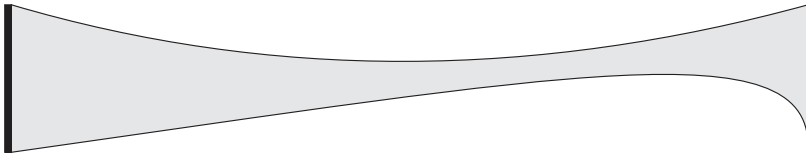
Pri tem pa moramo pravilno nastaviti mejne pogoje, ki so v tem primeru taki, kot jih imamo pri problemih zrcaljenja. Tu je torej potrebno upoštevati, da je sredina ekvipotencialna ravnina. V našem primeru lahko postavimo potencial te ravnine na 0 in izračunamo porazdelitev polja, potenciala.

Če želimo pustiti le četrtno strukture, potem mora biti na spodnji meji normalna komponenta polja enaka nič. To pa je že osnovni mejni pogoj, ki se po defaultu nastavi.

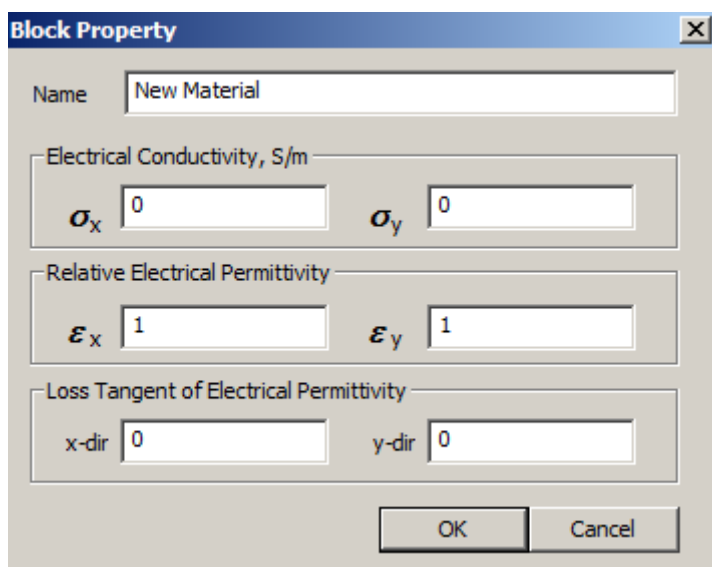


NALOGA 6: Tokovno polje

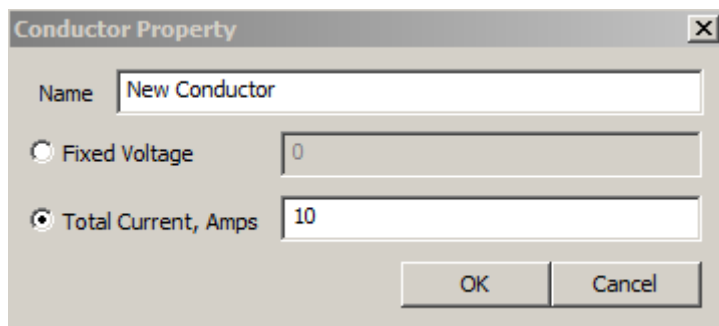
1. Odpremo novo FEMM simulacijo in izberemo izračun tokovnega polja (Current flow problem).
2. Zamislimo si strukturo, ki ima obliko vodnika različnega preseka, kot na primer struktura na spodnji sliki in jo izrišemo:



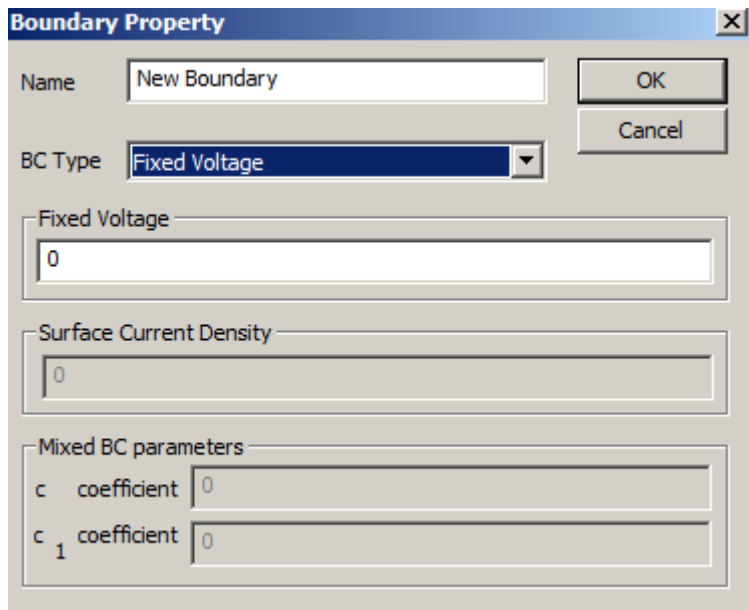
3. Izberemo ustrezen material oziroma mu določimo električne lastnosti. V našem primeru določimo specifično prevodnost (v S/m) v oknu Properties/Materials

A screenshot of the 'Block Property' dialog box in FEMM. The dialog has a title bar with a close button (X). It contains several input fields for material properties. The 'Name' field is set to 'New Material'. Under 'Electrical Conductivity, S/m', there are two fields for σ_x and σ_y , both set to 0. Under 'Relative Electrical Permittivity', there are two fields for ϵ_x and ϵ_y , both set to 1. Under 'Loss Tangent of Electrical Permittivity', there are two fields for 'x-dir' and 'y-dir', both set to 0. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

4. Na levi in desni rob postavimo robni pogoj (Properties/Conductor)
 - a) Napetostni (0V in npr. 100V)
 - b) Tokovni (tok, gostota toka).

A screenshot of the 'Conductor Property' dialog box in FEMM. The dialog has a title bar with a close button (X). It contains a 'Name' field set to 'New Conductor'. There are two radio buttons: 'Fixed Voltage' (unselected) and 'Total Current, Amps' (selected). The 'Fixed Voltage' field is set to 0. The 'Total Current, Amps' field is set to 10. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Lahko izberemo tudi gostoto toka pri Properties/Boundaries:

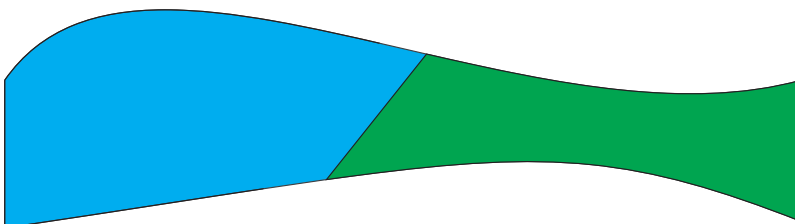


5. Zamrežimo strukturo in izračunamo rešitev. Prikažimo izračun tokovnega polja z vektorji gostote toka in ekvipotencialnimi ravninami.

VSTAVI SLIKO in jo opiši (robne vrednosti, izbrana specifična prevodnost)

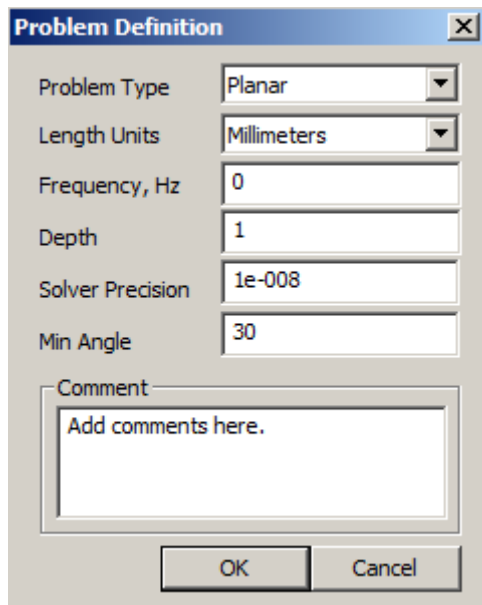
Komentiraj porazdelitev potenciala in gostote toka.

6. »Presekajmo« strukturo nekako tako kot kaže spodnja slika in spremenimo material tako, da je en del strukture bolj prevoden, drugi pa manj. Ponovimo simulacijo in izrišimo porazdelitev polja:
7. Izračunajmo upornost med elektrodama:
 - a) Z integracijo gostote toka na eni od elektrod (Integrate/Current flow)
 - b) Iz izračuna moči z integracijo gostote moči po površini : $P = U^2/R$ (Integrate/ Real Power)
 - c) S pomočjo ukaza Conductor Properties (le če smo za robni pogoj izbrali Properties/Conductor).



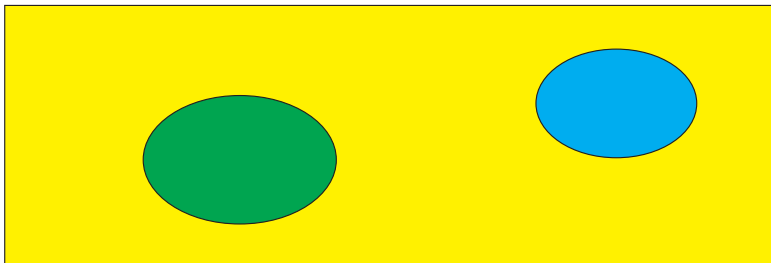
NALOGA 7: Tokovno polje pri vzburjanju z izmeničnimi signali

V tem primeru je potrebno izbrati frekvenco vzburjanja v oknu Problem:



Simulacija se izvaja z izračunavanjem Poissonove enačbe z kompleksnim računom, zato bodo izračunane vrednosti kompleksne. Predstavlja fazni zamik.

Pri materialih je potrebno izbrati tako prevodne lastnosti kot dielektrične.



Naredite strukturo, znotraj katere je objekt, ki ima drugačne materialne lastnosti ter izračunajte tokovno polje za različne frekvence. Opazujte porazdelitev toka in komentirajte. Upoštevajte, da na gostoto toka sedaj vpliva tako konduktivni kot tudi premikalni tok:

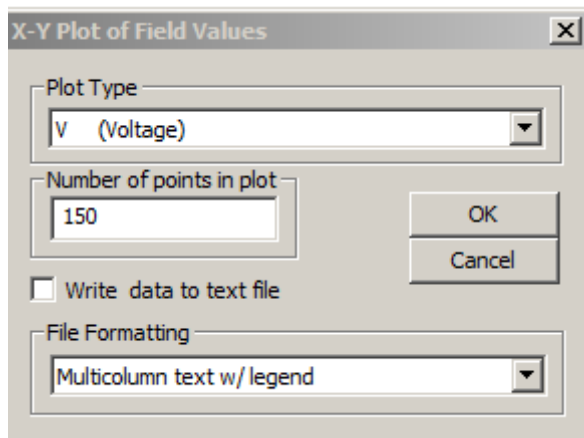
$$\underline{J} = \gamma \underline{E} + \frac{\partial \underline{D}}{\partial t} = \gamma \underline{E} + \epsilon \frac{\partial \underline{E}}{\partial t} .$$

Pri vzburjanju z izmeničnimi signali uporabimo kompleksni račun, tako vse veličine postanejo kompleksne in gostota toka je

$$\underline{J} = \gamma \underline{E} + j\omega\epsilon \underline{E} = (\gamma + j\omega\epsilon) \underline{E}$$

Dodatno: Shranjevanje podatkov v tekstovno datoteko in branje s programom Octave

Ko imate izrisano rešitev porazdelitve polja, lahko naredite še izrise določene veličine po izbrani liniji. (To smo že delali). Za kasnejšo obdelavo lahko te rezultate tudi shranimo v tekstovno datoteko.



V oknu označimo »Write data to text file« in nato izberemo ime datoteke. Če želimo imeti shranjene le vrednosti, v izpustnem meniju izberemo izpis brez legend.

Najlažji način za branje datotek z Octave/Matlabom je z ukazom `dlmread`, npr takole:

```
A=dlmread('tt.txt')
```

Dobimo matriko A , ki ima dva stolpca. Prvega dobimo takole $y=A(:,1)$, drugega pa npr. kot $\sigma=A(:,2)$. Nato opravimo še izris z Octave :

```
plot(y,sigma)
```

ali pa nadaljujemo z nadaljnjo obdelavo podatkov, npr. numerično integracijo...

NALOGA 8: Simulacija magnetih struktur

Izhajamo iz Amperovega zakona $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$ in Gaussovega zakona $\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$, ki se v diferencialni obliki zapišejo kot

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}$$

In

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

B in H povezuje enačba $B = \mu H$, kjer je relativna permeabilnost lahko nelinearna, torej je B funkcija H-ja (in obratno):

$$\mu = \frac{B}{H(B)}.$$

Pogosto se za numerično reševanje magnetnih problemov uporabi vektorski magnetni potencial A, kjer velja

$$\vec{B} = \text{rot}(\vec{A}) = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Če to zvezo vstavimo v Amperov zakon v diferencialni obliki, pridemo do oblike zapisa

$$\vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{\mu(B)} \vec{\nabla} \times \vec{A} \right) = \vec{J},$$

ki se z upoštevanjem $\vec{\nabla} \cdot \vec{A} = 0$ prevede v končno obliko

$$-\frac{1}{\mu} \Delta \vec{A} = \vec{J}.$$

Po izračunu vektorskega potenciala, se s pomočjo odvajanja (operacija rotor) dobi vrednosti gostote magnetnega polja v točkah.

Simulacija permanentnega magneta

Glej : <http://www.femm.info/wiki/permanentmagnetexample>

NALOGA X: Vaša struktura

Zamislite si poljubno strukturo in jo simulirajte s programom FEMM. Pri tem si poskušajte zamisliti strukturo, ki ima tudi določeno praktično uporabo, npr. kot senzor, naprava, pojav, itd. Opišite vaš problem, narišite poenostavljeno simulacijsko strukturo z merami ter jo nato vnesite v program FEMM ter analizirajte. Opišite rezultate. Opravite kakšno analizo tako, da spreminjate določen parameter, npr. električne ali geometrijske lastnosti.

Poročilo:

1. Opis problema
2. Simulacijska struktura (geometrija z merami)
3. Opis robnih pogojev in lastnosti materialov
4. Izdelava modela v programu FEMM
5. Rezultati
6. Zaključek

NALOGA 9: Uporaba programa Octave skupaj z FEMM

Octave, SciLab, Matlab, vsi ti programi imajo podobno sintakso in jih lahko uporabljamo za lažje in bolj optimalno delo s programom FEMM. Predlagam inštalacijo programa Octave na strani <http://www.femm.info/wiki/Download>, morda še posebno varianto Octave UPM, ki se sicer inštalira v španskem jeziku a meniji so nato vsi angleški. Omogoča delo v vizualnem okolju, vsebuje editor.

Za delo uporabite Manual OctaveFEMM na strani <http://www.femm.info/wiki/Documentation/>. S programom Octave lahko odprete že shranjeno simulacijo, lahko pa začnete kreirati simulacijo od začetka.

Program FEMM v Octave zaženemo z ukazom **openfemm**. Če Octave javi napako, je to verjetno zato, ker ne najde ustrezne datoteke in je še potrebno predhodno nastaviti ustrezno »pot«. To nastavimo z ukazom `addpath`, npr takole:

```
Addpath('C:\femm42\mfiles')
```

```
disp('')
disp('Prvi Octave FEMM program');
disp(' ');
% Zaženi FEMM in dodaj pot na mapo mfiles če potrebno
% addpath('/cygdrive/c/femm42/octavefemm/mfiles');
openfemm

% zaženi (0) magnetno simulacijo, (1) elektrostatično, (2) termično in (3) tokovno
newdocument(1)

% Definiraj geometrijo
ei_probdef('micrometers','planar',10^(-8),10^6,30);

% vpiši geometrijo
%ei_drawrectangle([x1,y1;x2,y2]);
ei_drawrectangle([0,0;4,2]);
ei_drawline([1,0;2,2]);

% Določi levo elektrodo z napetostjo 0 V
ei_addboundprop('ground',0,0,0,0,0);
% ei selectsegment(x,y) Select the line segment closest to (x,y)
ei_selectsegment(0,1);
ei_setsegmentprop('ground',0,1,0,0,'<none>'); % da levi elektrodi napetost 0 V
ei_clearselected;

% Določi desno elektrodo z napetostjo 10 V
ei_addboundprop('Napetost',10,0,0,0,0);
ei_selectsegment(4,1);
ei_setsegmentprop('Napetost',0,1,0,0,'<none>'); % da desni elektrodi napetost 10 V
ei_clearselected;

% Določi področja in materialne lastnosti
```

```

ei_addmaterial('zrak',1,1,0); % določi epsr za področje "zrak"
ei_addmaterial('dielektrik',4,4,0);
ei_addblocklabel(1,1); % določi neko točko znotraj področja kateri nato priredimo epsr
ei_addblocklabel(3,1);

ei_selectlabel(1,1);
ei_setblockprop('dielektrik',0,1,0); % določimo
ei_clearselected;

ei_selectlabel(3,1);
ei_setblockprop('zrak',0,1,0);
ei_clearselected;

ei_zoomnatural; % zumiraj področje

% Shrani pred analizo
ei_saveas('prvi.fee');

% Izračun
ei_analyze

% Prikaži rešitev
ei_loadsolution

% Ekvipotencialke
eo_showdensityplot(1,0,0,10,0);
% Vektorji polja
eo_showvectorplot(2,1)

% Integral gostote energije
eo_selectblock(1,1);
eo_selectblock(3,1);
Wc=eo_blockintegral(0)
eo_clearblock

% izris tangencialne komponente polja po liniji
ei_seteditmode('segments')
eo_addcontour(0,1) % začetna točka
eo_addcontour(4,1) % končna točka
U=eo_lineintegral(0)

```

Primer 2 simulacije z Octave

Kot primer si oglejmo simulacijo transformatorja na strani

<http://www.femm.info/wiki/mytransformer> in opišimo posamezne ukaze (nekoliko prirejeno po originalu). V tem primeru imamo podano jedro, in ovoje ter breme (10 ohmov), iščemo tokove primarja in sekundarja pri vzburjanju jedra z napetostjo $V_1=120V$ (rms).

```
% some preliminary information about the transformer and load
n1 = 260;      % turns in primary
n2 = 90;      % turns in secondary
v1 = 120;     % RMS voltage applied to primary
Z2 = 10;      % load impedance
ix = 0.12;    % guesstimated no-load primary current

% ODPRE PROGRAM FEMM IN STRUKTURO, SHRANJENO V DATOTEKI mytransformer.fem
openfemm;

opendocument('mytransformer.fem');

mi_saveas('temp2.fem'); % ZAČASNO SHRANI V DATOTEKO TEMP.FEMM

% VZPOSTAVI TOK PRIMARNEGA NAVITJA=ix in SEKUNDARNEGA =0 (ODPRTE SPONKE)
% build approximate transformer impedance
% based on the nominal no-load primary current
mi_setcurrent('Primary',ix);
mi_setcurrent('Secondary',0);
mi_analyze;
mi_loadsolution();

% DOLOČIM IMPEDANČNO MATRIKO transformatorja (GLEJ NAVODILA)
Zt=[0,0;0,0];
r=mo_getcircuitproperties('Primary'); % IZ REŠITVE IZVEČE VREDNOSTI
Zt(1,1)=r(2)/ix; % r(2) vsebuje napetost na primarju
r=mo_getcircuitproperties('Secondary');
Zt(1,2)=r(2)/ix; Zt(2,1)=Zt(1,2); % r(2) vsebuje napetost na sekundarju
Zt(2,2)=Zt(1,1)*(n2/n1)^2;

% DOLOČIMO IMPEDANČNO MATRIKO BREMENA
% Create load impedance matrix and voltage vector
ZI=[0,0;0,Z2]; % load impedance matrix
v =sqrt(2)*[v1;0]; % applied voltage amplitude

% ZAČETNI APROKSIMATIVNI IZRAČUN TOKOV
% compute initial current estimate based on
% approximate transformer and load impedance
ic=(Zt+ZI)\v;
```

```

% ITERATIVNI POSTOPEK (100 PONOVI TEV) DOLOČANJA PRAVIH VREDNOSTI TOKOV
for k=1:100
    mi_setcurrent('Primary',ic(1));
    mi_setcurrent('Secondary',ic(2));
    mi_analyze;
    mi_loadsolution();
    vt=[0;0];
    r=mo_getcircuitproperties('Primary');
    vt(1)=r(2);
    r=mo_getcircuitproperties('Secondary');
    vt(2)=r(2);
    u=(v-vt-ZI*ic);
    ic=ic + (Zt+ZI)\u;
    disp(sprintf('%i %f',k,abs(sqrt(u'*u))));
    if (sqrt(u'*u)<0.1)
        break;
    end
end

disp('load currents are:');
disp(ic);

closefemm

```