

Osnove praktičnega dela s programom FEMM

D. Križaj, 2017, R2b

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.

Vsebina:


1	Izdelava strukture.....	2
1.1	Koraki za izdelavo simulacijske strukture.....	2
1.2	O mejnih pogojih	4
1.3	Vnos strukture oblikovane v drugem programu	5
1.4	Osnovne nastavitve programa	5
2	Prikaz rezultatov	6
3	Naknadni izračuni (post-processing)	9
3.1	Izris določene veličine vzdolž izbrane poti	9
3.2	Integracija vzdolž izbrane poti.....	9
3.3	Integracija po površini	9
4	LUA ukazi	10
4.1	Spreminjanje snovnih lastnosti	10
4.2	Uporaba zanke za večkratne izračune.....	11
4.3	Premik objekta z LUA ukazi	11
5	Dodatno: Shranjevanje podatkov v tekstovno datoteko in branje s programom Octave	13
6	Dodatno: Uporaba programa Octave skupaj z FEMM	14

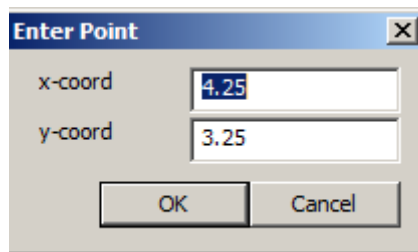
1 Izdelava strukture



Najprej moramo izdelati simulacijsko strukturo, ki mora vključevati določeno omejeno simulacijsko okolico. Ta mora biti tako velika, da ne spremeni bistveno vrednosti polja med naelektrenimi telesi. Kako velika naj bo ta okolica se ne da eksaktno odgovoriti, lahko pa se preveri rezultate z večjo in manjšo okolico.

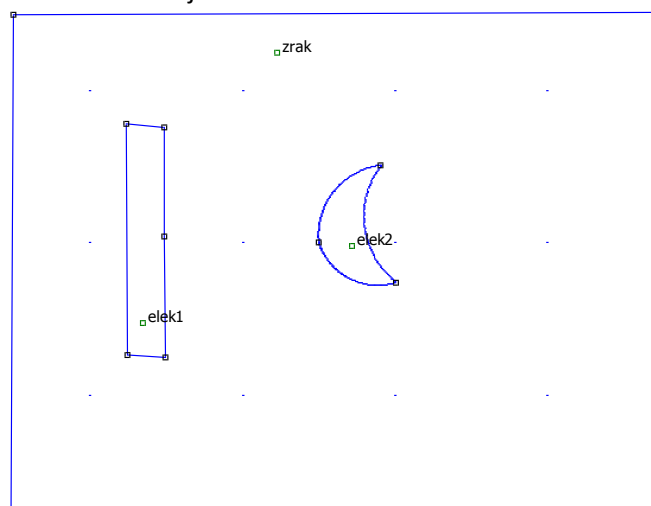
1.1 Koraki za izdelavo simulacijske strukture

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.




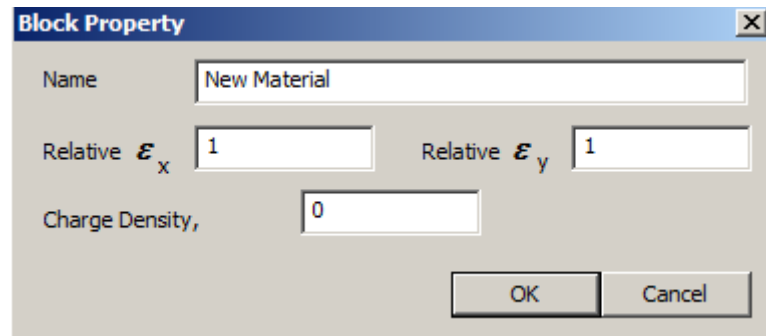
3. Kliknemo  ali  in s klikom na začetek in konec predhodno določenih pik povežemo pike in s tem določimo meje strukture.



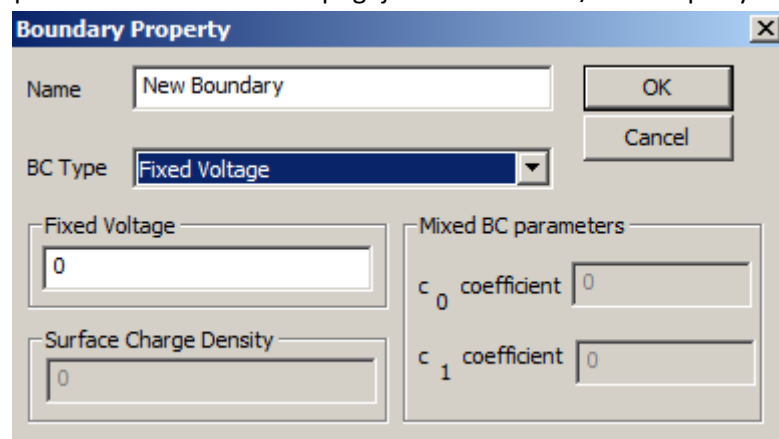
Primer izdelane strukture

4. Če želimo izbrisati določeno povezavo, izberemo ikono  ali  ter desno kliknemo na izbrano povezavo, da se označi z rdečo barvo. Nato s tipko Delete ali ikono  izbrišemo označeno povezavo. Z ikonama  lahko izberemo tudi območje z več povezavami.



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.

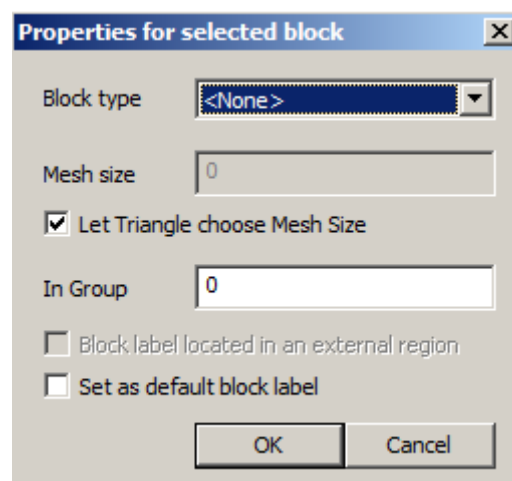


6. Kliknemo Properties in dodamo Robne pogoje na Boundaries/Add Property. Prikaže se okno





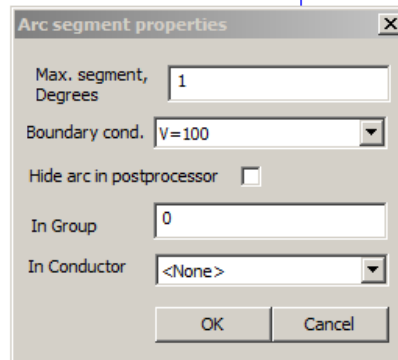
v katerem vpišemo ime (smiselno, recimo Leva elektroda (V =10 V), itd.) in nato tip robnega pogoja. Najbolj običajen je Fixed voltage (potencial na robu), lahko pa uporabimo tudi mejni pogoj površinske gostote naboja in druge.

7. Kliknemo  za izbiro bloka oziroma prostora, kateremu bomo dodali lastnosti. V konkretnem primeru imamo tri objekte: zrak, elektrodo 1 in elektrodo 2. Kliknemo znotraj določenega objekta, da se prikaže  <None>. Nato **desno** kliknemo na piko in nato pritisnemo **na tipko za presledek**. Prikaže se okno




V Block type izberemo ustrezen predhodno določen material.

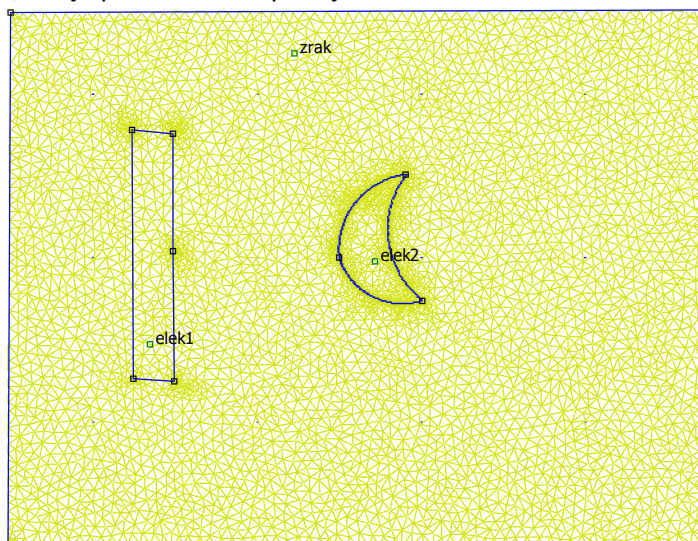
8. Kliknemo na  in/ali , da izberemo vse robove, na katerih bomo vzpostavili določen robni pogoj. Nato z desnim kliko na eno od linij. Pri tem se spremeni barva izbrane linije v rdečo. Nato pritisnemo tipko Presledek in prikaže se okno z izbiro robnih vrednosti.



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 mreže oziroma diskretiziranje strukture na množico manjših elementov. 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.

1.2 O mejnih pogojih

V zgornjem primeru smo izbrali levo in desno telo kot elektrodi in ustrezno nastavili robne pogoje, v konkretnem primeru potencial tega telesa. V matematiki temu robnemu pogoju (definiran potencial)

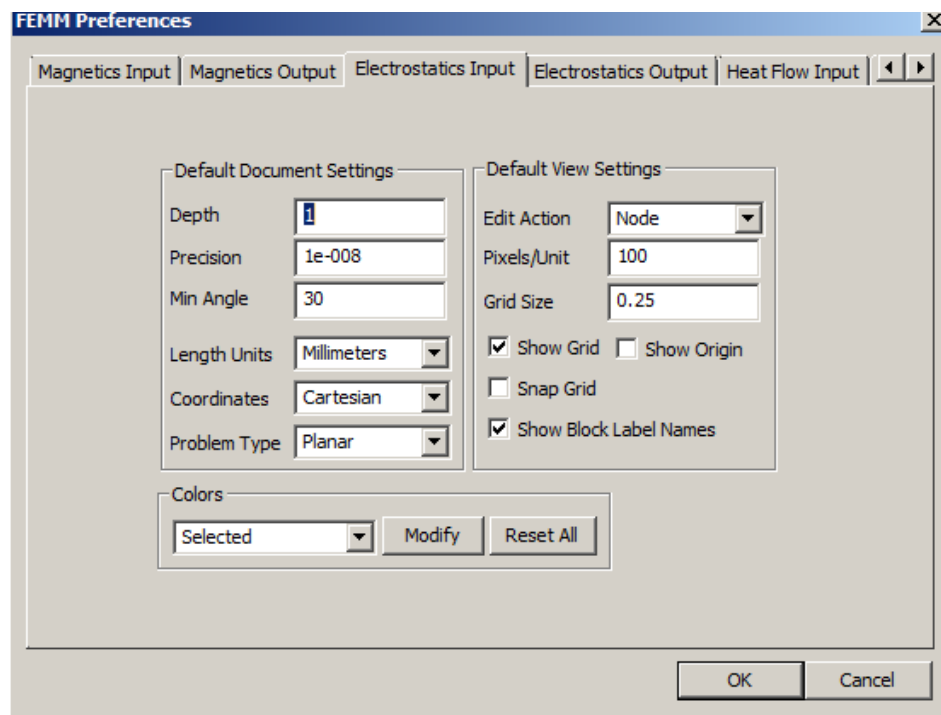
rečemo Dirichletov robni pogoj. V tem primeru ostanejo meje simulacijske strukture z nedefiniranim potencialom. Program sam za te meje avtomatično nastavi t.i. Neumannov robni pogoj, da mora biti normalna komponenta potenciala na mejo enaka nič. To v elektrostatičnem primeru pomeni, da na meji ni električnega polja v smeri normale. S tem naredimo napako, ki pa je lahko majhna, če smo vzeli dovolj veliko okolico stran od naelektrenih teles.

1.3 Vnos strukture oblikovane v drugem programu

program omogoča vnos strukture v DXF (data exchange) formatu. To je format, ki ga je prvotno naredilo podjetje Autodesk in je bil namenjen grafičnim programom kot je Autocad. Sedaj ga uporablja marsikateri program, na primer tudi Sketchup (od Googla), ki je brezplačen, in je v osnovi namenjen grajenju 3D objektov. Odvisno od verzije je potrebno programu dodati možnost izvoza datoteke v DXF formatu, torej, potrebno je naložiti dodatek, ki to omogoča. (vpiši v Google sketchup export dxf plugin ...).

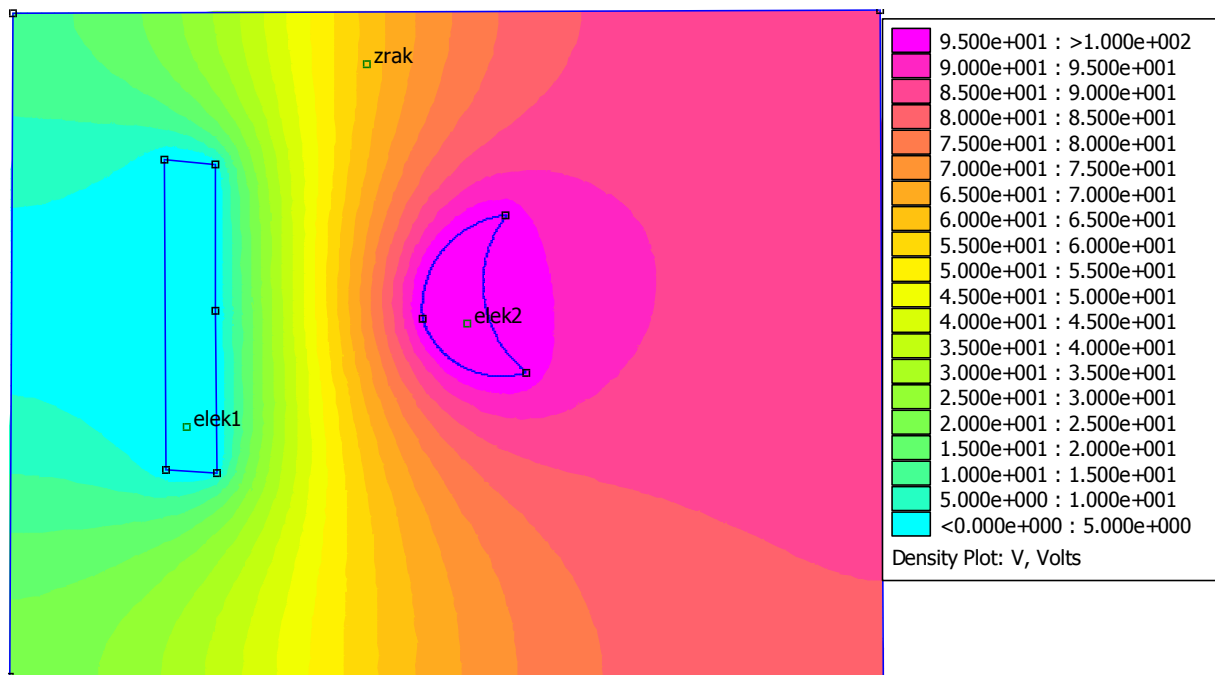
1.4 Osnovne nastavitve programa

Na delovni površini ni izrisanih enot, za izbiro ustreznih moramo poskrbeti v oknu Edit/Preferences, kjer moramo nato še izbrati ustrezen zavihek. Na sliki spodaj vidimo, da lahko pri Elektrostatični simulaciji izberemo globino strukture (tretja dimenzija), natančnost izračuna, najmanjši kot trikotne mreže, dolžinska enota, koordinatni sistem, itd.










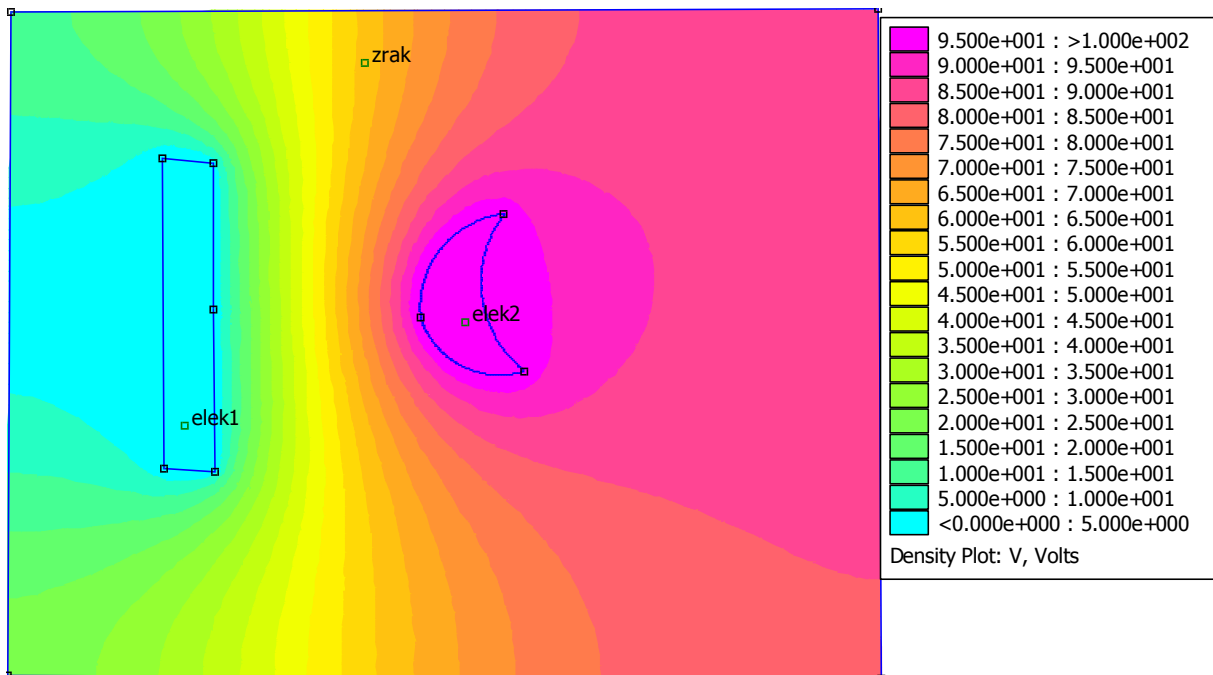
2 Prikaz rezultatov

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

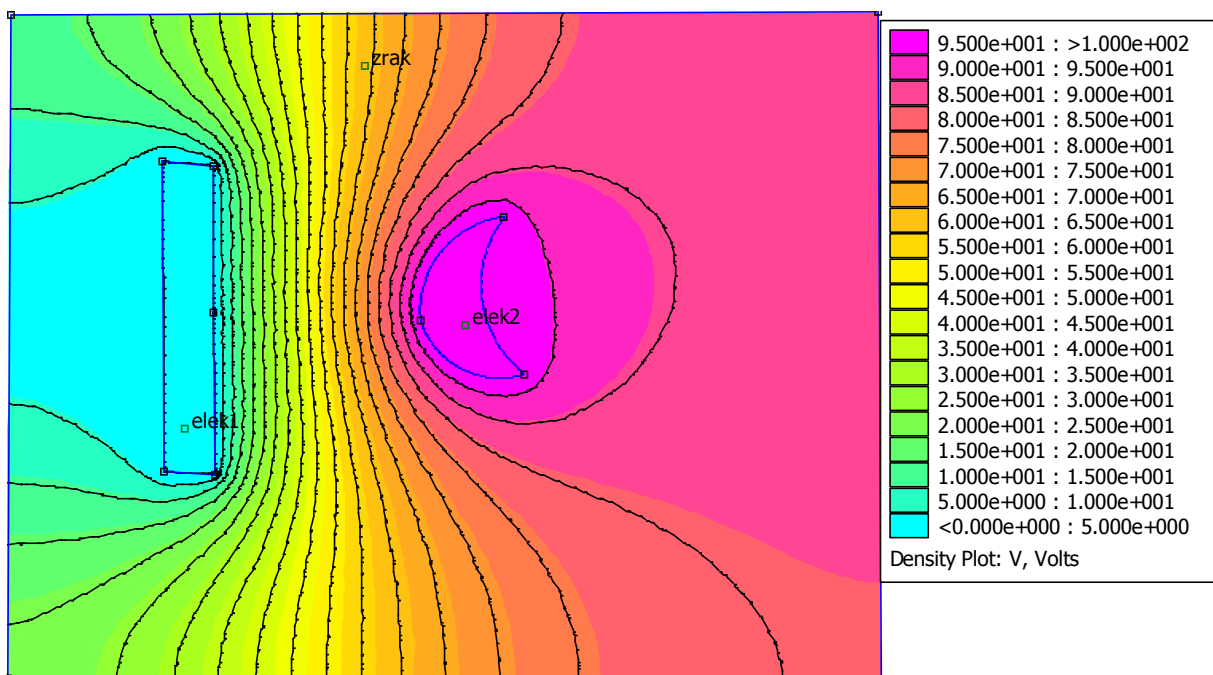


Izberemo lahko še druge prikaze:

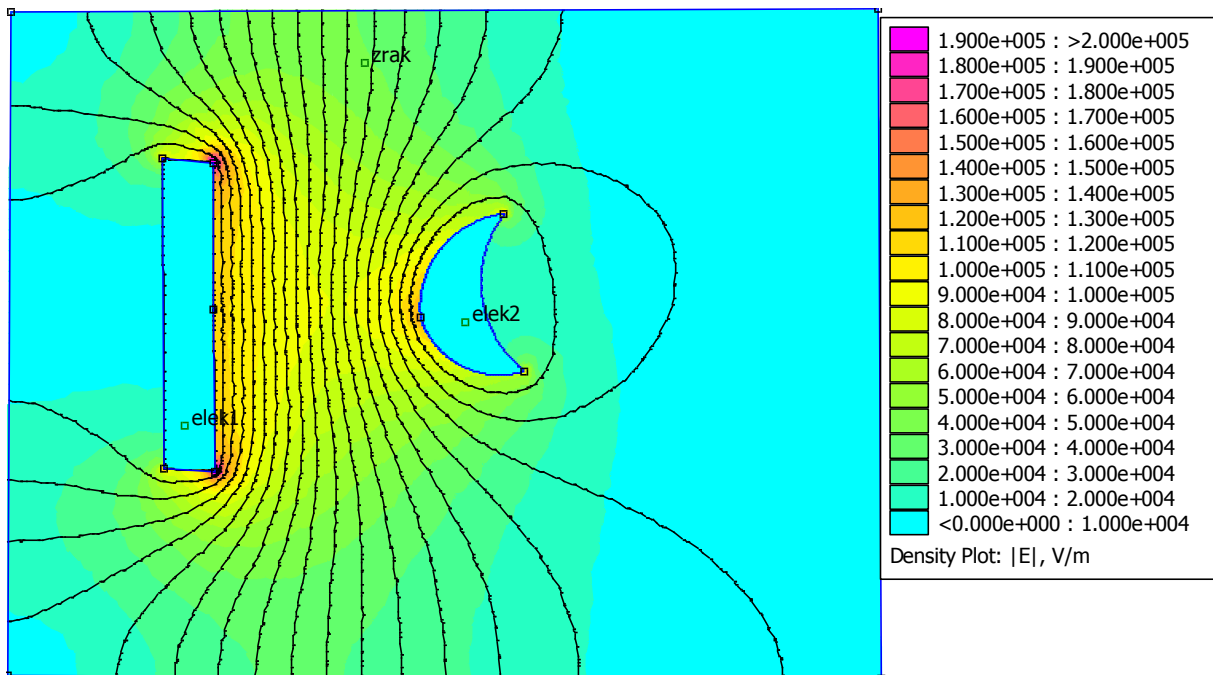
- S klikom na  lahko izberemo izris gostote električnega pretoka ali električne poljske jakosti.
- S klikom na  lahko izberemo izris z vektorji polja.
- S klikom na  izberemo izris ekvipotencialnih ravnin.
- S klikom na  lahko izračunamo integral tangencialne komponente polja, normalne komponente gostote 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.



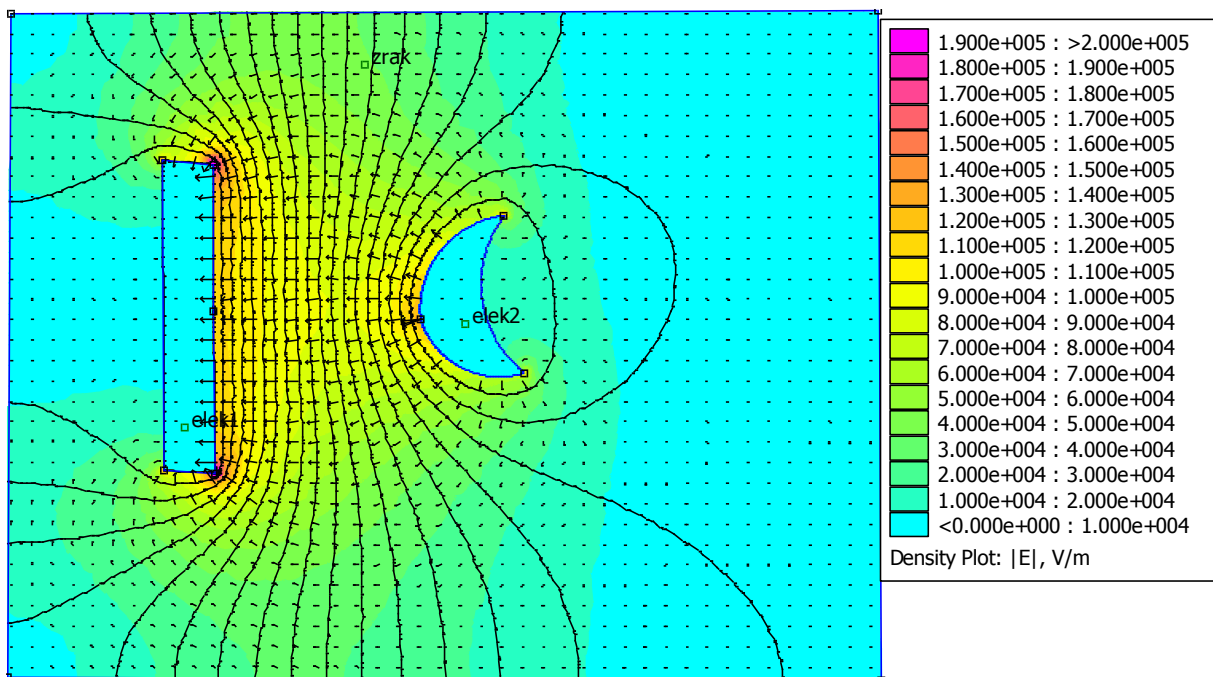
Primer izrisa porazdelitve potenciala (bolj vroča barva predstavlja višji potencial) za strukturo iz primera seminarja.



Primer izrisa porazdelitve potenciala v barvah in ekvipotencialne ravnine (črne črte) za strukturo iz primera seminarja.



Primer izrisa ekvipotencialnih ravnin in absolutne vrednosti polja (barve).

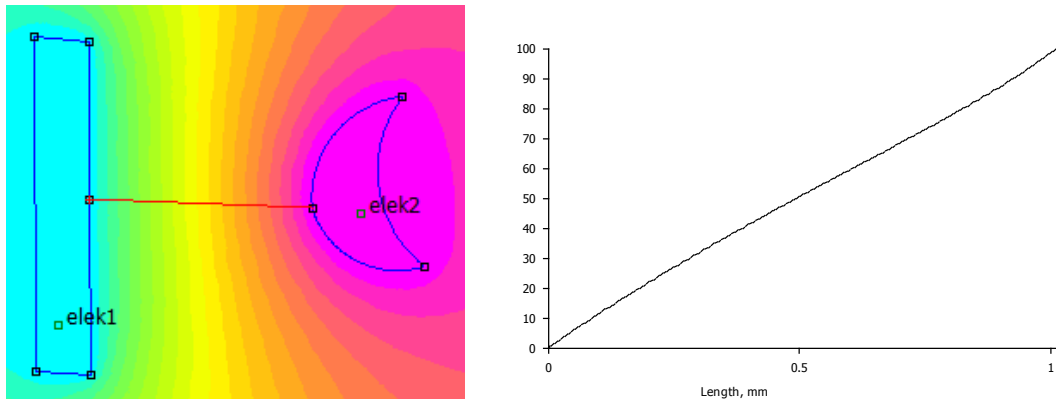


Primer izrisa ekvipotencialnih ravnin, absolutne vrednosti polja in vektorjev električne poljske jakosti (puščice).

3 Naknadni izračuni (post-processing)

3.1 Izris določene veličine vzdolž izbrane poti

Poleg izrisov polja in potenciala lahko izrišemo še določene vrednosti vzdolž linije, na primer potencial, polje, itd. To naredimo tako, da izberemo ikono za linijo v menujski vrstici in označimo linijo med dvema ali več točkami. Nato izberemo ikono za izris grafa in izberemo med izbranimi veličinami.



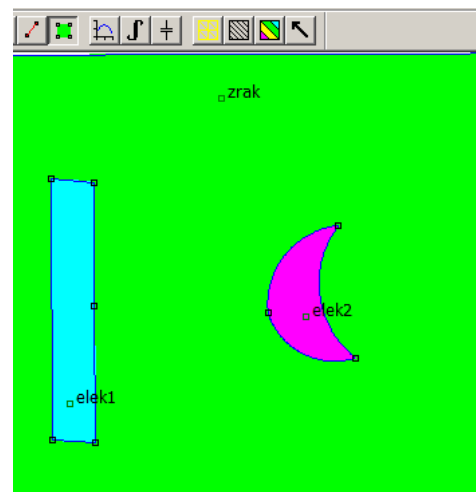
Izris potenciala vzdolž linije

3.2 Integracija vzdolž izbrane poti

E.t predstavlja npr. tangencialno komponento električne poljske jakosti vzdolž izbrane linije, D.n pa normalno komponento gostote električnega pretoka vzdolž linije. Z integracijo prve dobimo napetost med začetno in končno točko, z integracijo slednje pa dobimo naboj na tej liniji (če je linija tudi hkrati rob naelektrenega telesa). Pomni: važna je tudi katero točko označimo prvo in katero drugo. Če vrstni red zamenjamo, se smer normale ali smer tangente zamenja in s tem tudi rezultat integracije.

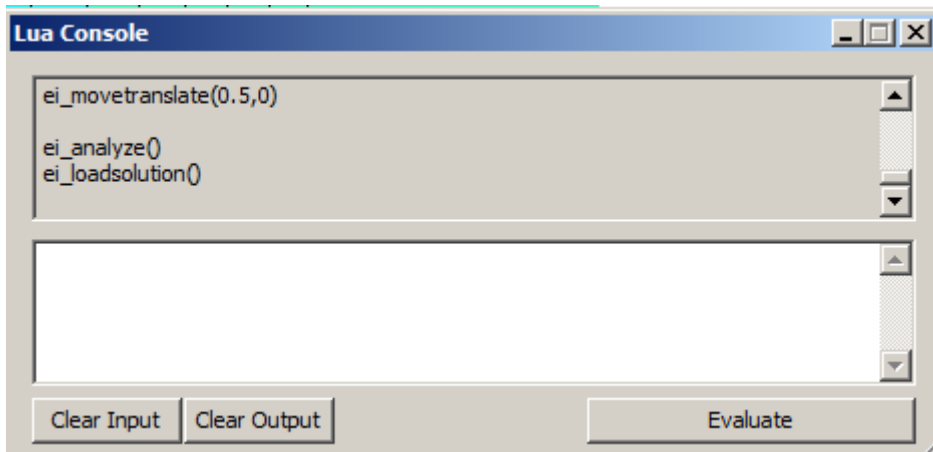
3.3 Integracija po površini

Če uporabimo ikono z zelenim kvadratom in kliknemo na strukturo, se ta obarva zeleno, kot kaže spodnja slika. Če nato kliknemo na ikono za integracijo, lahko izberemo integracijo po površini, da dobimo celotno elektrostatično energijo iz integracije gostote energije, površino označene površine, povprečni E (običajno ne tako zanimivo) ter silo ali navor.



4 LUA ukazi

LUA je skriptni jezik, ki olajša delo s programom. Bolj večji uporabniki lahko 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. LUA konzolo zaženemo iz menuja View/Lua Console.



4.1 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):

`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, izračunamo rešitev in jo prikažemo:

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

4.2 Uporaba zanke za večkratne izračune

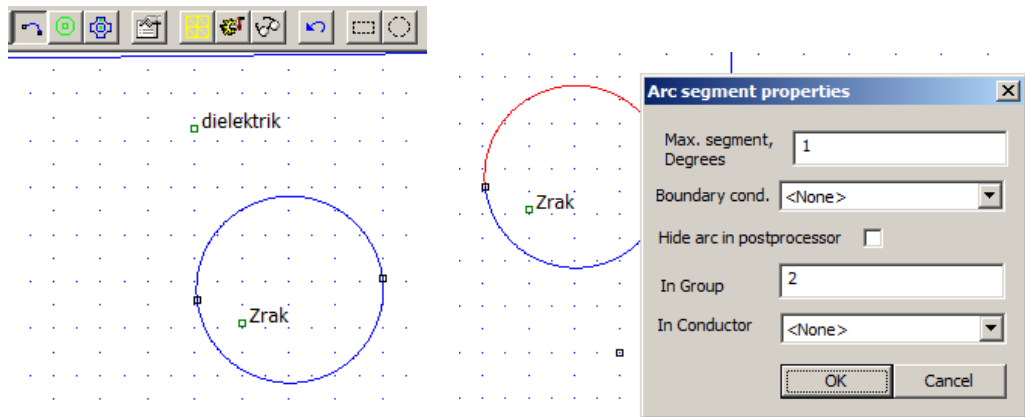
Če želimo avtomatizirati proces spreminjanja vrednosti relativnih dielektričnosti, to opravimo z zanko. Spodnji izrazi spreminjajo v zanki relativne dielektričnosti objekta »Zrak« od 1 do 20 v korakih po 4.

```
for er=1,20,4 do
ei_modifymaterial("Zrak",1,er,2,er)
ei_analyze()
ei_loadsolution()
end
```

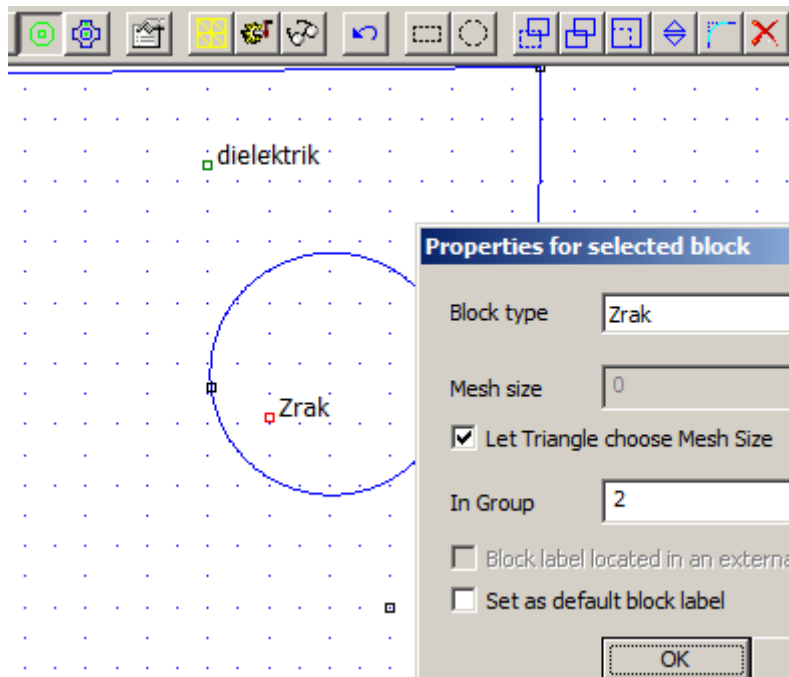
4.3 Premik objekta z LUA ukazi

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.



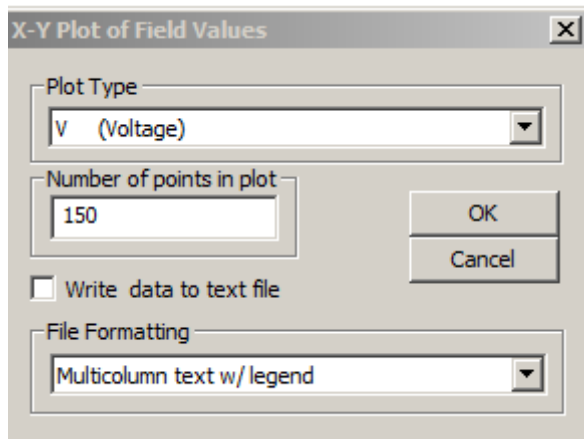
Premik v LUA oknu izvedemo z ukazoma

```
ei_selectgroup(2) ... izberemo skupino  
ei_movetranslate(-1,0) (premaknemo v levo za -1)  
ei_analyze()  
ei_loadsolution()
```

Več ukazov najdete v manualu za delo s programom FEMM
(<http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>)

5 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...

6 Dodatno: 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> .

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)

```