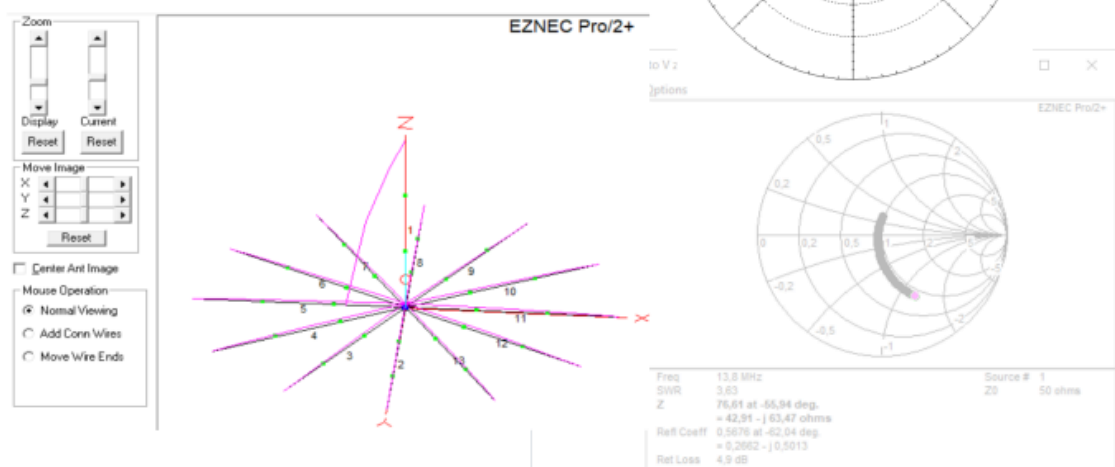




EZNEC OSNOVE MODELIRANJA ANTENA

Martin Švaco 9A2JK

Prvi dio



Napisao: Martin Švaco, 9A2JK
email: 9a2jk@hamradio.hr
v0.8 25. kolovoza 2025.

Predgovor

Nekada smo antene radili "po receptu", a ugađali smo ih na najbolji SWR na SWR metru, onim koji je spojen odmah iza naše radiostanice tj. na početku koaksijalnog kabela. Rijetki su imali mogućnost mjerenja drugih važnih parametara antenskog sustava kao npr. impedanciju, dijagram zračenja, vertikalni kut zračenja, dobitak i sl.

Danas, u 21. stoljeću, korištenjem naprednih softverskih alata jednostavno možemo analizirati naš antenski sustav. Softveru za modeliranje i simulaciju rada antena treba zadati dobar model (čitaj: kvalitetni opis naše antene) i kao rezultat dobijemo praktično upotrebljive informacije o radu naše antene ili one koju dizajniramo. Jedan od takvih softvera, sada potpuno besplatan, je EZNEC.

Prednost softverskog modela antene je da model lako možemo uspoređivati s drugim modelima. Ne moramo posjedovati antenu, ali možemo imati stotine modela koje međusobno možemo uspoređivati, po volji mijenjati i tako puno naučiti.

Ovaj tekst je nastao od mojih zabilješki u prvim počecima korištenja EZNEC-a. Malo sam ih dotjerao u nadi da drugima mogu olakšati prve korake s ovim izvanredno korisnim softverom.

U Đurđevcu, 25. kolovoza 2025.

Martin Švaco, 9A2JK

Sadržaj:

EZNEC	1
Instaliranje EZNEC-a	2
Model i modeliranje	3
Izrada modela antene	5
Geometrija antene	5
Opis okoline u kojoj se antena nalazi	6
Prezentacija rezultata izračuna	7
EZNEC sučelje	7
Model idealnog poluvalnog dipola u slobodnom prostoru	9
Segmentation Check Warnings	18
Model stvarnog poluvalnog dipola iznad zemlje	19
Obrnut-V (Inverted V) antena	26
Vertikalna antena na zemlji	34
EZNEC umetnuti objekti – Insertion Object	34
Vertikalna antena sa radijalima na zemlji	40
Vertikalna antena sa kosim radijalima	45

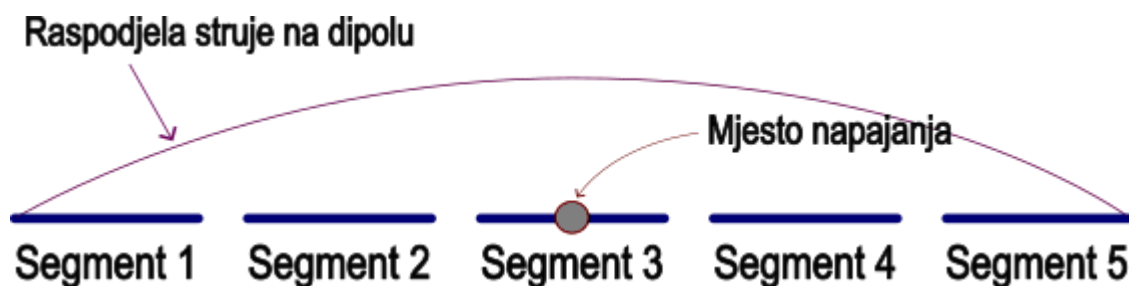
EZNEC

EZNEC je softver za modeliranje i analizu antena. Autor programa je Roy Lewallen W7EL. Program radi tako da u njega unosimo model naše antene (duljinu i poziciju svakog elementa antene, visinu iznad zemlje, mjesto napajanja, vrstu tla i sl.), a EZNEC nam računa impedanciju i SWR, dijagrame zračenja, struje, utjecaj vrste tla, dobitak i druge podatke u grafičkom i broječnom formatu.

Nema tu nikakve čarolije. Sve je to poznata fizika i matematika. Sučelje EZNEC-a od korisnika skriva kompliciranu matematiku, tako da se korisnik u potpunosti može koncentrirati na što točniji opis antene koju analizira ili modelira. Jezgra EZNEC-a je numerički elektromagnetski kod inačice NEC-2. NEC (*The Numerical Electromagnetics Code*) je računalni kod za analizu elektromagnetskog zračenja strukture koja se sastoji od žica i površina u slobodnom prostoru ili iznad zemljine površine. Program je nastao 1970-ih godina u SAD-u.

Inačica NEC-2 je javno dostupna za opću upotrebu i temelj je EZNEC-a. Besplatna inačica EZNEC Pro2+ v.7 koristi NEC-2. Iako EZNEC može raditi s novijim inačicama NEC-a, (npr. NEC 4.2, NEC-5 koje nisu besplatne) inačica NEC-2 je i više nego dovoljna za većinu radioamatera.

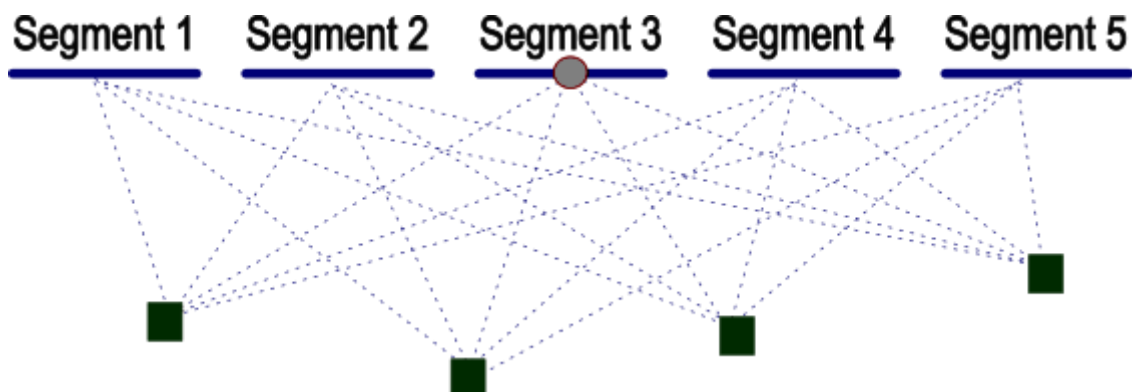
NEC modelira antenu tako da računa struju u svakoj točki duž žice i njezin doprinos ukupnom polju zračenja. Da bi to učinio savršeno, morao bi uzeti u obzir struju u beskonačnom broju točaka. To je nemoguće, pa umjesto toga NEC dijeli žicu na što veći broj ravnih segmenata i svaki segment tretira kao zasebnu malu antenu duž kojih NEC pretpostavlja da je struja konstantna, sl. 1. Nakon toga računa doprinos svakog segmenta i tako dolazi do svih parametara antene koje onda prikazuje u grafičkom i broječnom formatu.



Sl. 1. Softverski model dipola dijeli žicu na segmente

To su tisuće i tisuće izračuna (veći broj segmenata, više računanja). Današnja računala rade brzo i ako smo zadali "razuman" broj segmenata, izračun će biti brzo gotov.

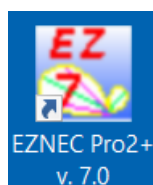
Slika 2. ilustrira kako svaki segment djeluje na svaku točku u prostoru oko antene. EZNEC zbraja doprinos svakog segmenta u svakoj točki i tako računa sve karakteristike antene.



Sl. 2. Svaka točka oko antene procjenjuje se zbrajanjem doprinosa svakog segmenta

Instaliranje EZNEC-a

Besplatnu verziju EZNEC-a preuzmite s web stranice <https://eznec.com/> i spremite na svoje računalo. U kolovozu 2025. to je verzija EZNEC Pro/2+ v. 7.0 tj. datoteka *EZNEC_Pro2+_704_setup.exe*. Dvoklik na ovu datoteku pokreće instalaciju i za nekoliko sekundi na ekranu imate ikonu kojom pokrećete program.

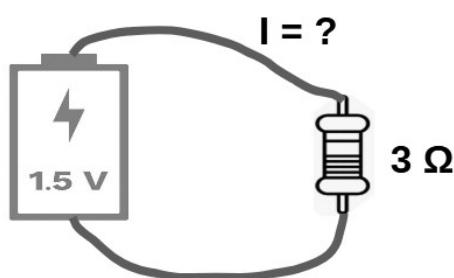


MODEL I MODELIRANJE

U fizici, model je prikaz nečega što ne možemo izravno promatrati. Ispravnost modela dokazujemo eksperimentom.

Modeliranje je tehnika ocjenjivanja svojstava nekog objekta ili sustava pomoću modela. Modeli mogu biti fizički objekti, poput modela broda, a mogu biti i čisto matematički, poput jednažbi koje koristimo u analizi sklopova. Kako svaki model ima ograničenja, točnost rezultata ovisi o točnosti s kojom model odgovara stvarnom objektu.

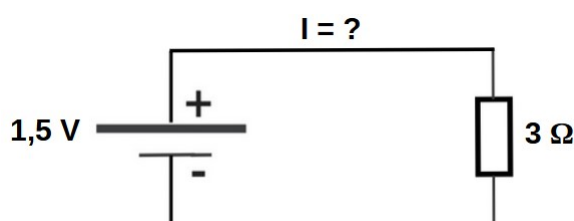
Uzmimo primjer jednostavnog strujnog kruga koji se sastoji od obične alkalne baterije nominalnog napona 1,5 V i otpornika od 3 oma, sl. 3.



Sl. 3. Izvor napona, spojni vodovi i otpornik u strujnom krugu

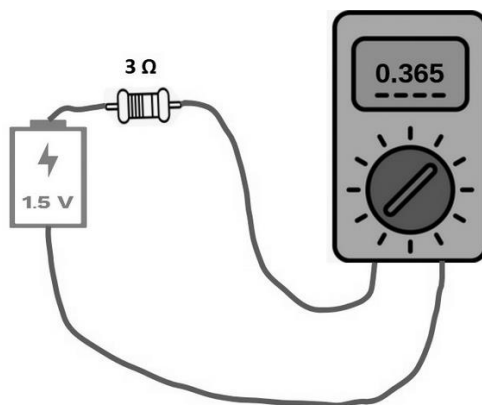
Kolika struja teče u ovom strujnom krugu?

Model ovog strujnog kruga mogla bi biti shema kao na slici 4.



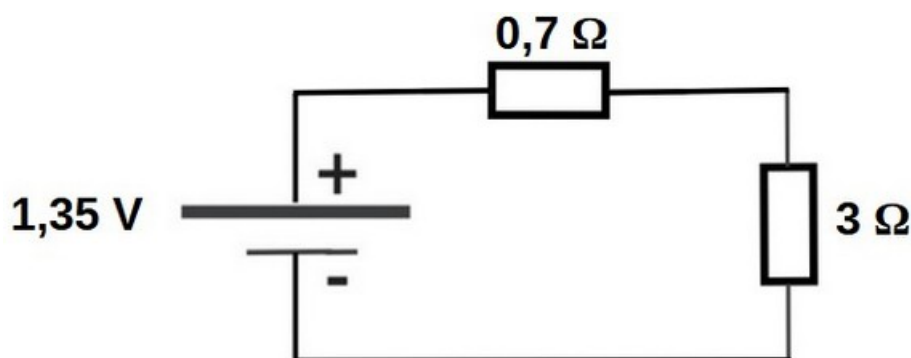
Sl. 4. Mogući model strujnog kruga sa slike 3.

Gledajući model (shemu), Ohmov zakon kaže $I=U/R$, dakle 1,5 V dijelimo sa 3 oma, znači jakost struje je 0,5 A.



Sl. 5. Izmjerena jakost struje u stvarnom strujnom krugu

Sada uzmimo stvarnu AA alkalnu bateriju 1,5 V, spojimo otpornik od 3 oma i sa multimetrom mjerimo jakost struje, sl. 5. I gle čuda! Multimetar mjeri jakost struje od 0,365 A, suprotno našem modelu koji kaže da bi struja trebala biti 0,5 A. Je li Ohmov zakon ne vrijedi? Ohmov zakon vrijedi, ali naš model ne predstavlja stvarno stanje. Stvarnost je da baterija ima unutarnji otpor i zato napon baterije nije 1,5 V nego manji. Model ovog strujnog kruga koji bi odražavao stvarno stanje, trebao bi izgledati kao na slici 6.



$$I = 1,35 / (0,7 + 3) = 0,365 \text{ A}$$

Sl. 6. Ispravan model strujnog kruga sa slike 5.

Na ovom jednostavnom primjeru vidimo kako loš model daje pogrešne rezultate.

Ideja modeliranja primjenjuje se na objekte koji su u vrlo visokoj mjeri podložni zakonima fizike i matematike. Ovo svojstvo nam omogućuje pretvaranje fizičkih i drugih svojstava u matematičke jednadžbe koje točno opisuju ponašanje nekog objekta (npr. antene). Matematički model može biti iznimno točan i pouzdan alat za analizu, projektiranje i konstrukciju.

IZRADA MODELA ANTENE

Izrada modela antene uključuje definiranje početka i završetka žica antene (geometrija antene), opis okoline u kojoj se antena nalazi (vrsta tla), dodavanje elemenata (*insertion object* kao npr. R, L, C, prijenosni vod, transformator, prilagodni elementi) te mjesto i način napajanja (*Source*).

Za svaki podatak o modelu antene program otvara tablicu (sličnu MS Excel tablici) u koju unosimo tražene podatke.

GEOMETRIJA ANTENE

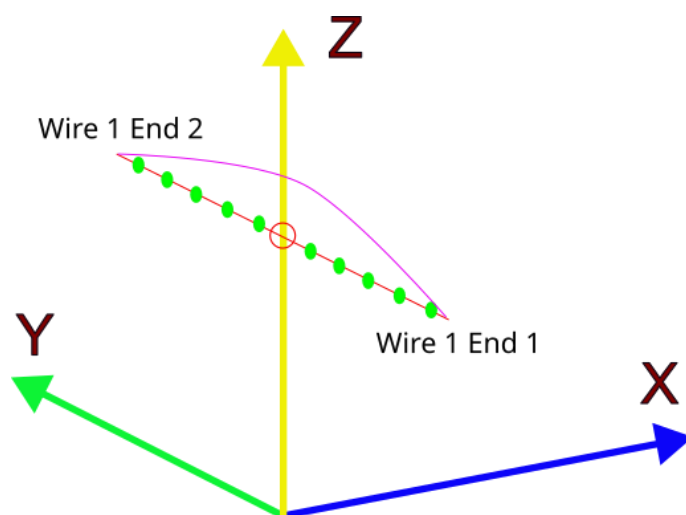
Geometrija antene su fizičke dimenzije antene. EZNEC vidi model antene kao geometrijsku strukturu u nekom prostoru iznad zemlje napravljenu od ravnih žica, bez obzira je li stvarna antena napravljena od žica ili cijevi.

Žica (*Wire* u EZNEC terminologiji) je svaki vodič od kojega je napravljena antena.

Svaka žica u modelu označena je rednim brojem, **1, 2, 3** itd. i ima dva kraja: početak i završetak, **End 1** i **End 2**.

End 1 - početak žice
End 2 - završetak žice

Mjesto u prostoru svake žice definirano je u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu, X,Y,Z, sl.7. Koordinate predstavljaju udaljenost od ishodišta u zadanoj jedinici mjere, npr. metri.



Sl. 7. X, Y, Z koordinatni sustav EZNEC-a

Koordinate X i Y određuju horizontalnu poziciju žice, a Z visinu iznad zemlje.

Duljinu pojedinog elementa antene tj. žice, definiramo pozicijom krajeva žice, **End 1** i **End 2** uzduž X ili Y osi, čime smo zapravo definirali duljinu svake žice antene. Najbolje je duljinu žice (elemenata antene) definirati uzduž osi Y. Os X nam tada pokazuje smjer maksimalnog zračenja i definira razmak između elementa.

Program radi izračun po segmentima svake žice. Na slici 7. zelene točkice označavaju mjesta na kojima su spojeni segmenti. Ljubičasti luk predstavlja raspodjelu jakosti struje uzduž žice. Crveni kružić je mjesto na koje spajamo prijenosni vod.

Kod izrade modela, osim duljine pojedinih dijelova antene tj. njihove pozicije u prostoru, programu moramo zadati promjer žice ili vanjski promjer cijevi, vrstu materijala od kojega je napravljena antena (bakar, aluminij itd...), broj segmenata na koji smo podijelili žicu, podatak o vrsti izolacije (za izoliranu žicu) i mjesto na koje spajamo prijenosni vod.

OPIS OKOLINE U KOJOJ SE ANTENA NALAZI

Opis okoline u kojoj se antena nalazi sastoji se od svih podataka o anteni osim fizičkih dimenzija antene. Minimalni podaci o okolini koje morama zadati programu su:

Frequency – frekvencija za koju modeliramo antenu.

Source je izvor struje ili napona tj. mjesto na koje spajamo prijenosni vod (koaksijalni kabel). EZNEC stavlja *Source* na sredinu segmenta, a grafički ga prikazuje sa crvenim kružićem, sl. 7. Za razliku od stvarne antene gdje je mjesto napajanja izolirano (npr. svaki krak dipola ide na jedan kraj kabela), EZNEC model ne razdvaja antensku žicu na dva djela. Svaka žica je cjelina, a *Source* spajamo na neki od segmenata.

Ground Type i **Ground Description** - Svojstva antene zavise od vrste tla iznad kojeg se antena nalazi. EZNEC nudi 3 vrste tla: *Free Space*, *Perfect* i *Real*.

Free Space – slobodni prostor bez utjecaja na antenu. *Free Space* ne predstavlja stvarni svijet, ali je dobar model za usporedbu kako bi se antena ponašala bez utjecaja okoline.

Perfect – savršeno vodljiva i neograničeno velika ravnina iznad koje se nalazi antena. Najbliže perfektno vodljivom tlu bila bi površina oceana ili VHF/UHF antena iznad ravnog metalnog krova velikog puno valnih duljina u svim smjerovima od antene.

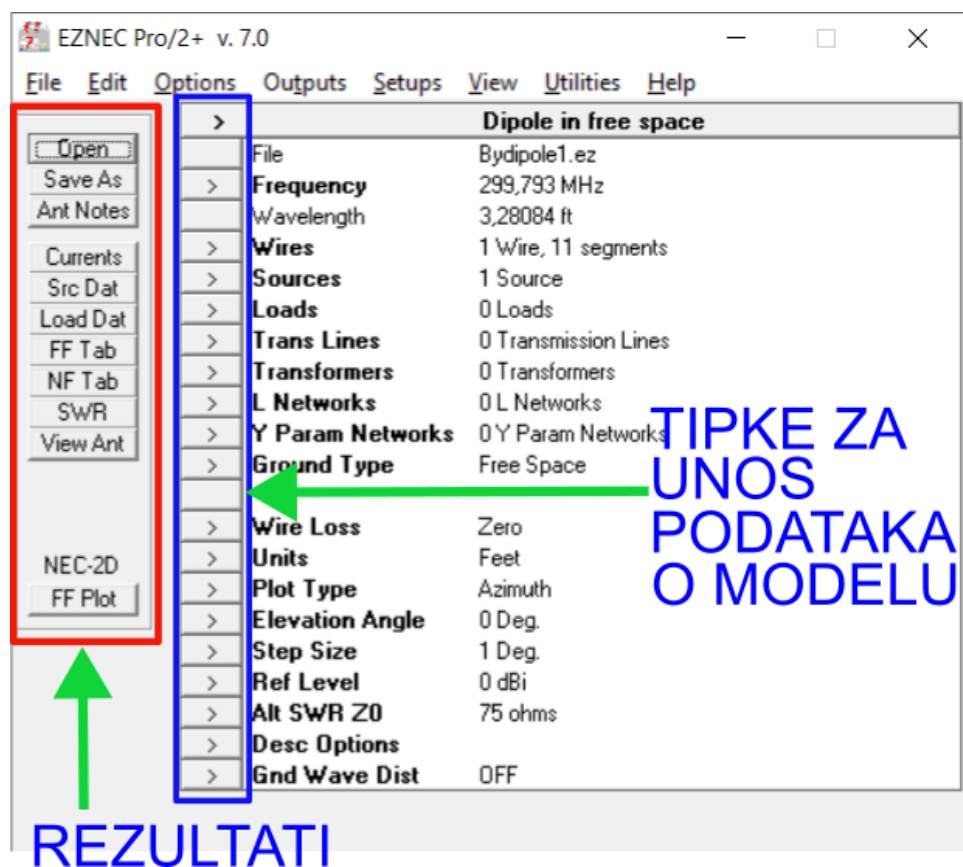
Real – model stvarnog tla definiranog vodljivošću po metrima u Simensima i dielektričnom konstantnom. Karakteristike realne zemlje možemo sami upisati ili izabrati neku od 10-ak vrsti realnog tla koju nudi EZNEC.

PREZENTACIJA REZULTATA IZRAČUNA

EZNEC računa i grafički prikazuje dijagrame zračenja (horizontalni i vertikalni) u 3D i 2D prikazu. 3D prikaz možemo okretati i pregledavati iz svih mogućih kutova. Na dijagramu zračenja EZNEC daje izračun dobittka antene, vertikalni kut zračenja, omjer naprijed-natrag i sl. Izračun SWR možemo gledati kao dijagram ovisnosti SWR-a o frekvenciji ili na Smithovom dijagramu, a tu možemo očitati i impedanciju antene. Osim ovih grafičkih prikaza, EZNEC prikazuje izračune u brojčanom formatu

EZNEC SUČELJE

Sučelje EZNEC-a sastoji se od više različitih prozora za unos podataka i prezentaciju rezultata. Glavni prozor programa izgleda kao na slici 8.



Sl. 8. Glavni prozor programa

Tipke s oznakom > (u plavom okviru) otvaraju tablice i prozore za unos podataka o modelu antene.

U polju desno od tipki za unos podataka su informacije o modelu koje smo zadali softveru za izračun. Na vrhu je naslov modela **Dipole in free space**. Dalje slijede informacije o imenu datoteke u koju je spremljen model, frekvencija za koju radimo model i ostali podaci o modelu antene.

Tipke s lijeve strane (u crvenom okviru) pokreću izračun i otvaraju prozore s rezultatima izračuna.

U radu, EZNEC stalno sprema promjene u datoteku *LAST.EZ* tako da nema potrebe za povremenim, ručnim spremanjem kao kod većine drugih Windows programa. Prilikom pokretanja programa, EZNEC automatski otvara datoteku *LAST.EZ*.

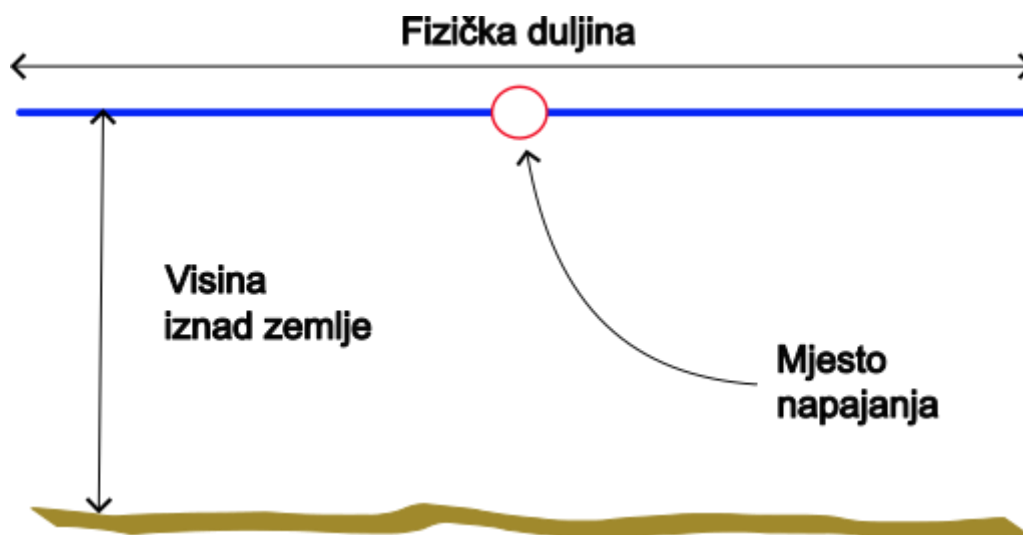
Neki drugi model otvaramo klikom na **Open**. Prilikom instalacije EZNEC dolazi s 50-ak gotovih modela. Svaki od tih modela moguće je modificirati po želji i spremiti kao naš novi model.

Model antene počinjemo modifikacijom gotovog modela koji dolaze s programom.

Kako EZNEC radi najbolje je opisati na primjerima. Prvo ćemo napraviti model jednostavne antene. To je idealni poluvalni dipol u slobodnom prostoru. Iako takvu antenu u stvarnosti ne možemo napraviti, model idealne antene služi nam za usporedbu sa stvarnim antenama.

MODEL IDEALNOG POLUVALNOG DIPOLA U SLOBODNOM PROSTORU (FREE SPACE)

Kao uvod u EZNEC, napravimo model idealnog dipola za 14 MHz u slobodnom prostoru, slika 9.



Sl. 9. Skica poluvalnog dipola za 14 MHz na visini 10 m iznad zemlje

VAŽNO: Stvarni dipol se sastoji od dvije žice spojene na prijenosni vod (npr. koaksijalni kabel). EZNEC tretira dipol kao jednu ravnu žicu (žicu na pravcu!) podijeljenu na segmente koji su međusobno spojeni, sl. 7. Mjesta spajanja segmenata EZNEC ilustrira zelenim točkicama.

Izradu modela počinjemo modifikacijom modela iz datoteke *Dipole1.ez*. Klik na tipku **Open** u glavnom prozoru i iz ponuđenog biramo datoteku *Dipole1.ez*.

Pogledajmo od čega se sastoji model *Dipole1*:

Na vrhu glavnog prozora vidimo naslov "**Dipole in free space**" što nam govori da je ovo model dipola u slobodnom prostoru. Naslov možemo promijeniti klikom na naslov i upisati opis po želji, ali do najviše 30 znakova, npr. "**Dipol 14 MHz, 10 m iznad zemlj**".

Ispod naslova, su dodatne informacije o modelu kao npr. **Frequency, Wires, Sources** itd., iz kojih vidimo frekvenciju za koju je model rađen, broj žica i segmenata od kojih se sastoji (u ovom primjeru *1 Wire, 11 segments*), ima samo jedan izvor (*1 Source*), nije iznad tla nego je napravljen u slobodnom prostoru (*Free Space*) itd...

Prije nastavka, klikom na **Units** promijenimo jedinicu duljine u metre.

Izradu modela počinjemo unošenjem podataka o geometriji antene.

Iako podatak o frekvenciji nije dio geometrije antene, zgodno je prvo upisati (promijeniti) frekvenciju modela antene. Klik na tipku **>** ispred **Frequency** otvara prozor u koji unosimo novu frekvenciju u MHz. Upišimo 14 i potvrdimo s **OK**, sl. 10.

Frequency

Enter frequency in MHz, or 0 for 1m wavelength.
Check the 'Rescale' box to rescale antenna to the new frequency.

Frequency (MHz)

☐ Rescale

Ok Cancel

Sl. 10. Prozor za unos frekvencije

Jedan od najvažnijih parametara koji moramo odrediti je broj segmenata na koje EZNEC treba segmentirati žicu. Uz dovoljan, ali ne preveliki broj segmenata, aproksimacija će biti dobra, a eventualne pogreške male. Preveliki broj segmenata produljuje vrijeme računanja.

Za žicu dugu pola valne duljine dovoljno je zadati 11 segmenata. Ako je žica dulja od pola valne duljine kao praktično pravilo segmentacije uzimamo najmanje 10 segmenata za svakih pola valne duljine ili za jako precizan izračun 20 segmenata po svakih pola valne duljine. Uputno je da **broj segmenata po žici bude neparan broj** – razlog je pozicija mjesta napajanja, što će kasnije biti objašnjeno.

Klik na **Wires** otvara tablicu u kojoj za svaku žicu definiramo broj segmenata, koordinate svake žice u prostoru (duljinu žice definiraju koordinate uzduž osi Y), promjer žice i ostale tražene parametre modela, sl. 11.

U glavnom prozoru vidimo da je EZNEC za 14 MHz izračunao valnu duljinu *Wavelength* 21,4138 metara. Poluvalni dipol je pola valne duljine, znači oko 10,7 m. Za razliku od stvarnog dipola koji se sastoji od dva dijela, EZNEC modelira poluvalni dipol kao jednu žicu koja ima dva kraja **End 1** i **End 2**. Koordinate X, Y kraja **End 1** mogu biti 0, 0, a koordinate kraja **End 2** diktiraju duljina dipola. Dakle, koordinate X, Y kraja **End 2** moraju biti X=0, Y=10,7. Dipol će biti na visini 10 m, znači koordinata Z obadva kraja je 10.

Podatke unosimo u tablicu klikom miša u traženo polje i jednostavno upišemo novi podatak. Novi podatak je prvo crvene boje, a program ga je prihvatio tek kad udarimo na tipku **Enter** na tipkovnici, sl. 11.

Wires

Wire Create Edit Other

☐ Coord Entry Mode ☐ Preserve Connections ☒ Show Wire Insulation ☒ Show Loss

Wires									
	No.	End 1				End 2			
		X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn
	1	0	0	10		0	10,7	10	
*									

Sl. 11. Wires tablica – srce izrade EZNEC modela antene

Koordinate našeg dipola su: **End 1** = 0, 0, 10 i **End 2** = 0, 10,7, 10.

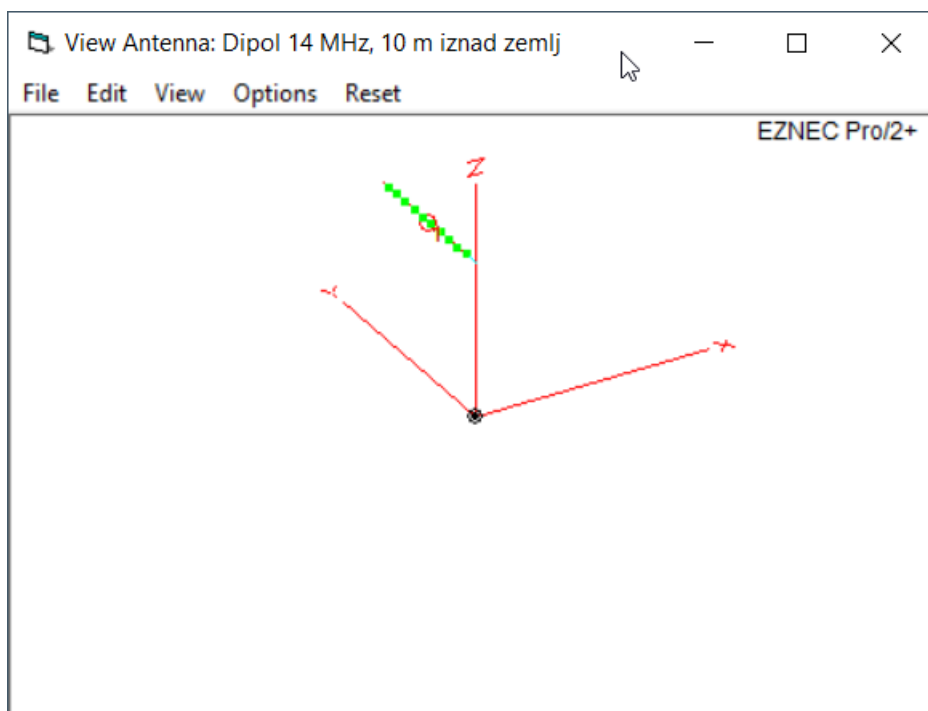
Broj segmenata, 11, upisujemo u polje žice **No. 1** stupac **Segs** i potvrdimo sa **Enter**.

Diameter žice, *Insulation* i *Wire Loss* ostavimo kako je ponuđeno. Tablica **Wires** dipola za 14 MHz u slobodnom prostoru sada treba izgledati kao na sl. 12.

Wires																
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Insulation			Wire Loss		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			Diel C	Thk (mm)	Loss Tan	R (ohm-m)	Perm	Type
1	0	0	10		0	10,7	10		1	11	1	0	0	0	1	Zero

Sl. 12. Wires tablica dipola za 14 MHz

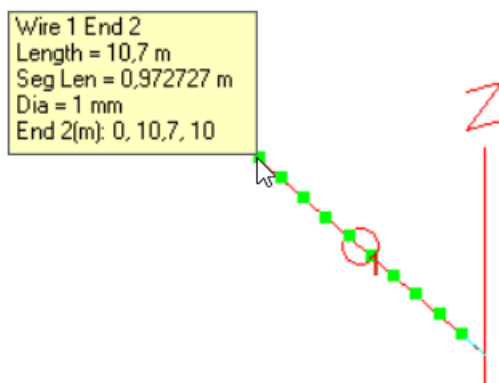
Klikom na **View Ant** pogledajmo kako EZNEC vidi model našeg dipola, sl. 13.



Sl. 13. View Ant - dipol za 14 MHz

Ako s lijeve strane prozora **View Ant** vidite dodatne komande, radi preglednosti možete ih isključiti. Iz izbornika **View** maknite kvačicu ispred **Show Controls**.

Dodatne informacije o žici vidimo u skočnom prozoru, sl. 14. Dovedite i zadržite strelicu miša na žicu u **View Ant** prozora. Pojavljuje se žuti pravokutnik sa svim važnim informacijama o žici.



Sl. 14. Skočni prozor View Ant prozora

Kad smo definirali geometriju, slijede podaci o okolini u kojoj se antena nalazi.

Frekvenciju smo već upisali. Slijedeće je izvor napajanja, *Source*. Na skici, slika 9., odredili smo da dipol napajamo na sredini, a sad to trebamo reći i EZNEC-u.

U glavnom prozoru, klik na **Sources** otvara tablicu, sl. 15. u koju unosimo podatke:

- na koju žicu spajamo kabel,
- na koje mjesto na žici,
- podatke o struji ili naponu.

Sources								
	No.		Specified Pos.		Actual Pos.		Amplitude	Phase
			Wire #	% From E1	% From E1	Seg	(V, A)	(deg.)
▶	1		1	50	50	6	1	0
*								

Sl. 15. Tablica Sources

Naš se dipol sastoji samo od jedne žice (žica **No 1**) pa nam je u tablici ponuđena samo ta jedna žica. EZNEC je pretpostavio da dipol napajamo na sredini pa je ponudio mjesto spajanja kao udaljenost u postocima od kraja **End 1** (u *Sources* tablici označeno je kao **%From E1**, žice **No 1**). Vrijednost 50 % znači sredina dipola.

Podatke **Amplitude**, **Phase** i **Type** ostavimo kako je ponuđeno.

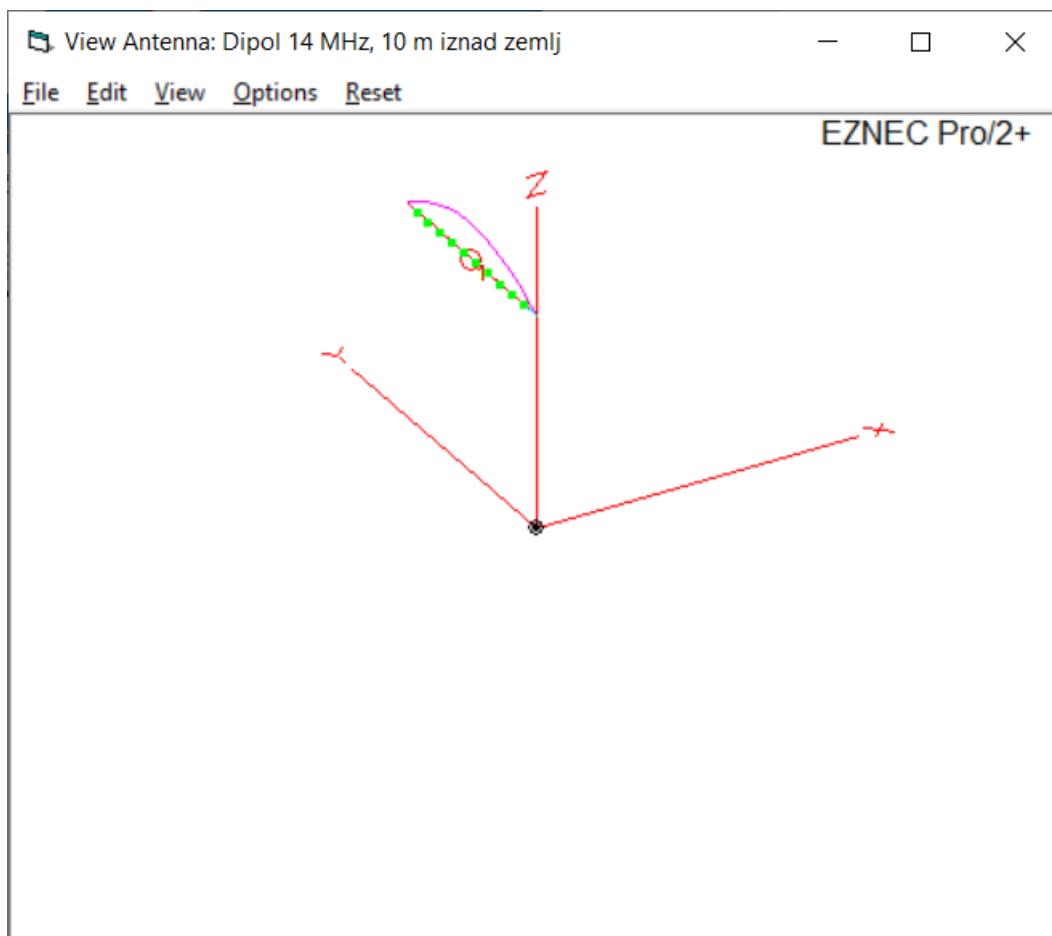
U ovom primjeru našeg dipola u tablici **Sources** ne treba ništa mijenjati. Tablicu **Sources** možemo zatvoriti klikom na **X** u gornjem desnom kutu tablice.

Budući da modeliramo idealnu antenu u slobodnom prostoru, ostavimo **Ground Type Free Space** kako je ponuđeno u glavnom prozoru.

Za jednostavan idealni dipol u slobodnom prostoru, ovo bi trebalo biti dovoljno podataka.

Kliknite na **FF Plot**. Otvara se horizontalni dijagram zračenja koji za sada ignorirajte. **FF Plot** smo otvorili samo zato da bi nam EZNEC u **View Ant** prikazao raspodjelu struje na dipolu. Kliknite na **View Ant** i pogledajte kako sada izgleda antena u **View Antenna** prozoru, sl. 16.

Prikaz modela u X,Y,Z prostoru možete okretati po volji. Kliknite u prazan prostor bilo gdje u prikazu modela i vucite pritisnutom lijevom tipkom miša ili kliknite mišem u prazan prostor i okrećite prikaz strelicama na tipkovnici.

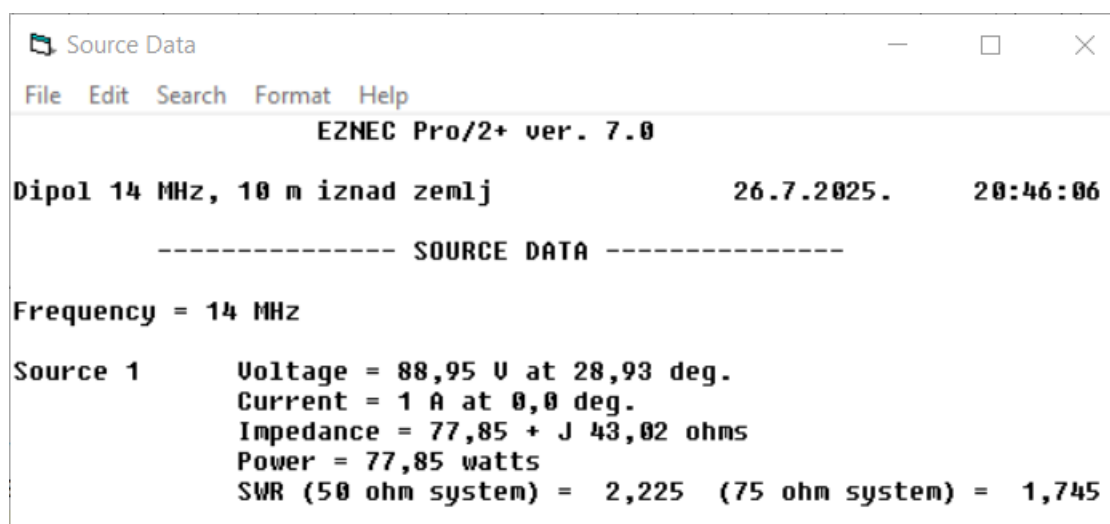


Sl. 16. Dipol s prikazanom raspodjelom struje

Crveni kružić na sl. 16. označava *Source* (mjesto na koje spajamo prijenosni vod), a ljubičasti luk ilustrira raspodjelu jakosti struje duž žice. Vidimo da je struja najjača na sredini, a najslabija na krajevima.

Raspodjelu jakosti struje u prozoru **View Antenna** vidimo tek nakon klika na **FF Plot**.

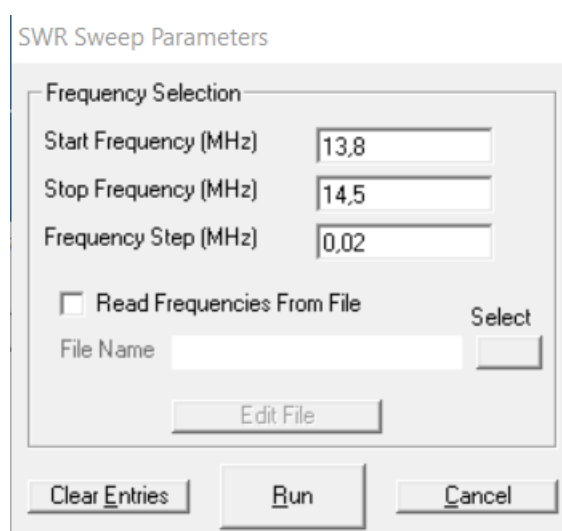
Podatke o impedanciji, SWR-u, struji i sl. modela dipola koji smo upravo napravili možemo pročitati ako u glavnom prozoru kliknemo na tipku **Src Dat**, sl. 17.



Sl. 17.

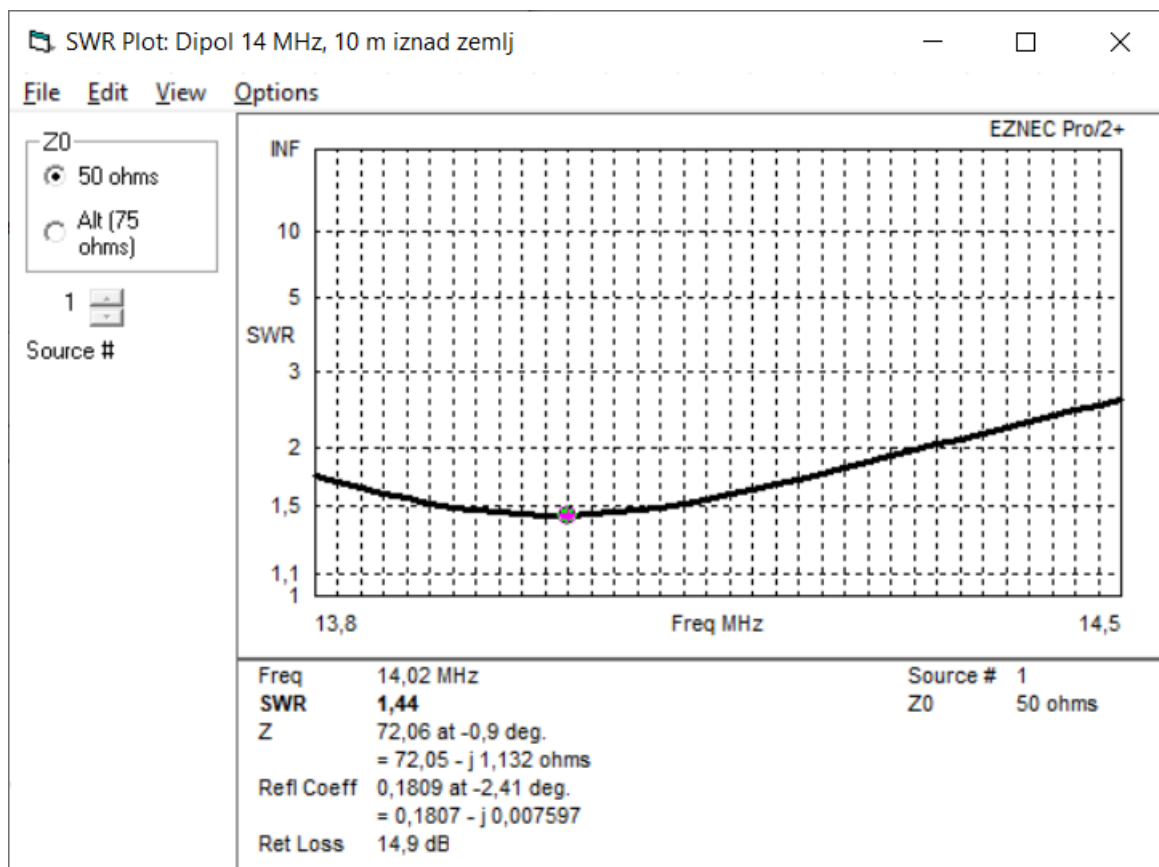
Vidimo da je SWR 2,2. Podatak o reaktivnom dijelu impedancije +j 43,02 oma, otkriva nam da je žica predugačka za frekvenciju od 14,0 MHz, znači treba je malo skratiti. U tablici **Wires** skratite žicu promjenom koordinate Y kraja **End 2** u 10,4 i potvrdite sa **Enter**. Sad ponovno otvorite **Src Dat**. Vidimo da se promijenio reaktivni dio impedancije u točki napajanja za frekvenciju 14,0 MHz u prihvatljiviju vrijednost od -j 3,439 oma.

Krivulju SWR-a za cijeli 20-metarski opseg možemo vidjeti ako otvorimo SWR prozor. U glavnom prozoru kliknite na tipku **SWR**. Upišite željeni frekvencijski raspon, (npr. za start 13,8 MHz i za stop 14,5 MHz) i korak (npr. 0,02 MHz). Potvrdite klikom na **Run**, sl. 18.



Sl. 18. Frekventno područje za prikaz krivulje SWR-a

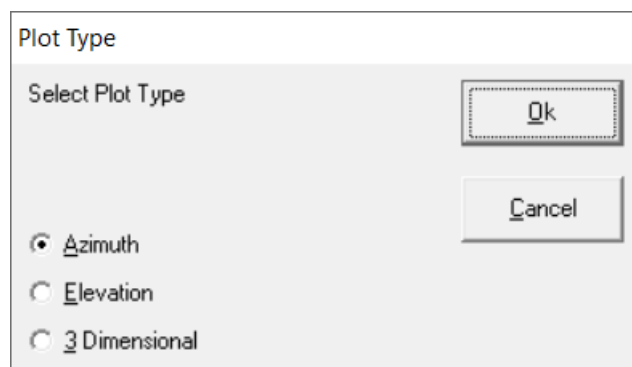
Otvorio se prozor **SWR Plot**, sl. 19. Zelenu točkicu možete vući lijevom tipkom miša ili sa strelicama na tipkovnici. Ispod dijagrama EZNEC prikazuje vrijednosti SWR-a i impedancije za odabranu točku.



Sl. 19. Krivulja SWR-a za odabrano frekventno područje

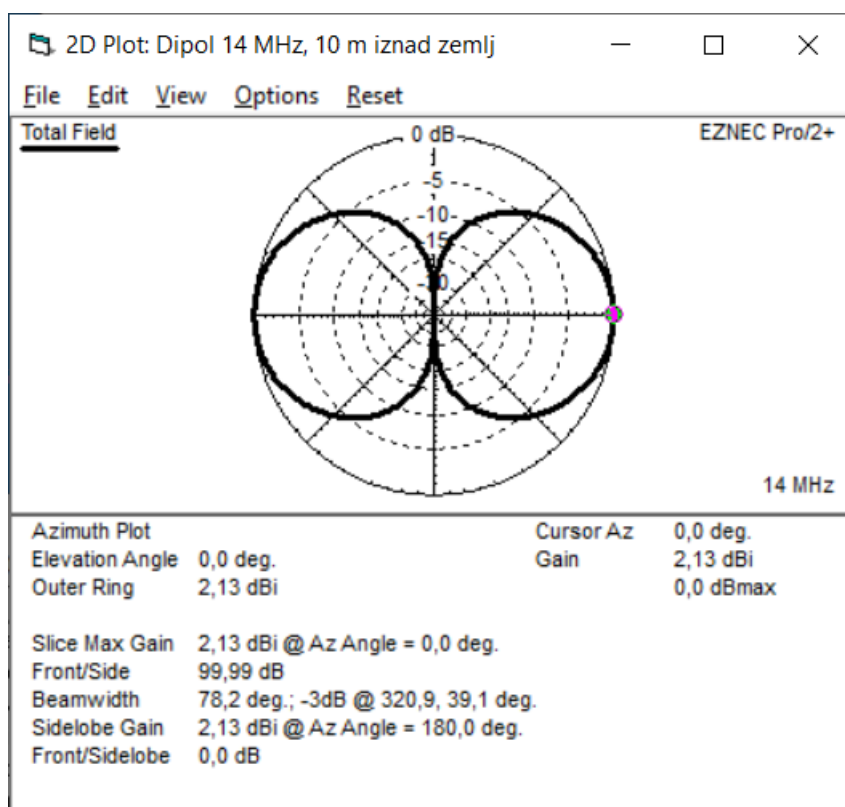
Na kraju, zanima nas horizontalni (azimut) i vertikalni (*eng. elevation*) dijagram zračenja našeg idealnog poluvalnog dipola u slobodnom prostoru i njegov dobitak u odnosu na referentnu izotropsku antenu.

Klikom na **Plot Type** u glavnom prozoru bismo **Azimuth** i potvrdimo sa **OK**, sl. 20.



Sl. 20. Odabir dijagrama zračenja

Horizontalni dijagram zračenja, sl. 21. vidimo kad u glavnom prozoru kliknemo na **FF Plot**.



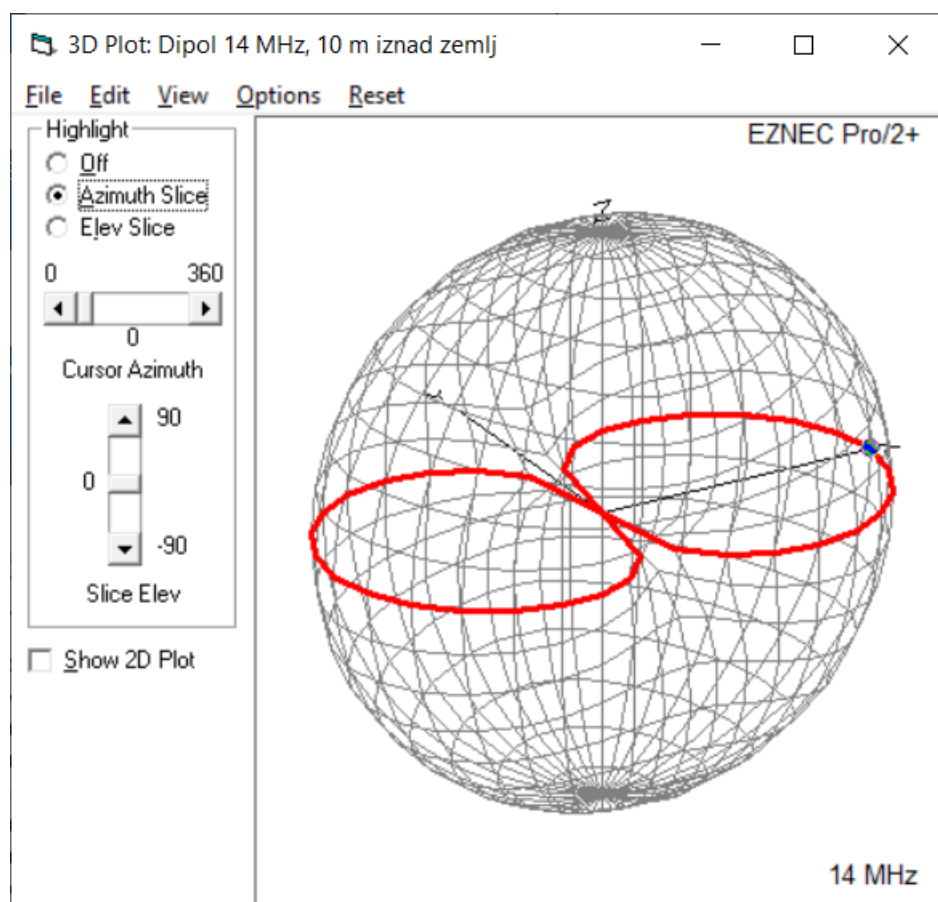
Sl. 21. Horizontalni dijagram zračenja idealnog poluvalnog dipola u slobodnom prostoru

Vidimo "osmicu" našeg idealnog dipola i tekstualni blok s dodatnim informacijama kao npr. Gain 2,13 dBi (dobitak od 2,13 dB u odnosu na referentu izotropsku antenu).

Horizontalni dijagram zračenja je dvodimenzionalni dijagram maksimalnog zračenja. Dobijemo ga kao presjek iz trodimenzionalnog dijagrama pod kutom maksimalnog vertikalnog zračenja.

Prije nastavka spremimo 2D horizontalni dijagram zračenja u posebnu datoteku, jer će nam kasnije trebati. U prozoru **2D Plot**: iz izbornika **File** biramo **Save Trace As...**, kao ime datoteke upišemo npr. *20_m_dipol_idealni* i potvrdimo klikom na **Save**.

3D prikaz zračenja dobijemo tako da u **Plot Type** izaberemo **3 Dimensional** i ponovno pokrenemo **FF Plot**, sl. 22.



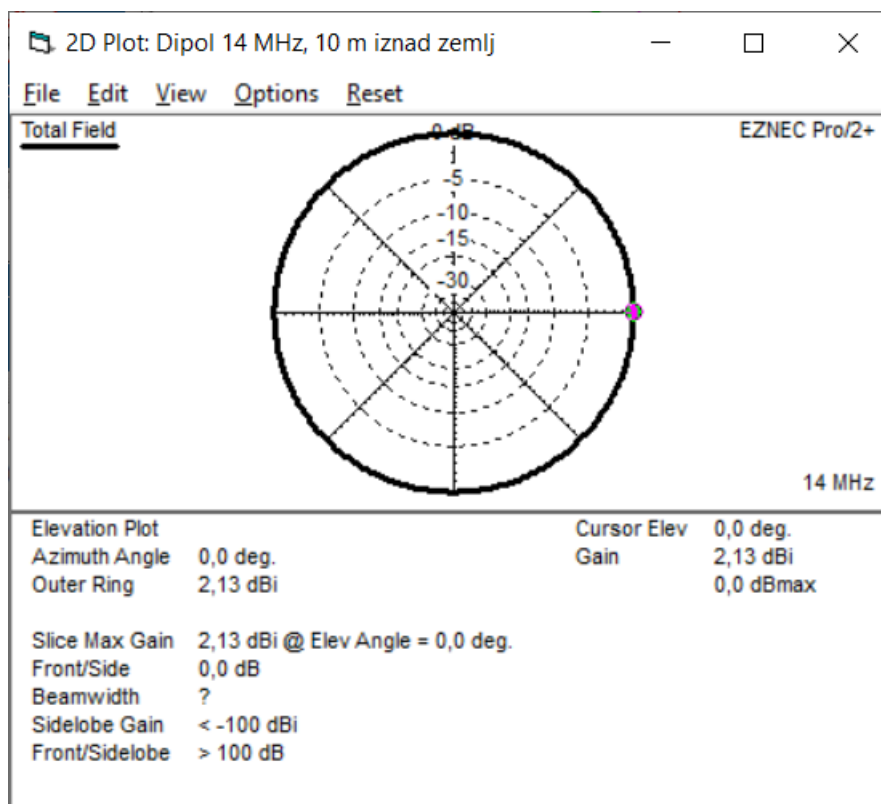
Sl. 22. 3D dijagram zračenja idealnog poluvalnog dipola u slobodnom prostoru

Da bi vidjeli presjek koji prikazuje horizontalni dijagram maksimalnog zračenja (crvenu "osmicu"), u gornjem prikazu kliknite na **Azmut Slice**. Ako ne vidite opcije kao na lijevoj strani slike 22., u izborniku **View** kliknite na **Show Controls**.

Boju presjeka možete odabrati po volji iz izbornika **Options > Colors > Highlighted Slice...**

Sa slika 21. i 22. jasno vidimo da idealni dipol najbolje zrači u smjeru okomito na duljinu žice i uopće ne zrači u smjeru u kojem je položena žica. (Sjetite se da ste žicu položili duž osi Y).

Sliku vertikalnog kuta maksimalnog zračenja dobijemo iz glavnog prozora klikom na **Plot Type** i odabirom opcije **Elevation**. Na kraju klik na **FF Plot** otvara prozor kao na sl. 23.



Sl. 23. Vertikalni dijagram zračenja idealnog poluvalnog dipola u slobodnom prostoru

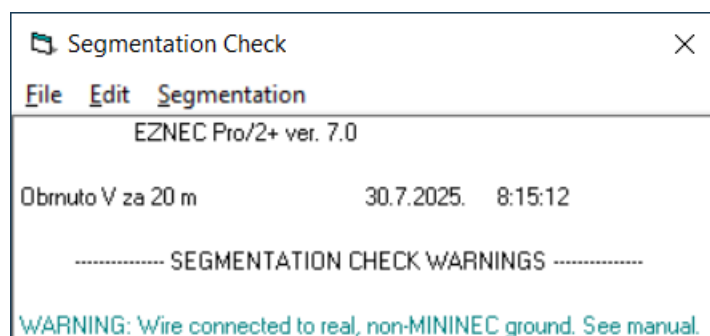
Primijetite da vertikalni dijagram zračenja poluvalnog dipola u slobodnom prostoru nema smisla jer dipol jednako zrači gore kao i dolje (nema zemlje!).

Prije nastavka, spremite model u posebnu datoteku klikom na tipku **Save As**. Odaberite ime po volji, npr. *Dipol_20m_slobodni_prostor* i potvrdite sa **Save**.

Ako se otvori prozor **Antena Notes** jednostavno kliknite na **Yes**. EZNEC tu sprema napomene o modelu, a to nam za sada nije važno.

SEGMENTATION CHECK WARNINGS

EZNEC upozorava ako žica nije podijeljena na dovoljan broj segmenata ili su segmenti predugi i sl. tako da otvara prozor **Segmentation Check** kao na slici 24.



Sl. 24. Segmentation check warnings

U ovom primjeru upozorava nas da je žica spojena na tlo. U drugim situacijama, obratite pažnju što piše u upozorenju i postupite shodno tome.

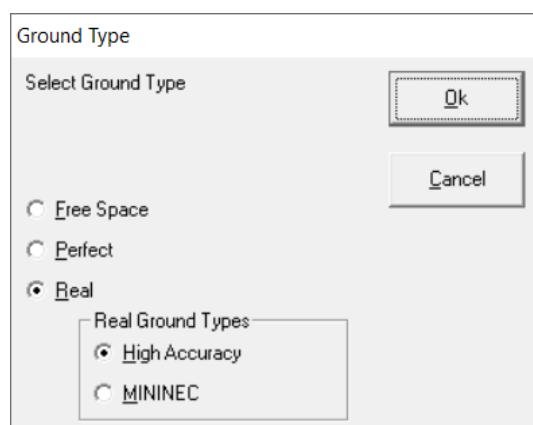
Često upozorenja možemo ignorirati, je ćemo ih ispraviti u daljnjim koracima definiranja modela.

U primjerima koji slijede, ako ste sve napravili kao u primjerima, upozorenje *Segmentation Check* možete ignorirati i zatvoriti klikom na **X** u gornjem desnom kutu.

MODEL STVARNOG POLUVALNOG DIPOLA IZNAD ZEMLJE

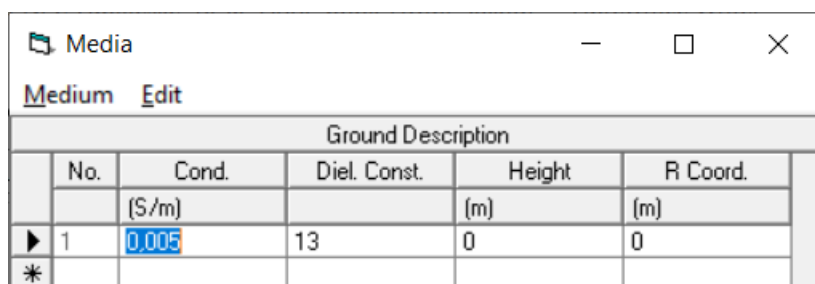
U stvarnosti, naša antena nije u slobodnom prostoru, a utjecaj tla i okoline utječe na impedanciju i dijagram zračenja antene. Izradu modela stvarne antene nastavljamo tako da u model dipola u slobodnom prostoru dodamo utjecaj tla (zemlje).

Prvo biramo vrstu tla klikom na **Ground Type** u glavnom prozoru. Odaberite **Real** i **High Accuracy** i potvrdite sa **OK**, sl. 25.



Sl. 25. Izbor vrste tla

Nakon odabira realnog tla, glavni prozor nudi opciju **Ground Description** (koje prije nije bilo!). Klik na **Ground Description** otvara tablicu **Media** za dodatno opisivanje svojstva tla iznad kojega se nalazi naša antena, sl. 26.



Ground Description					
	No.	Cond.	Diel. Const.	Height	R Coord.
		(S/m)		(m)	(m)
▶	1	0.005	13	0	0
*					

Sl. 26.

Vodljivost i dielektričnu konstantu tla iznad kojega modeliramo našu antenu možemo definirati u poljima tablice **Cond.** i **Diel. Const.** Ti podaci su nam uglavnom nepoznati, ali zato EZNEC nudi izbor vrste tla koje možemo koristiti u našem modelu. Klik desnom tipkom miša u polja **Cond.** ili **Diel. Const.** tablice **Medium** (ili u glavnom prozoru iz izbornika **Options** klik na **Default Ground Const...**) otvara prozor **Ground Characteristics** u kojem biramo vrstu tla koje nam najbolje odgovara, sl. 27.

Ground Characteristics

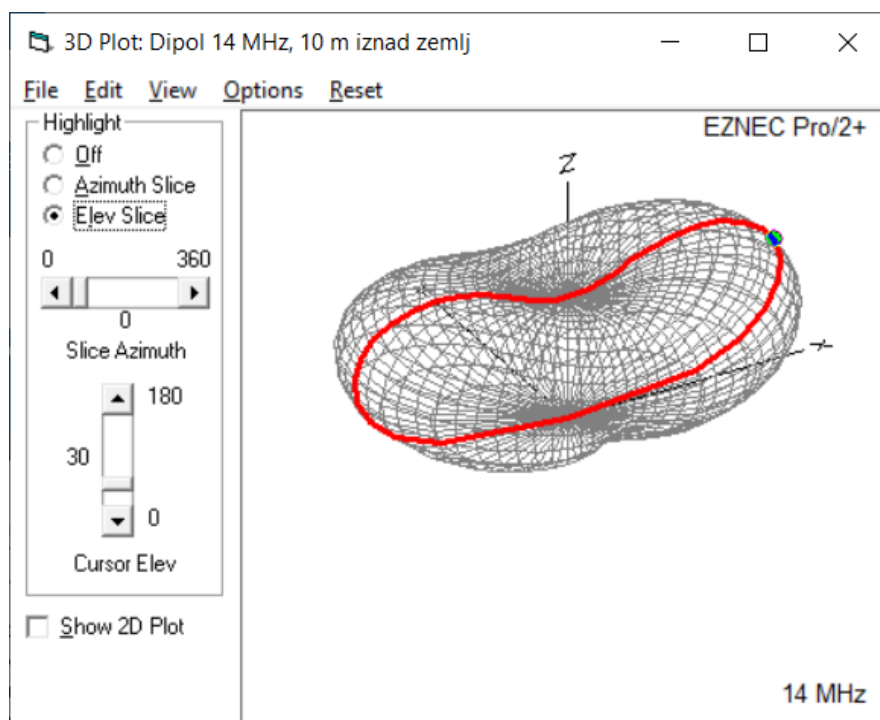
Cond (S/m)	Diel Const	
0,005	13	☐ Direct Entry
0,001	3	☐ Extremely Poor: cities, high bldgs
0,001	5	☐ Very Poor: cities, industrial
0,002	10	☐ Sandy, dry
0,002	13	☐ Poor: rocky, mountainous
0,005	13	☒ Average: pastoral, heavy clay
0,006	13	☐ Pastoral, med hills and forestation
0,0075	12	☐ Flat, marshy, densely wooded
0,01	14	☐ Pastoral, rich soil, US Midwest
0,0303	20	☐ Very Good: pastoral, rich, central US
0,001	80	☐ Fresh water
5	81	☐ Salt water

Ok Cancel

Sl. 27. Svojstva tla

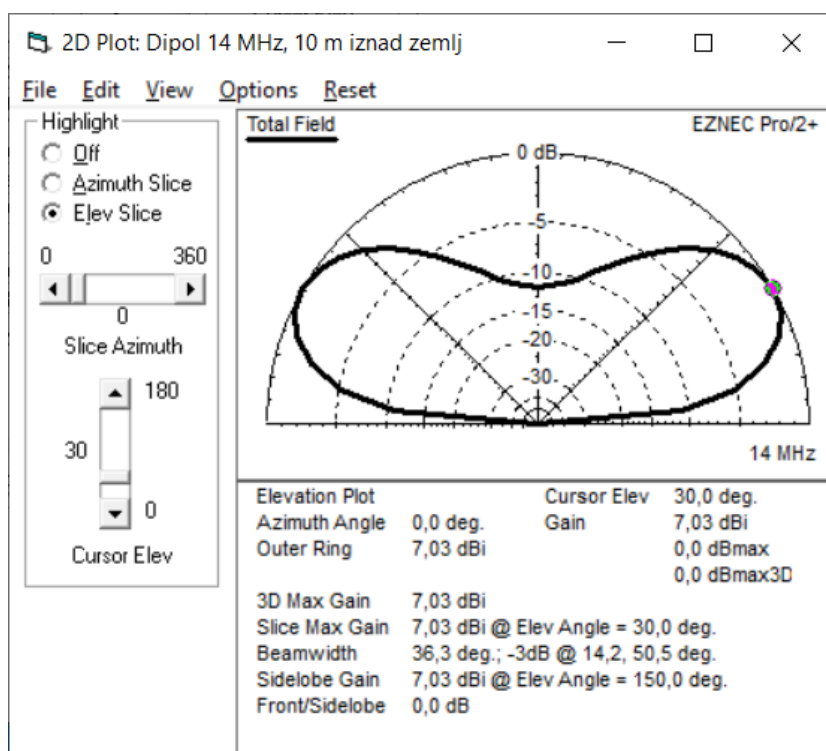
Za naš model stavite točkicu ispred **Average: pastoral, heavy clay** i potvrdite sa **OK**. Tablicu **Media** možete zatvoriti klikom na **X**.

Model našeg dipola više nije u slobodnom prostoru nego na visini 10 m od zemlje. Pogledajmo kako izgledaju dijagrami zračenja. U **Plot Type** odaberite **3 Dimensional**, potvrdite sa **OK** i kliknite na **FF Plot**. Kad se otvori prozor **3D Plot** kliknite na **Elev Slice** (na lijevoj strani prozora), sl. 28. Ako ne vidite kontrole na lijevoj strani, u izborniku **View** kliknite na **Show Controls**.



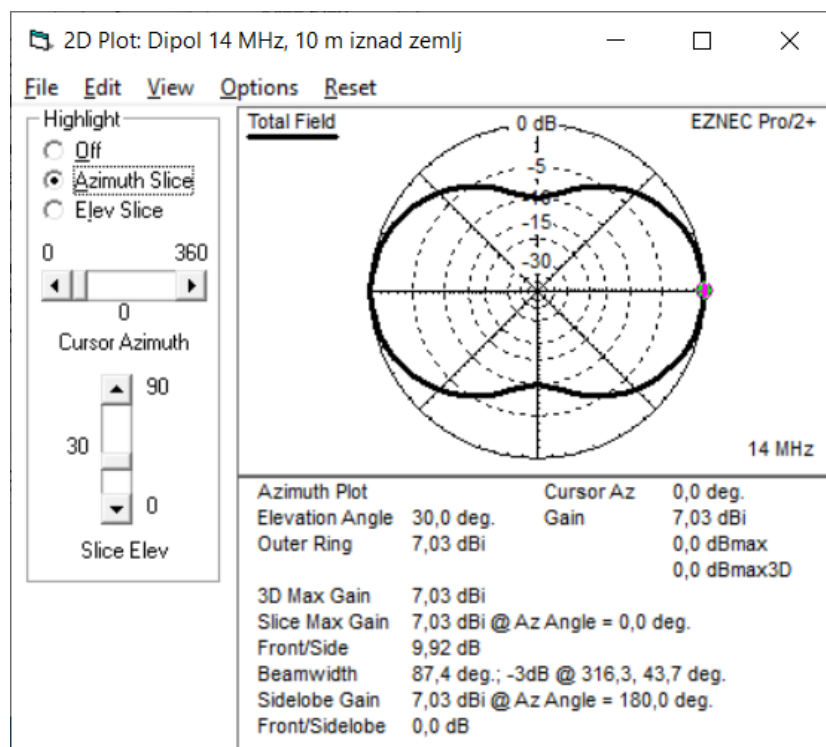
Sl. 28. Vertikalni dijagram zračenja (crvena linija) u 3D dijagramu zračenja

Pogledajmo vertikalni dijagram zračenja u 2D prikazu. U **3D Plot** prozoru, u izborniku **View**, stavite kvačicu ispred **Show 2D Plot**. Otvorio se prozor kao na sl. 29.



Sl. 29. Vertikalni dijagram zračenja

Ako sada u prozoru **2D Plot** kliknete na **Azimuth Slice**, otvara se horizontalni dijagram zračenja sl. 30.



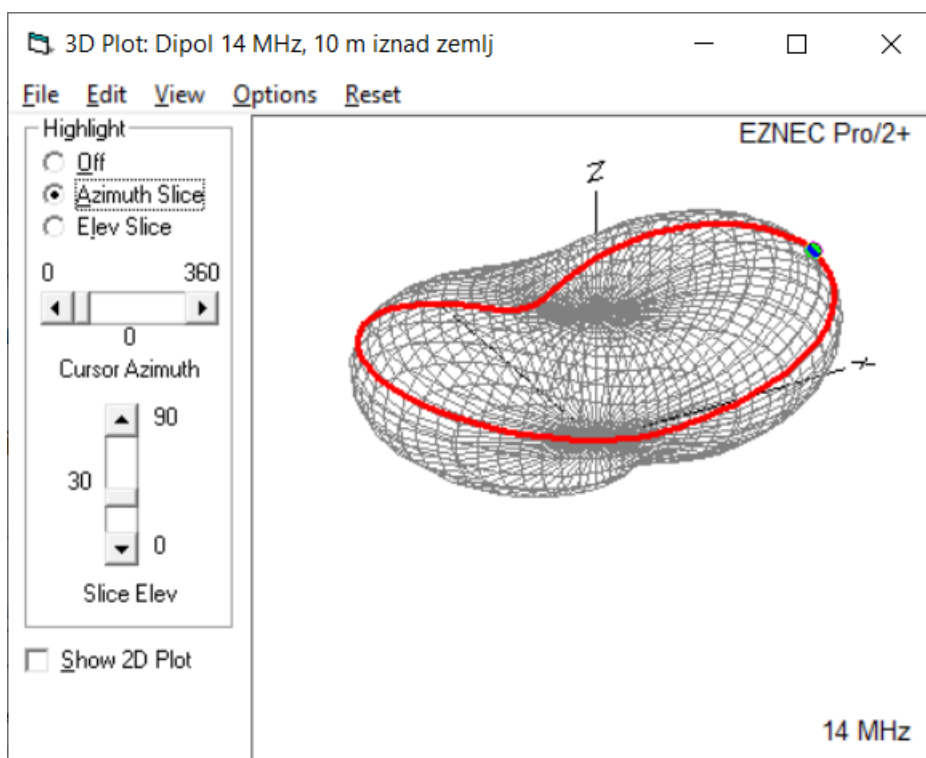
Sl. 30. Horizontalni dijagram zračenja

Prije nastavka spremite horizontalni dijagram zračenja u posebnu datoteku, npr. *Dipol_20m_iznad_zemlje* jer će nam kasnije trebati. EZNEC sprema modele antena u datoteke s ekstenzijom *EZ*, dok dijagrame zračenja sprema s ekstenzijom *PF*. U prozoru **2D Plot** iz izbornika **File** otvorite **Save Trace As...** i upišite *Dipol_20m_iznad_zemlje*. Potvrdite klikom na **Save**.

Vertikalni i horizontalni dijagram zračenja nastali su kao presjek trodimenzionalnog dijagrama zračenja u svim smjerovima, ali pod nekim vertikalnim kutom (*Elevation Angle*).

U primjeru vertikalnog dijagrama zračenja, sl. 29., (lijevo od klizača *Slice Elev*) možemo pročitati da antena najjače zrači pod vertikalnim kutom, *Elevation Angle* = 30 deg.

Horizontalni dijagram zračenja nastao je kao presjek kroz mjesta najjačeg zračenja u horizontalnom smjeru (azimut) 3D dijagrama zračenja, ali pod nekim kutom elevacije, sl. 31. Na primjeru (slika 29.) vidimo da je maksimalno zračenje pod vertikalnim kutom od 30° (*Slice Elev* 30 lijevo od dijagrama zračenja slike 29.).



Sl. 31. Horizontalni dijagram zračenja (crvena linija) u 3D dijagramu zračenja

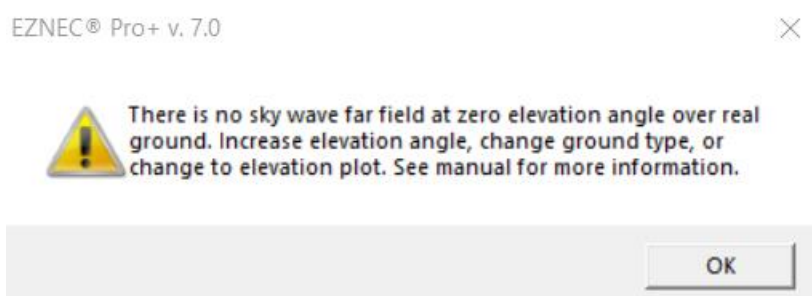
Na dijagramima vidimo da antena ne zrači u svim smjerovima jednako, niti po azimutu, niti "gore u zrak". Vanjska kružnica na horizontalnom dijagramu (kao i vanjska polukružnica na vertikalnom dijagramu) je mjesto najjačeg zračenja, a služi kao referenca za usporedbu sa drugim mjestima da bi vidjeli koliko je zračenje na drugim mjestima slabije od mjesta najjačeg zračenja.

Na horizontalnom (ili vertikalnom) dijagramu, zelenu točkicu možemo micati mišem ili strelicama na tipkovnici i, ovisno o mjestu točkice, očitavati relativnu jačinu zračenja. Kako se točkica miče, mijenjaju se vrijednosti **Cursor AZ** i **Gain** u tekstualnom dijelu ispod

dijagrama, sl. 29. i 30. **Cursor Az** pokazuje smjer u stupnjevima, a **Gain** dobitak antene u tom smjeru u odnosu na izotropsku antenu.

Na horizontalnom dijagramu zračenja realnog dipola, sl. 30., primijetite da, za razliku od idealnog dipola u slobodnom prostoru, stvarni dipol zrači i u smjeru žice. U ovom primjeru zračenje uzduž žice je slabije za 9,92 dB ($Front/Side = 9,92\text{ dB}$) ili oko 10 puta slabije nego u smjeru maksimalnog zračenja.

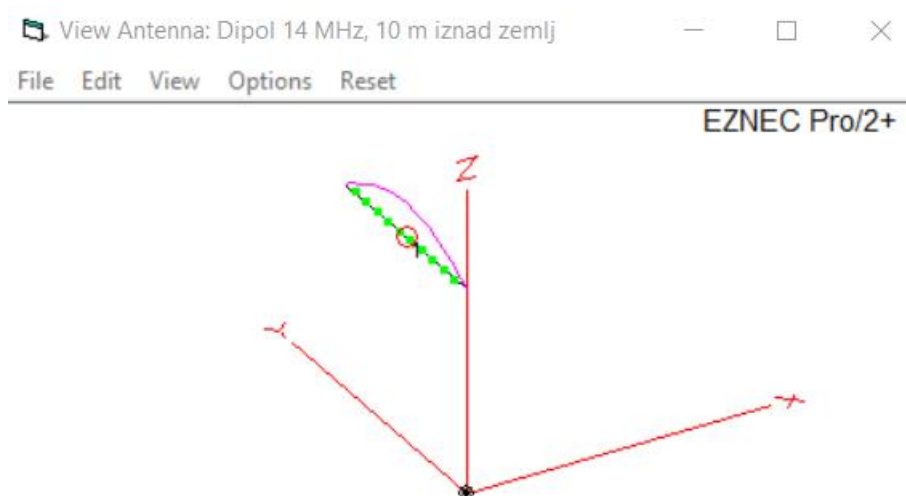
Ponovno otvorimo horizontalni dijagram zračenja, azimut, ali ovog puta iz glavnog prozora. Klikom na **Plot Type** i onda biramo **Azimuth**. Potvrdimo sa **OK** i konačno klik na **FF Plot**. Ako se pojavi upozorenje kao na slici 32., znači da trebamo definirati kut elevacije za dijagram zračenja po azimutu.



Sl. 32. Upozorenje da nismo definirali kut elevacije

Zatvorimo upozorenje klikom na **OK**. Koliki je kut elevacije? Kut elevacije vidimo na vertikalnom dijagramu zračenja. Klikom na **Plot Type** biramo **Elevation** i potvrdimo na **OK**. Otvorimo dijagram klikom na **FF Plot** i očitamo **Cursor Elv**. Dolje, u podatkovnom dijelu s desne strane piše $30,0\text{ deg}$. U glavnom prozoru otvaramo **Elevation Angle** i upisujemo 30,0 stupnjeva. (EZNEC nudi opciju **Elevation Angle** samo ako je prethodno **Plot Type** definiran kao **Azimuth**). Sad možemo pogledati horizontalni dijagram zračenja.

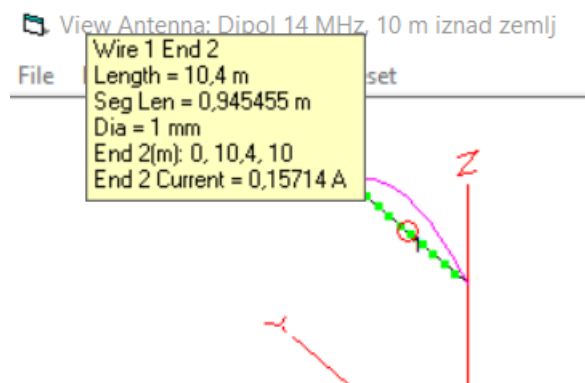
Pogledajmo kako izgleda naš stvarni dipol klikom na **View Ant**.



Sl. 33. Dipol iznad zemlje

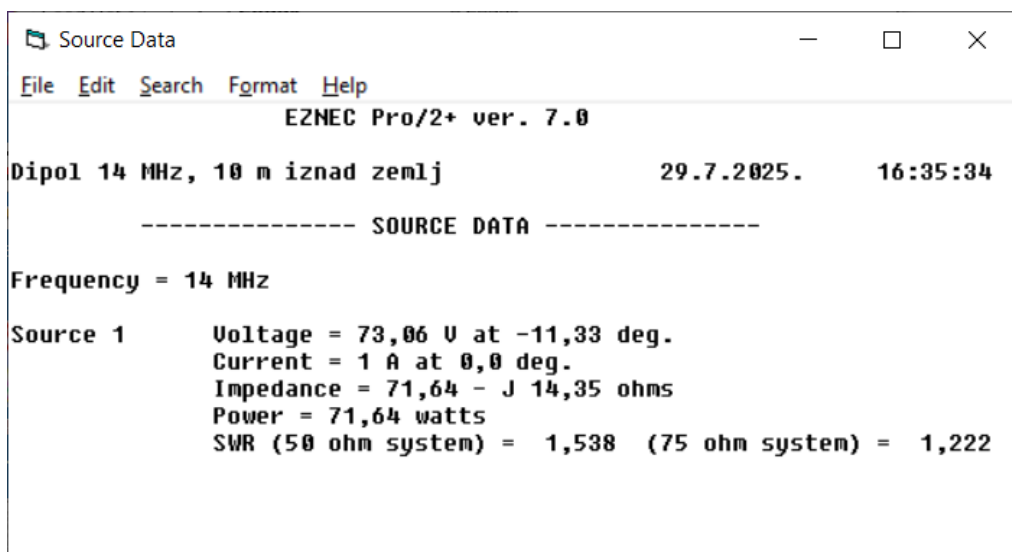
Sa slike 33. vidimo da se dipol sastoji od jedne žice, označene brojem 1 i da je napajanje dipola na sredini.

Dovedite i zadržite strelicu miša bilo gdje na žici. Otvara se žuti skočni prozor sa svim podacima o žici, sl. 34.



Sl. 34. Informacije o žici

Kolika je impedancija i SWR? Klik na tipku **Src Data** otvara prozor **Source Data**, sl. 35. u kojem vidimo da je na frekvenciji 14,0 MHz impedancija 71,64 – j14,35 oma i SWR 1,538.



Sl. 35. SWR i impedancija na 14,0 MHz

Src Dat daje nam podatke za samo jednu frekvenciju. Zanima nas krivulja SWR-a na cijelom opsegu.

Tipka **SWR** iz glavnog prozora otvara prozor **SWR Sweep Parameters** u kojemu možemo definirati frekvencijski raspon i korak po kojemu će program računati SWR, sl. 36. U **Start Frequency (MHz)** upišemo npr. 13,8 a u **Stop Frequency (MHz)** 14,5. Kao korak uzmimo 0,02 što unosimo u **Frequency Step (MHz)**.

SWR Sweep Parameters

Frequency Selection

Start Frequency (MHz)

Stop Frequency (MHz)

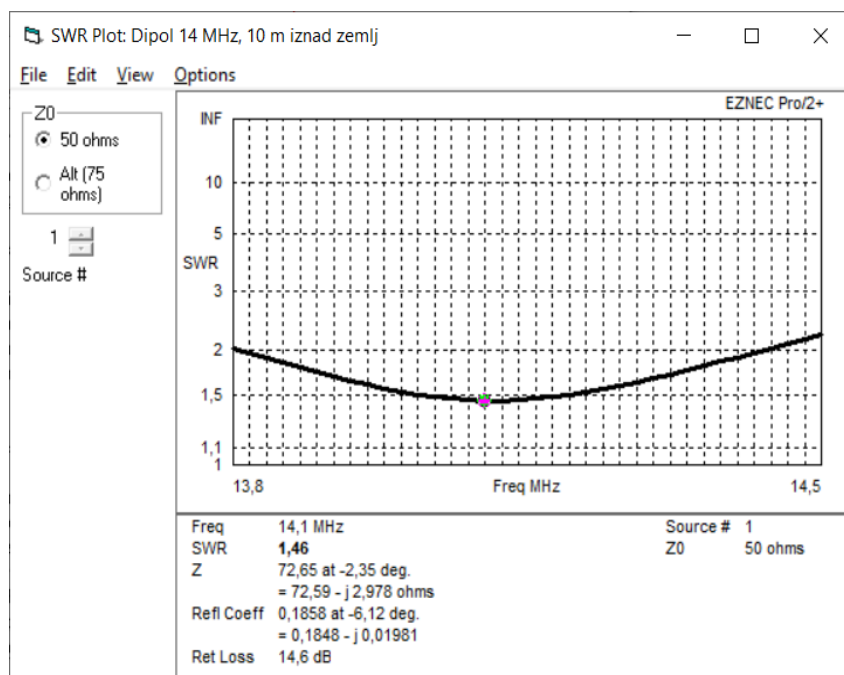
Frequency Step (MHz)

☐ Read Frequencies From File Select

File Name Edit File

Sl. 36. SWR

Klik na **Run** pokreće izračun i otvara prozor **SWR Plot**, sl. 37.



Sl. 37. Krivulja SWR-a

Slično kao i na dijagramima zračenja, imamo malu zelenu točkicu koju možemo vući mišem ili micati strelicama na tipkovnici. Odvucite točkicu na najniže mjesto na krivulji. To je mjesto najboljeg SWR-a. U podatkovnom dijelu vidimo da je SWR najbolji na oko 14,1 MHz i da je tu impedancija 72,29 -j2,978 oma.

Zatvorite **SWR Plot**. Klikom na **Save As** model spremite u datoteku *Dipol_20m_iznad_zemlje* jer će nam trebati kod izrade modela Obrnuto-V antene.

Za vježbu mijenjajte duljinu dipola i visinu od zemlje i gledajte kako se mijenjaju dijagrami zračenja, SWR i impedancija. EZNEC zatvorite kao i sve druge Windows programe, ali nemojte nove promjene spremati u datoteku *Dipol_20m_iznad_zemlje* !