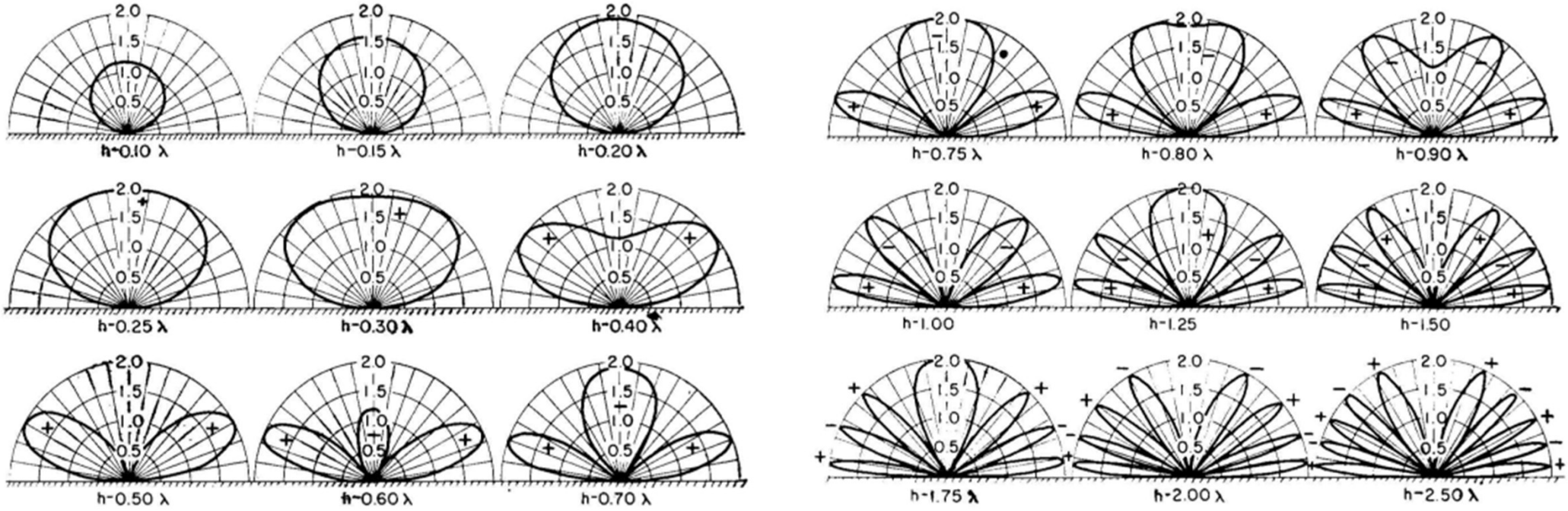
5. Yagi-Uda ja logoperioodiline antenn

IEE2580 – Antennid ja raadiolevi

Suundantennid

- Poollaine dipoolantenni suunadiagramm on 360° ulatuses ühtlane ja seetõttu on sellise antenni võimendus madal: 2,15 dBi.
- Tihtipeale on raadiosidesüsteemi üheks oluliseks parameetriks saavutatav sidekaugus. Üks viis seda suurendada on kasutada suure võimendusega **suundantenne**.
- Selliste antennide valmistamiseks on mitmeid erinevaid viise, järgnevalt vaatame neist kahte võimalikku.
- Mõlemad disainid põhinevad dipoolantennil.

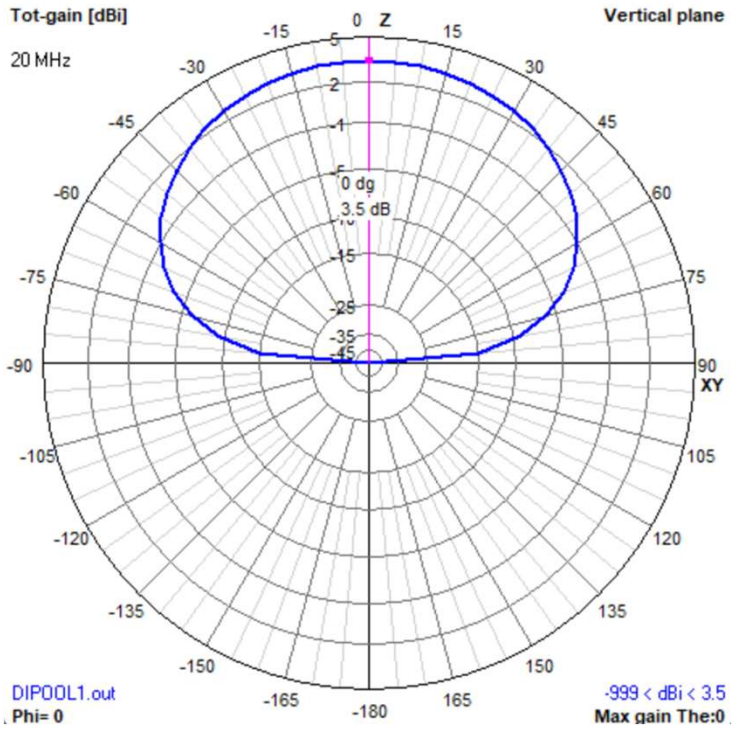
Maapinna mõju antenni suunadiagrammile



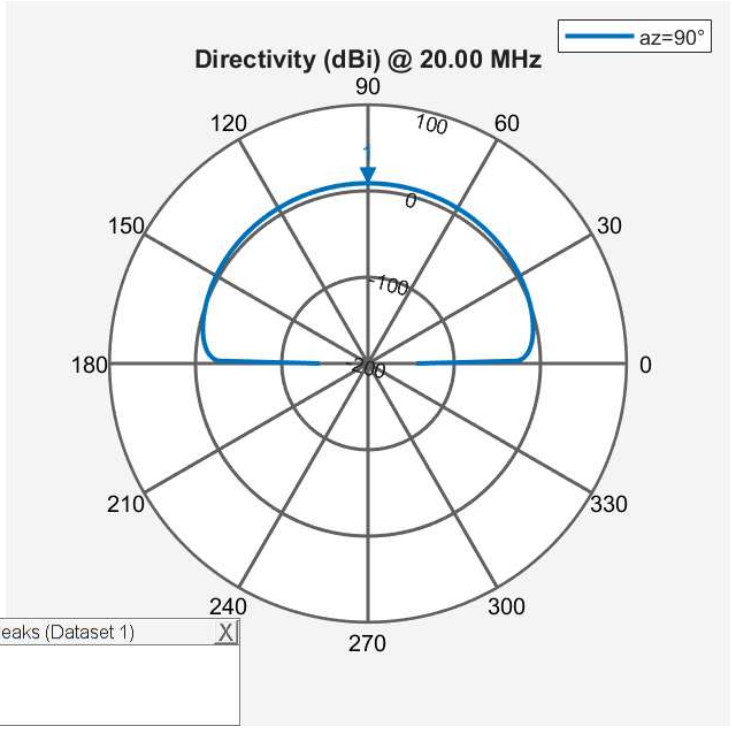
Joonis: http://www.vias.org/radioanteng/radio_antenna_engineering_03_06_02.html

Maapinna mõju – kõrgus λ/10

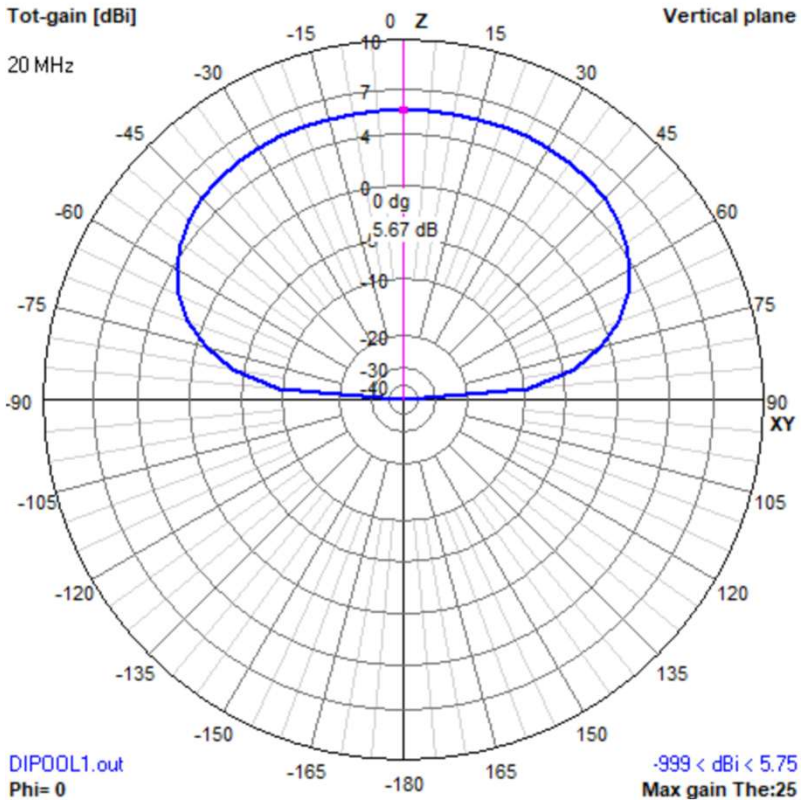
4nec2 – keskmine maapind

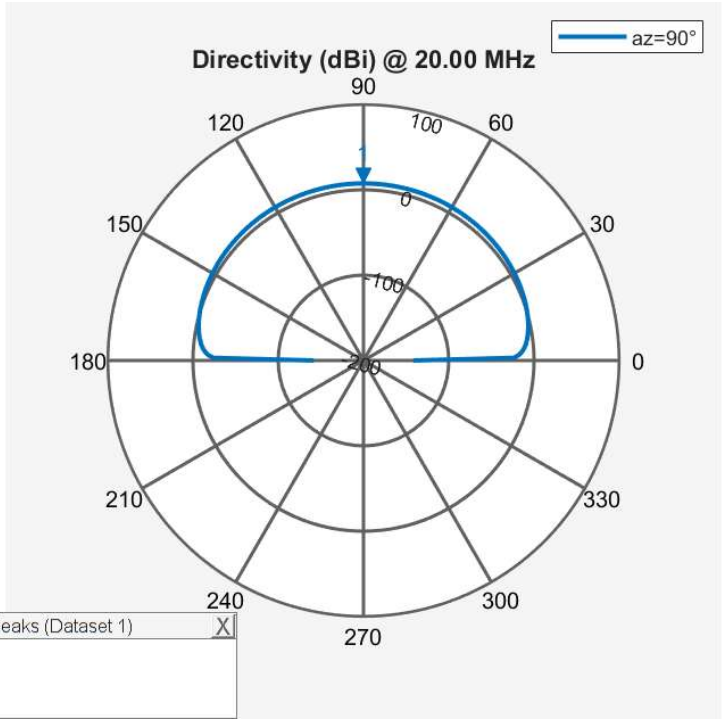


MATLAB – ideaalne juht

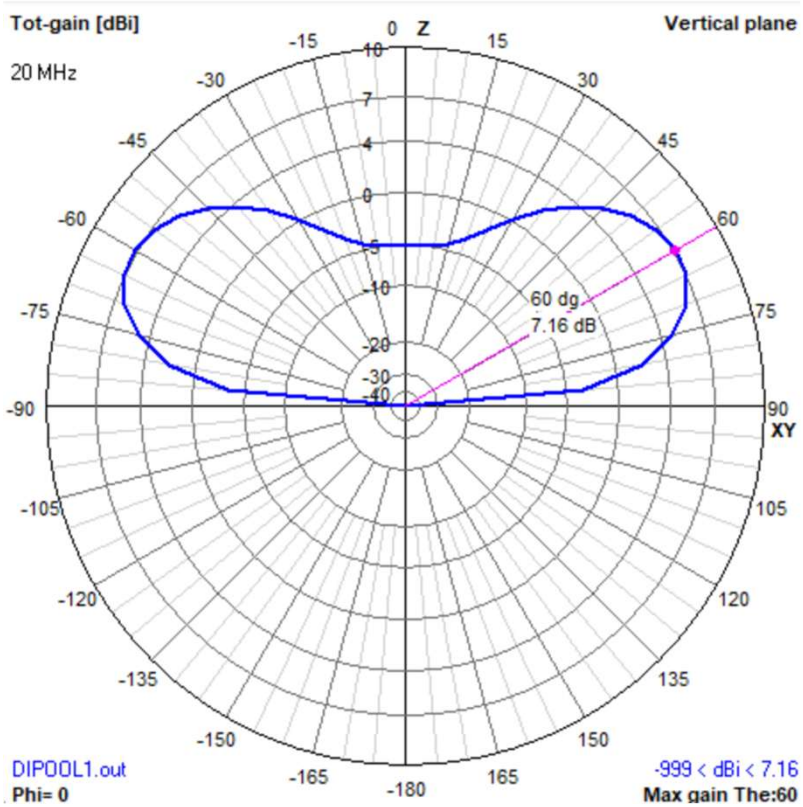


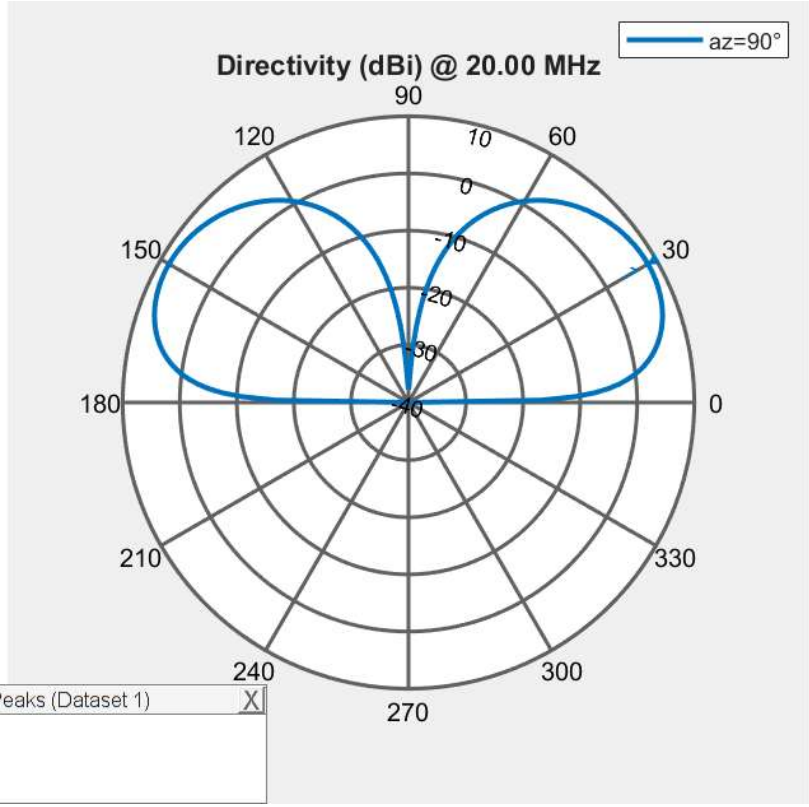
Maapinna mõju – kõrgus λ/4





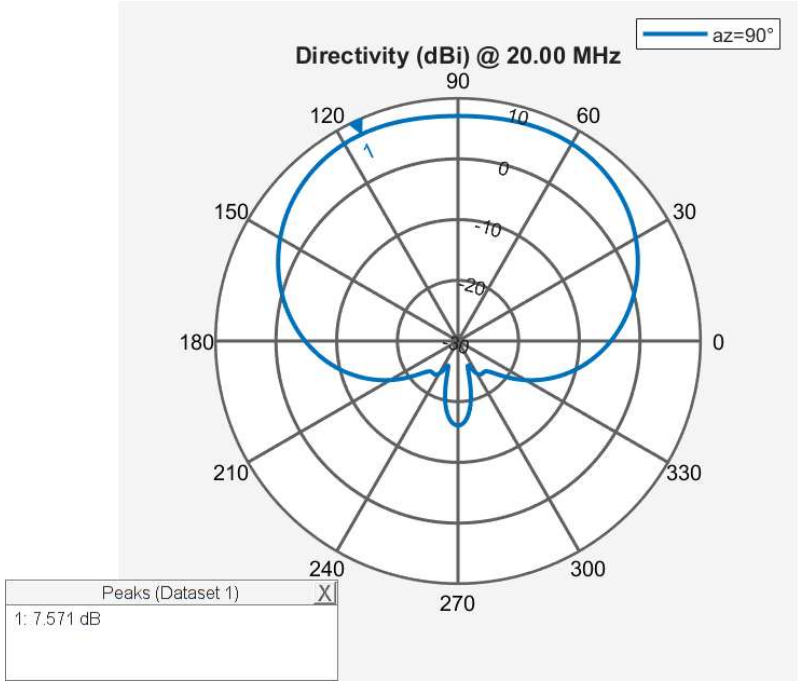
Maapinna mõju – kõrgus λ/4



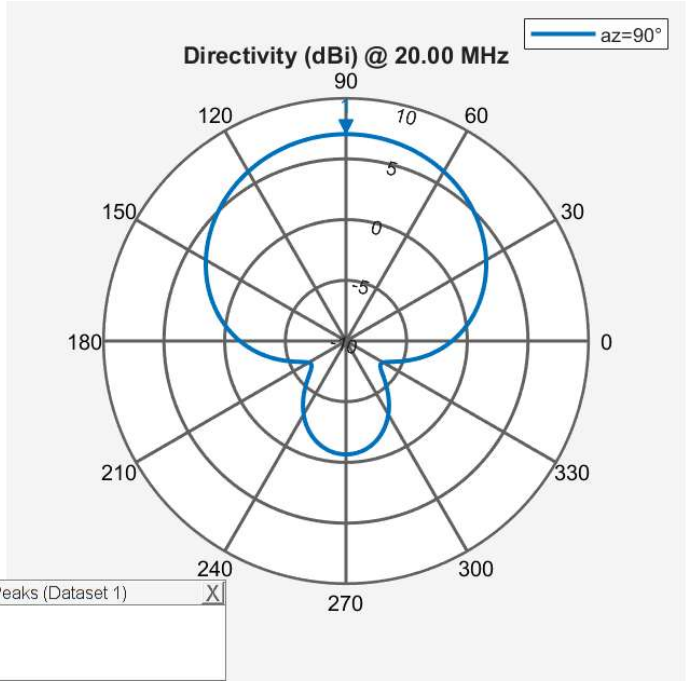


„Maa“ mõõtmete mõju

Maa mõõdud: 2*λ* x 2*λ*



Maa mõõdud: *λ*/2 x *λ*/2



Dipool koos reflektoriga

- Maa mõõtmeid saab vähendada traadi või vardani mille pikkus l_r on kiirgava elemendi omast u 5% pikem ja mis paikneb ligikaudu veerand lainepikkuse kauguse ($\lambda/4$) kiirgava dipooli taga.

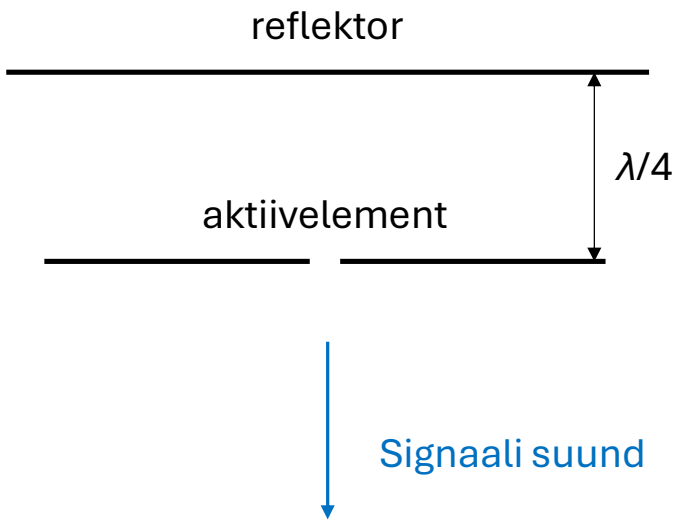




Foto: https://www.webb.co.za/product/corner-reflectors-9-db-406-700-mhz/

Dipooli pikkuse korrigeerimine

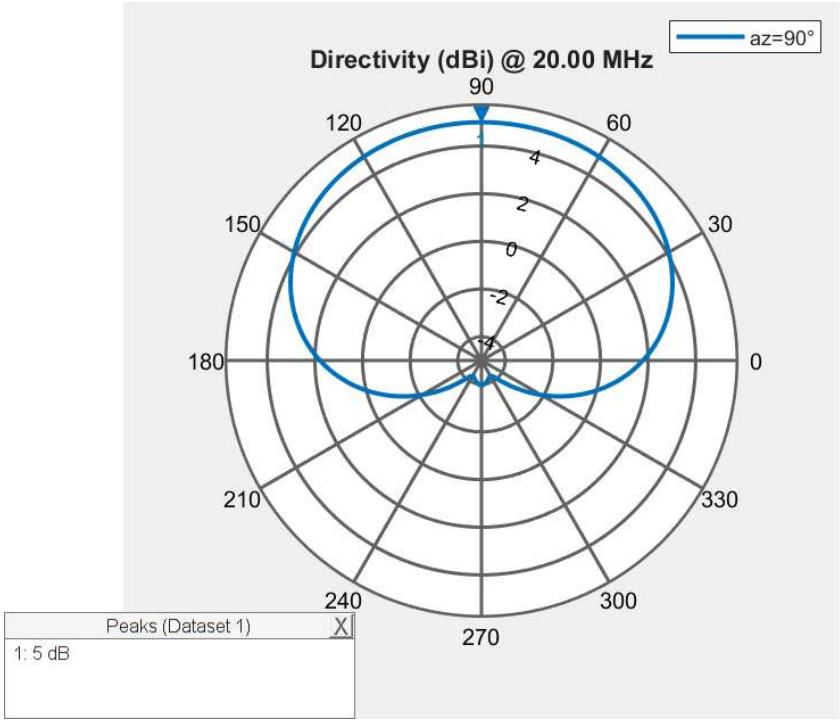
- Kui dipooli läbimõõt on lainepikusest palju väiksem, lähenedes nullile, siis peab dipooli pikkus olema täpselt pool lainepikkust.
- Praktikas kasutatakse lõpliku diameetriga *d* dipoole. Selle mõju kõrvaldamiseks peab tegelik antenni pikkus olema parandusteguri *k* korda lühem, viimase saab leida:

$$k = 0{,}9787 - \frac{11{,}86497}{\left[1 + \left(\frac{\lambda}{9{,}98 \cdot 10^{-4} d}\right)^{1{,}7925}\right]^{0{,}3}}.$$

- Dipooli pikkus

$$l = k\frac{\lambda}{2}.$$

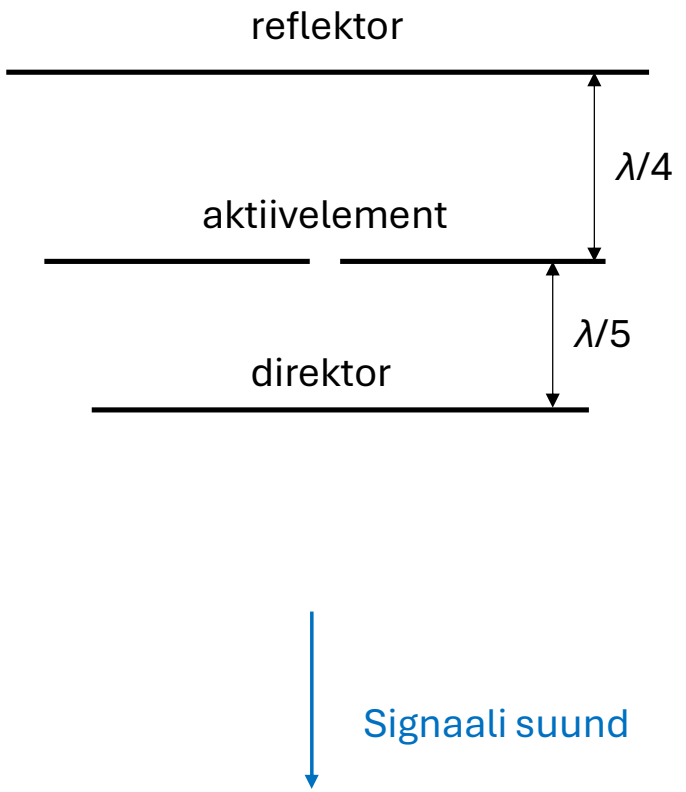
Dipool koos reflektoriga



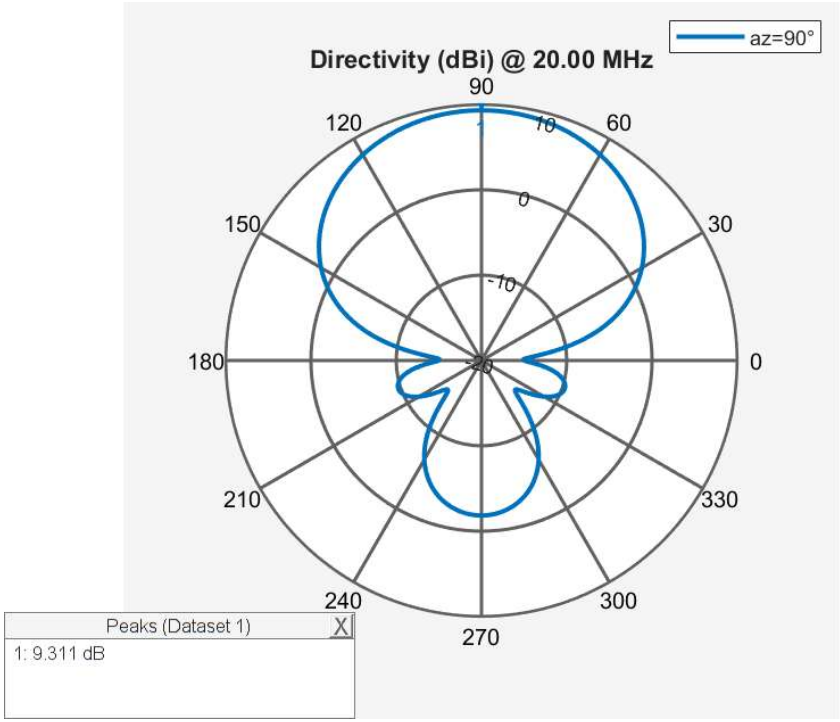
- Sagedus 20 MHz;
- Aktiivelemendi pikkus: 7,2954 m;
- Reflektori pikkus: 7,6602 m;
- Reflektori kaugus aktiivelemendist: 3,7474 m;
- Elementide laius (läbimõõt): 1 cm;
- Võimendus: 5 dBi;
- Esi- ja tagalehe suhe: 9 dB.

Lisame „läätse“

- Lisame antennile teise parasiitelemendi, seekord aktiivelemendist 0,2 lainepikkuse võrra ettepoole.
- Taolist elementi nimetatakse **direktoriks**.



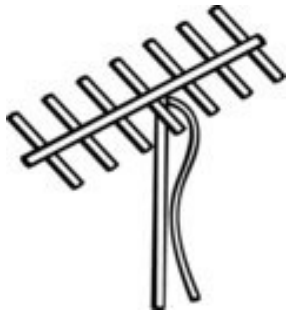
Dipool koos reflektori ja direktoriga



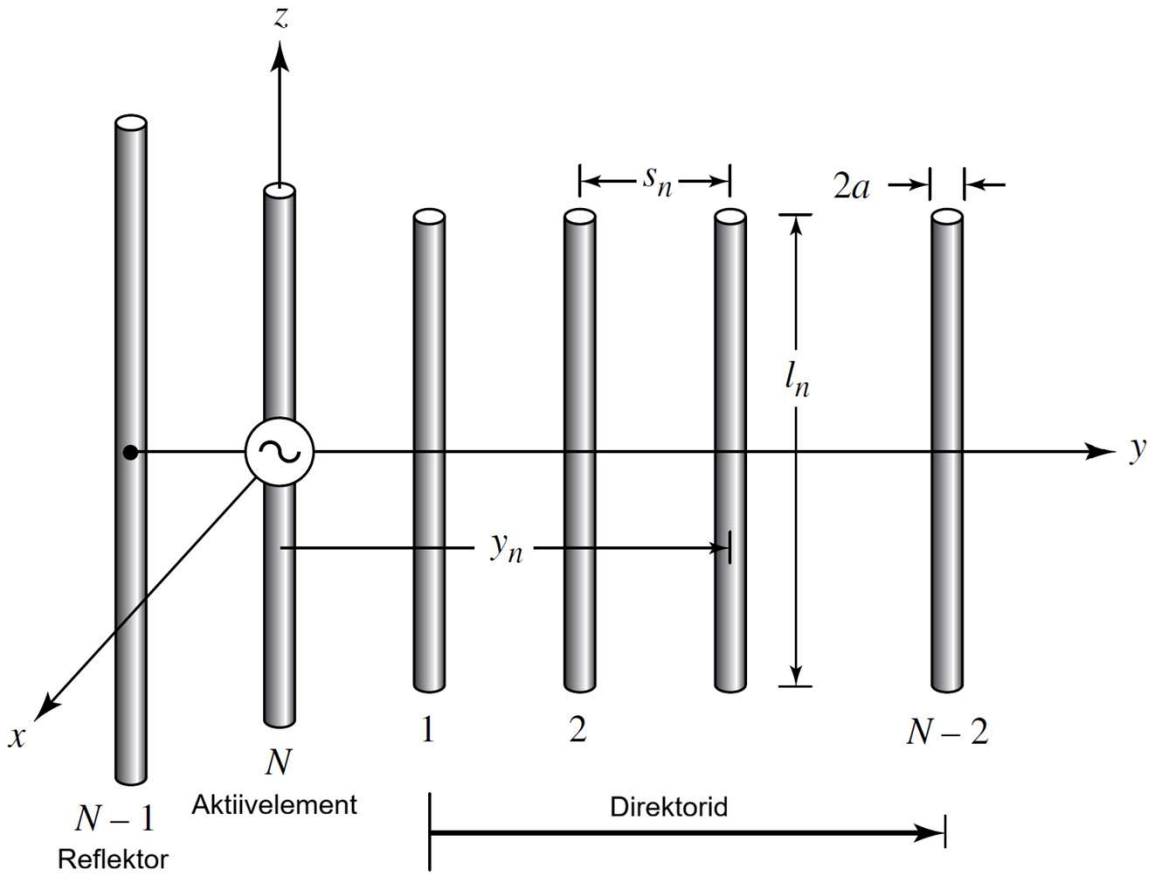
- Sagedus 20 MHz;
- Aktiivelemendi pikkus: 7,2954 m;
- Reflektori pikkus: 7,408 m;
- Reflektori kaugus aktiivelemendist: 3,7474 m;
- Direktori pikkkus: 7,011 m;
- Direktori kaugus: 3 m;
- Elementide laius (läbimõõt): 1 cm;
- Võimendus: 9,3 dBi;
- Esi- ja tagalehe suhe: 11,2 dB.

Yagi-Uda antenn

- Olemuselt passiivne võre (*end-fire*).
- Sobiv kasutamiseks sageduste vahemikus 3 MHz – 3 GHz.
- Kitsaribaline, ribalaius mõni protsent kesk-sagedusest (2..10 %).
- Suure võimendusega: 7... 20 dBi.
- Lineaarse polarisatsiooniga.



Yagi-Uda antenni ehitus



Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

Yagi-Uda antenni ehitus.

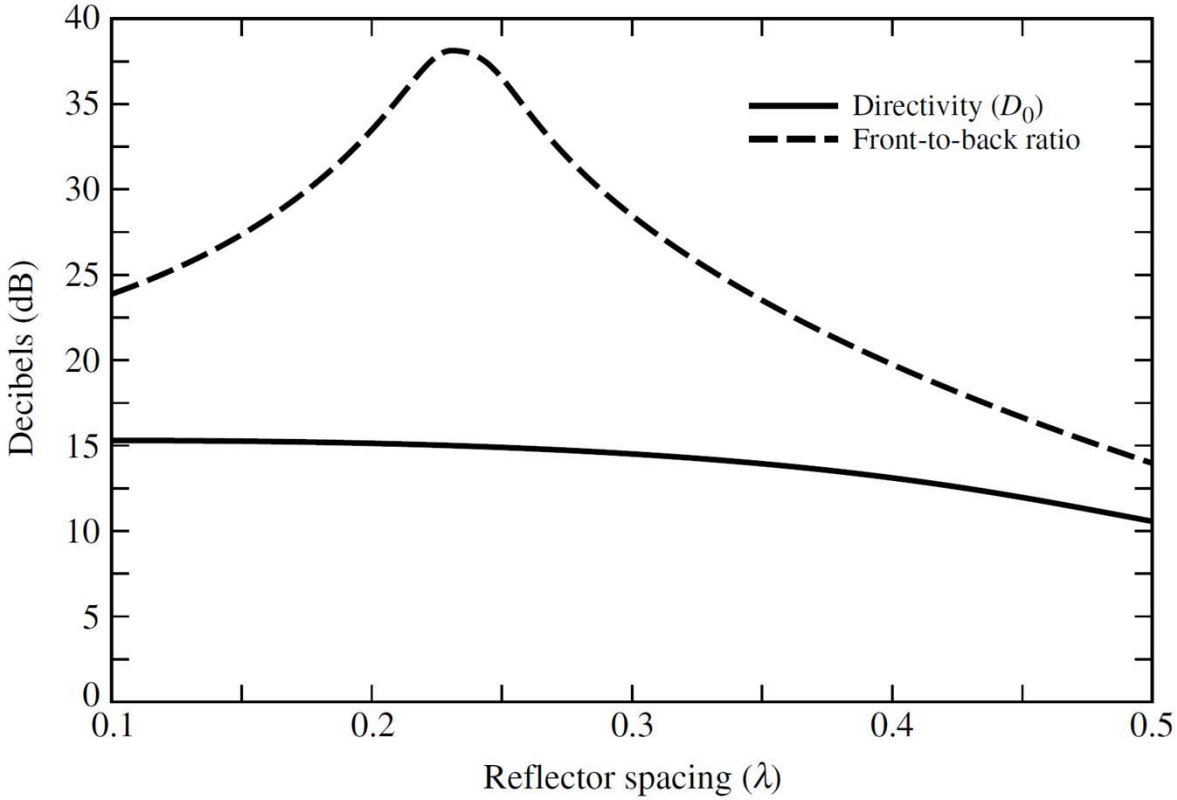
- Aktiivelemendi pikkus on veidi lühem poolest lainepikkusest, tavaliselt 0,45 kuni 0,49 λ.
- Peakiire suunas asuvaid parasiitelemente nimetatakse direktoriteks ja nende pikkus l_n on tüüpiliselt aktiivelemendist veidi lühem olles vahemikus 0,4 kuni 0,45 λ.
- Direktorid ei pea olema sama pikkuse l_n ja/või raadiusega a_n.
- Direktorite vahekaugus s_n on tavaliselt vahemikus 0,3 kuni 0,4 lainepikkust. Elementide vahekaugus ei pea olema sama.
- Reflektor on aktiivelemendist mõnevõrra pikem (u 5%) ja asub sellest ligikaudu veerand lainepikkuse võrra tagapool.

Yagi-Uda antenni ehitus.

- Täiendavate reflektorite lisamine esimese taha ei anna mõõdetavat mõju antenni sooritusele.
- Direktorite lisamine suurendab antenni võimendust. Praktikas on enamusel antennidel 6...12 direktorit kuid esineb ka kuni 40 direktoriga disaine.

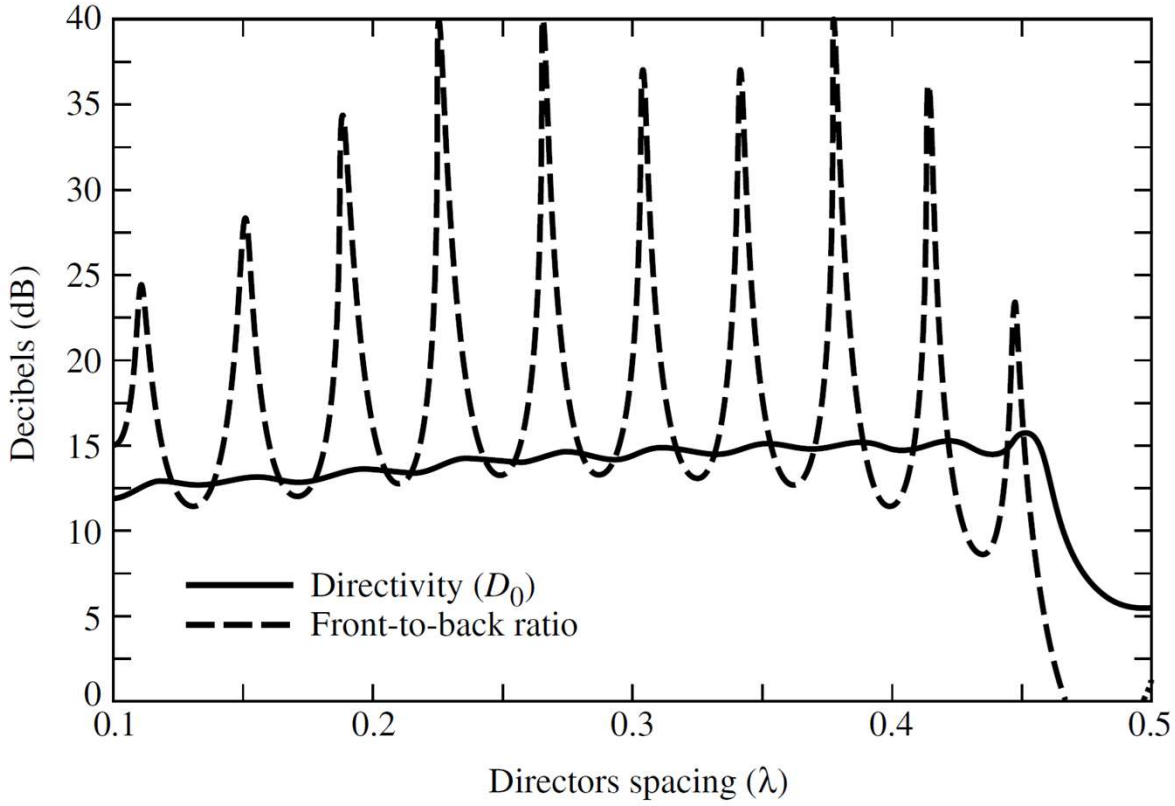


Reflektori asetuse mõju



Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

Direktorite vahekauguste mõju



Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

Logoperioodilisd antennid

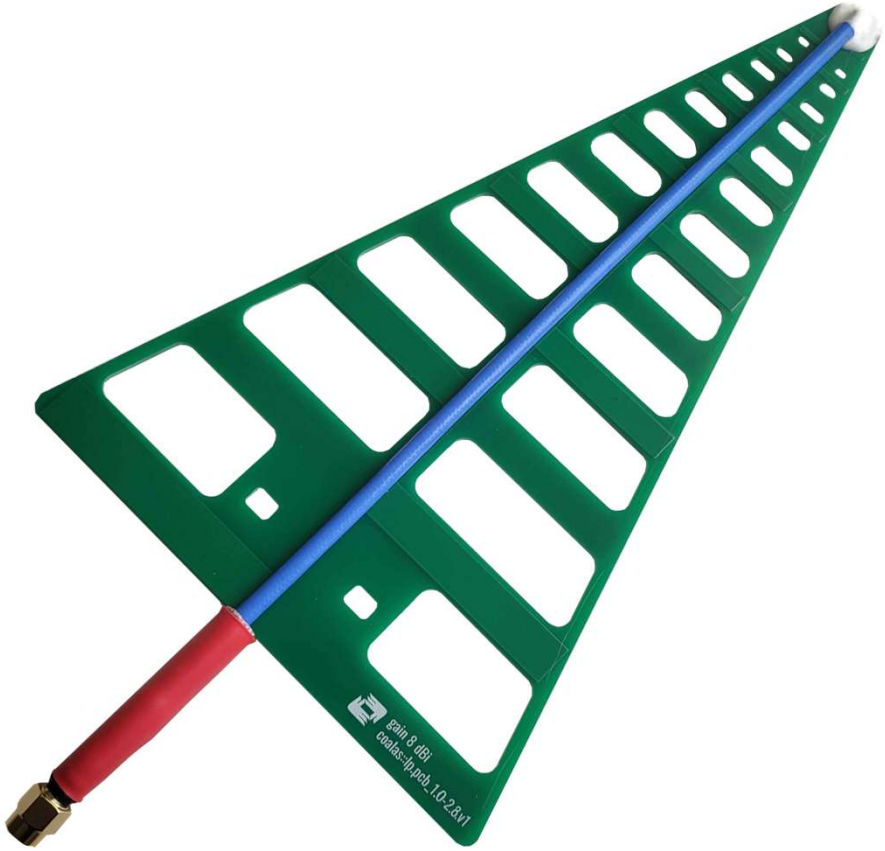
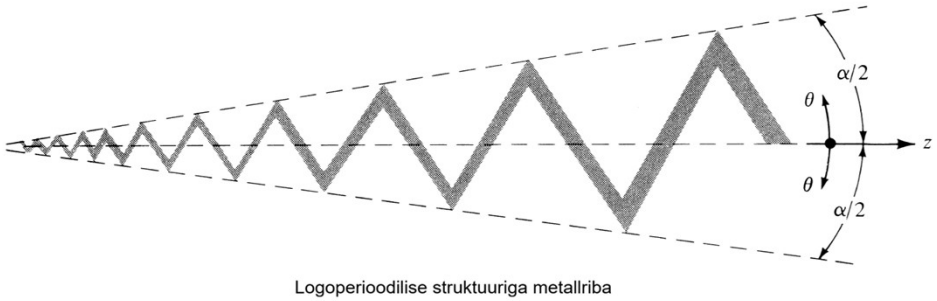


Foto: https://coalas.tech/en/product/antena-coalas-lp-pcb-1-0-2-8-ghz-2/

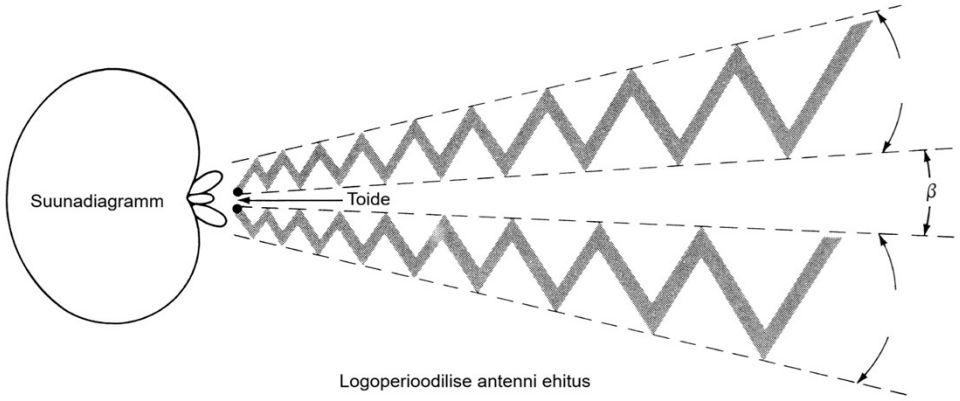
Sagedusest sõltumatud antennid

- Tavapärase antenni töösagedus on määratud selle joonmõõtmetega (pikkus, laius, sügavus).
- Saab näidata, et antenn, mille struktuuri ei ole joonmõtetega määratud võib töötada mistahes sagedusel (lõpmatu ribalaius).
- Selline antenn oleks oma mõõtmetelt samuti lõputu.
- Praktikas saab kasutada lõplike mõõtmetega struktuure millel võib olla väga suur ribalaius *B*.
- Taolisel juhul on tegemist **laiaribaliste antennidega**.
  - Kasutatakse ma mõistet madala hüveteguriga antenn.

Logoperioodiline antenn



Logoperioodilise struktuuriga metallriba



Logoperioodilise antenni ehitus

- Logoperioodilise antenni struktuuri kirjeldab avaldis

$$\theta = \mathrm{f}[b\ln(r)],$$

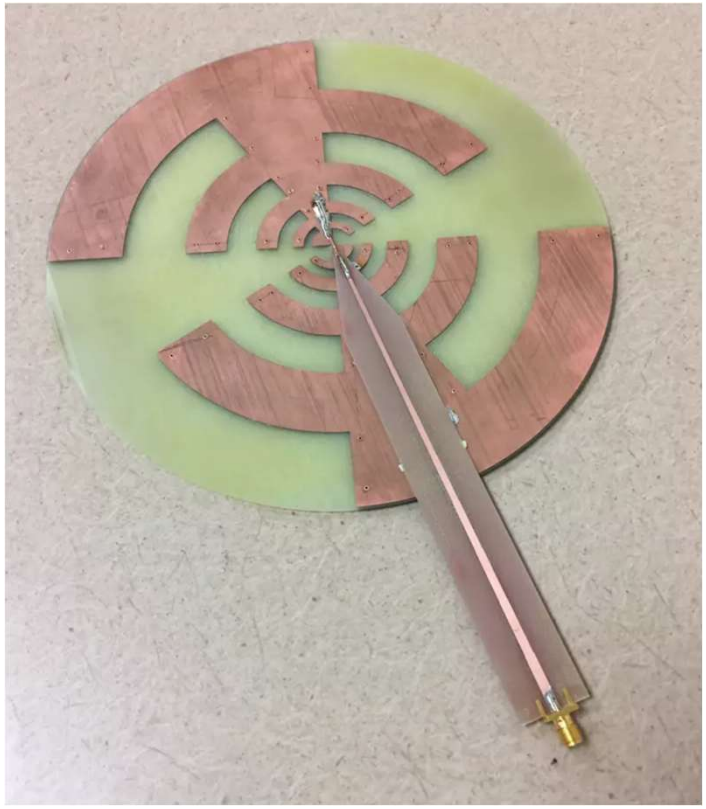
kus f(x) on mingi perioodiline funktsioon, näiteks

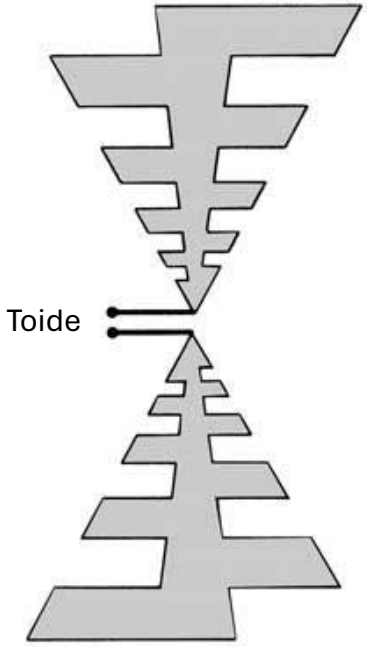
$$\theta = \theta_0 \sin\left[b\ln\left(\frac{r}{r_o}\right)\right].$$

- Konstandid θ_0, b ja $r_0$ning funktsioon f(x) määravad siis konkreetse antenni ehituse.

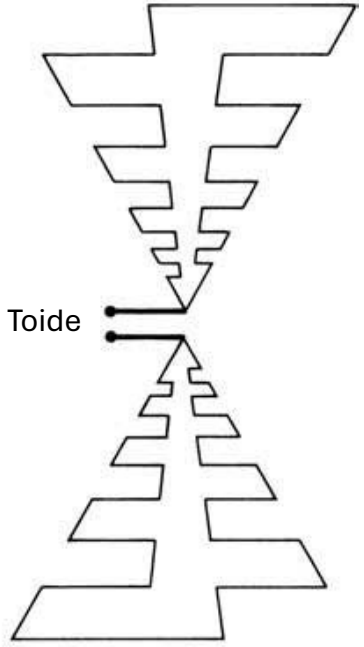
Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

Logoperioodiliste antennide näiteid





Planaarne



Traatantenn

Foto: Joshua s. LaPlant Design of a Frequency-Independent Logarithmically Periodic Antenna

Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

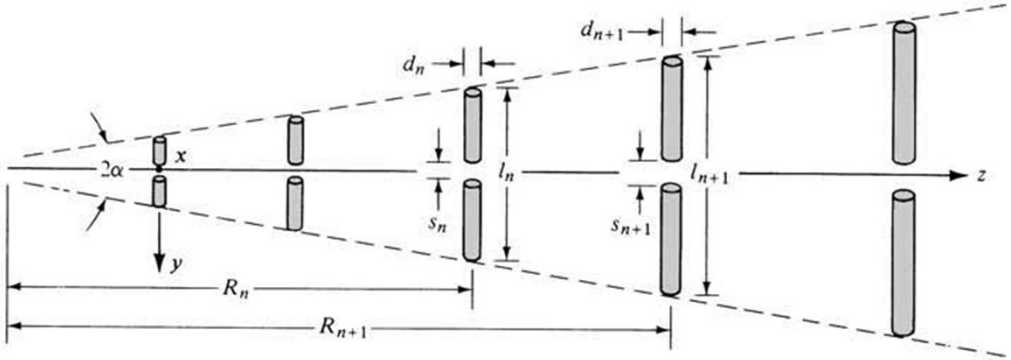
Telerana antenn





Fotod: https://www.pa9x.com/why-does-an-antenna-need-a-1-to-1-balun/
https://www.lehmans.com/products/large-deluxe-rotating-clothes-dryer/

Logoperioodiline dipoolvõre



- Üks praktikas enamlevinumaid logoperioodilisi antenne.
- Antenni ehitus on määratud **geomeetrilise suhtega** (*geometric ratio*):

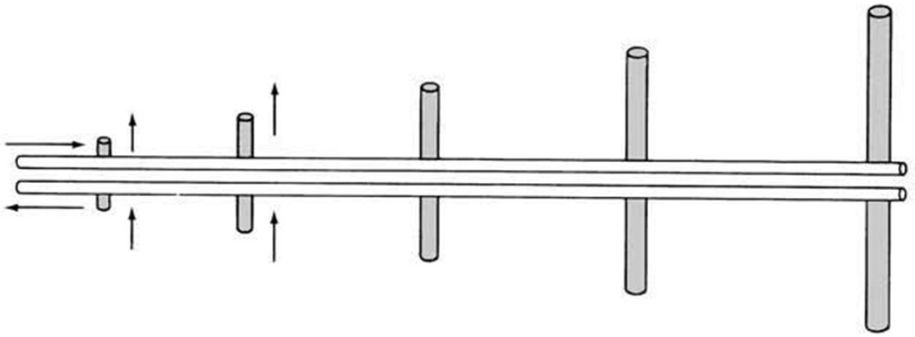
$$\tau = \frac{l_n}{l_{n+1}} = \frac{R_n}{R_{n+1}} = \frac{d_n}{d_{n+1}} = \frac{s_n}{s_{n+1}}.$$

- Alternatiivselt kasutatakse ka vahekaugustegurit (*spacing factor*)

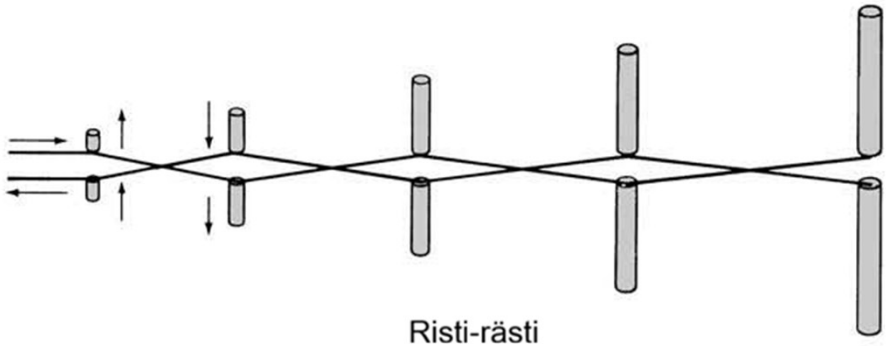
$$\sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}}.$$

Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

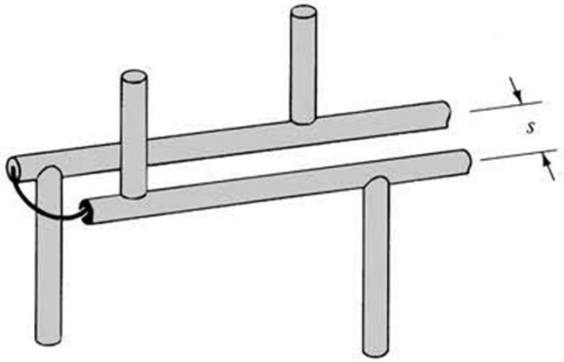
Logoperioodilise antenni toitmine



Otse



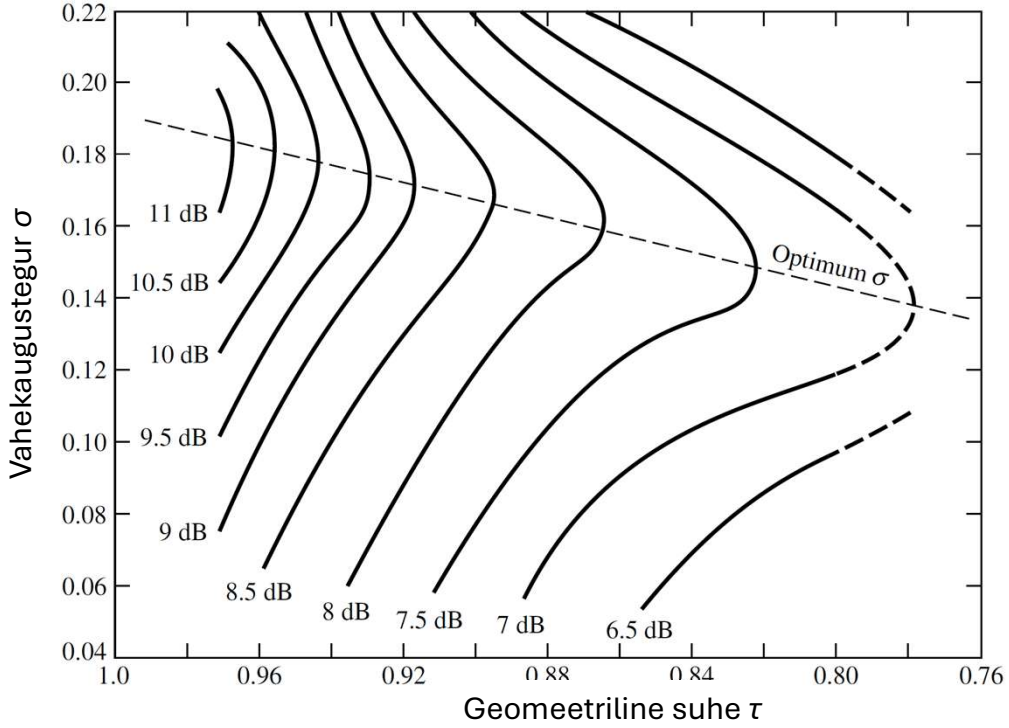
Risti-rästi



Koaksiaalkaabliga

Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

Logoperioodilise antenni disain



- Logoperioodilise antenni disaini parameetriteks on soovitud suunategur D_0 (võimendus). Impedants R_{sis} ja soovitud **suhteline** ribalaius $B = f_ü/f_a$.
- Vastavalt soovitud suunategurile saab juuresolevalt jooniselt leida τ ja/või σ väärtused.
- Etteantud τ põhjal saab leida optimaalse

$$\sigma_{opt} = 0{,}243\tau - 0{,}051.$$

Joonis: Balanis, CA 2016, Antenna Theory : Analysis and Design, John Wiley & Sons.

Logoperioodilise antenni ribalaius

- Disainiparameetrite põhjal saame leida nurga

$$\alpha = \arctan\left[\frac{1-\tau}{4\sigma}\right].$$

- Esimese elemendi kaugus tipust

$$R_1 = \frac{l_1}{2\tan\alpha}.$$

- Antenni alumine töösagedus f_a on ligikaudu määratud pikima dipooli pikkusega l_N. Sarnasel on ülemine töösagedus $f_{ü}$ määratud lühima dipooli pikkusega l_1.
- Disainitava antenni ribalaius on leitav ligikaudse avaldisega

$$B_s = B[1{,}1 + 7{,}7(1-\tau)^2\cot\alpha].$$

Logoperioodilise antenni disain

- Võre kogupikkus, lühimast pikima elemendini on ($l_N = l_{max}$)

$$L = \frac{l_N}{2}\left(1 + \frac{1}{B_s}\right)\cot\alpha\,.$$

- Antenni elementide arv on leitav kui

$$N = \left\lfloor 1 - \frac{\ln(B_s)}{\ln(\tau)} \right\rfloor.$$

- Võre elemendi (dipooli) keskmine karakteristlik impedants

$$Z_a = 120\left[\ln\left(\frac{l_n}{d_n}\right) - 2{,}25\right]$$

- Ideaalselt peaks kõikide elementide pikkuste ja läbimõõtude suhe l_n/d_n olema sama. Praktikas piirdutakse enamasti umbes kolme erineva läbimõõduga elementide grupiga.

Logoperioodilise antenni disain

- Võre elemente toitva ülekandeliini impedants on

$$Z_0 = \frac{R_{sis}^2}{8\sigma' Z_a} + R_{sis}\sqrt{\left(\frac{R_{sis}}{8\sigma' Z_a}\right)^2 + 1},$$

kus

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}}.$$

- Kahest ümmargusest vardast koosneva toiteliini korral tagab sellise impedantsi nende telgjoonte vahekaugus

$$s = d\cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right).$$

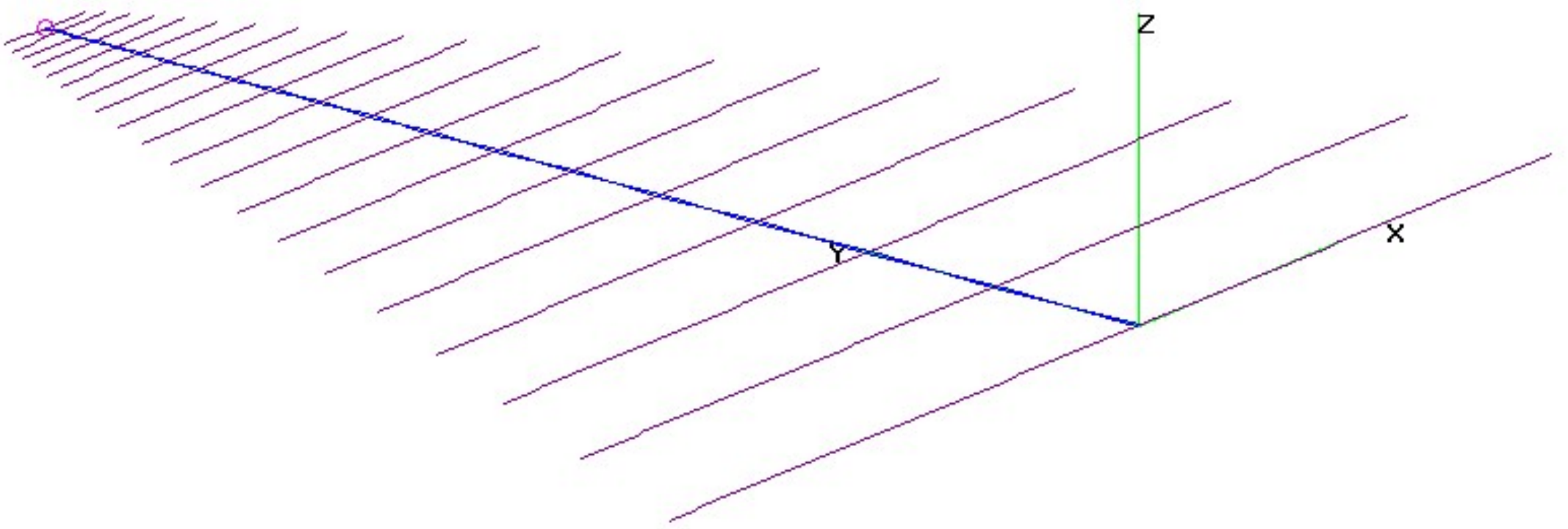


Logoperioodiline lühilaine antenn LPH-24

Näide: Antenni LPH-24 parameetrid

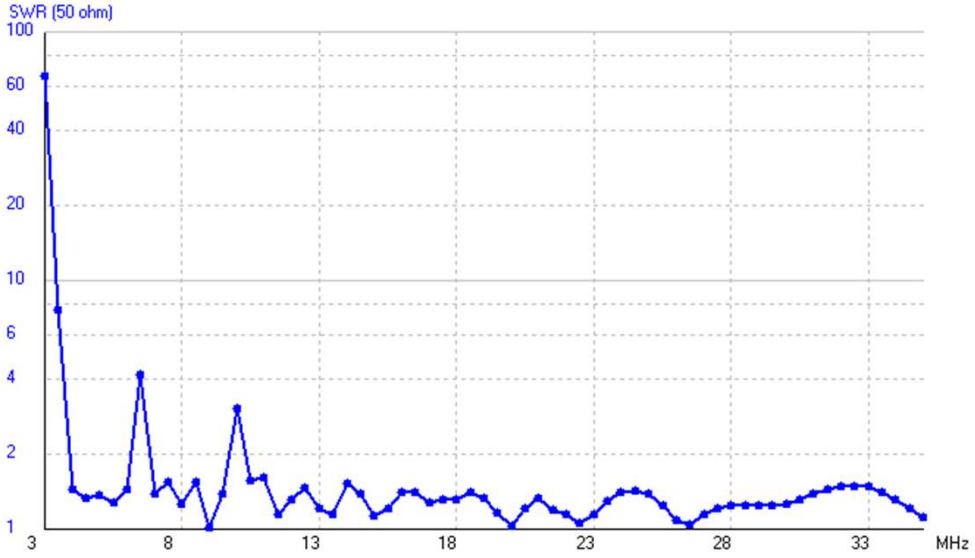
parameeter	väärtus
Elementide arv N	20
Pikima elemendi pikkus l_N	37,515 m
Antenni kogupikkus L	35,380 m
Geomeetriline suhe τ	0,88
Antenni impedants R_{sis}	80 Ω
Antenni võimendus G	8..12 dBi (6-12 MHz) 12 dBi (12-30 MHz)
Töösageduste vahemik	4-30 MHz
Esi- ja tagalehe võimenduste suhe	10 dB
Antenni kõrgus maapinnast (masti kõrgus)	32,635 m

Näide: Antenni LPH-24 mudel (4nec2)

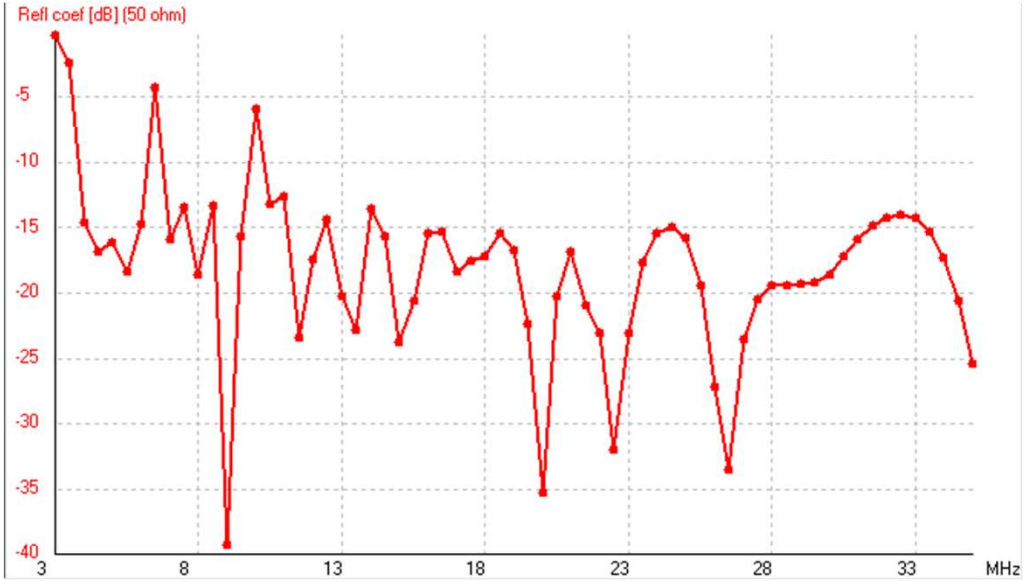


Näide: Antenni LPH-24 sobitus (simuleeritud)

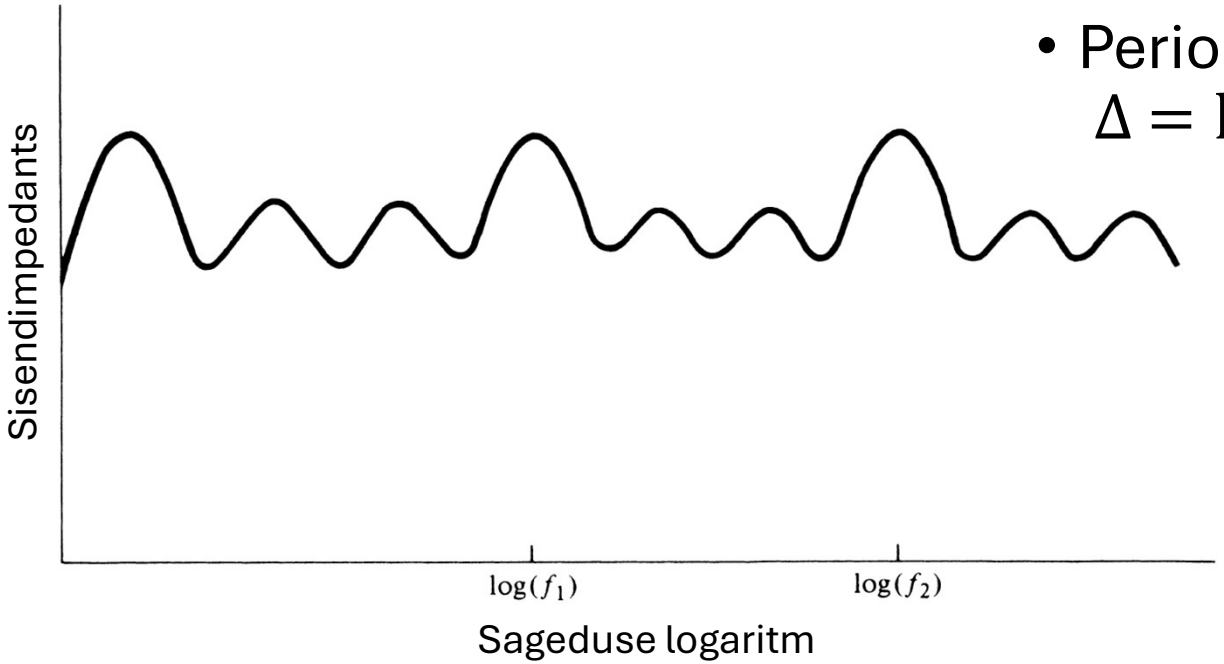
Seisulainetegur VSWR



Peegeldustegur S_{11}



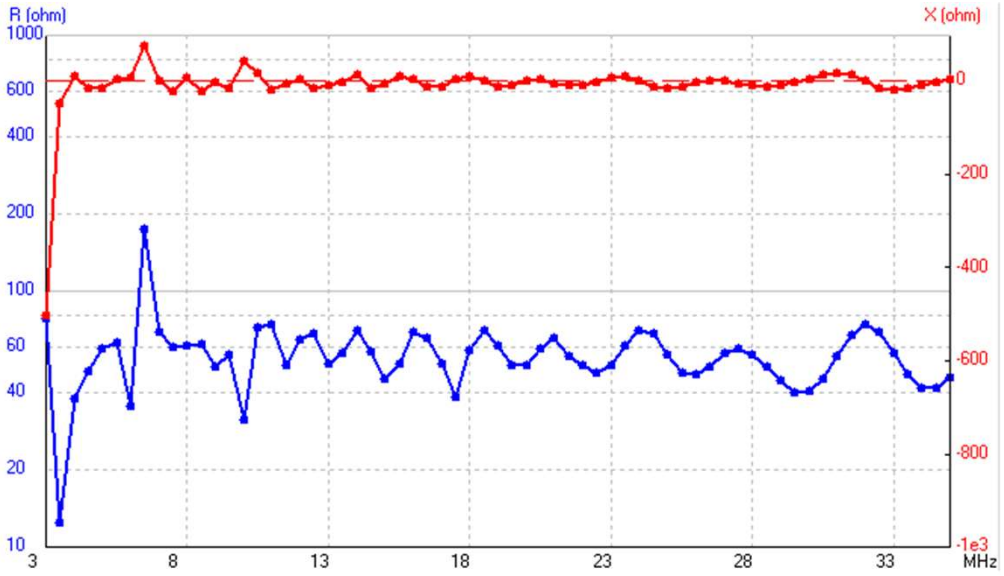
Logoperioodilise antenni impedants



- Logoperioodilise antenni impedants on logaritmilises skaalas sageduses perioodiline.
- Perioodiga:
  $\Delta = \log(f_2) - \log(f_1) = -\log(\tau)\,.$

Näide: Antenni LPH-24 impedants (simuleeritud)

Reaal- ja imaginaarosa

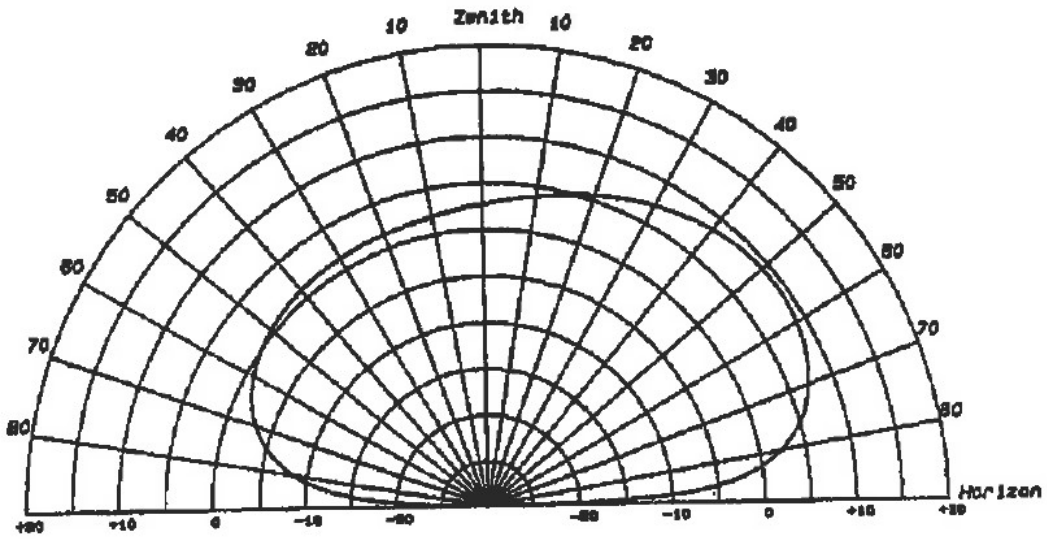


Moodul ja faas

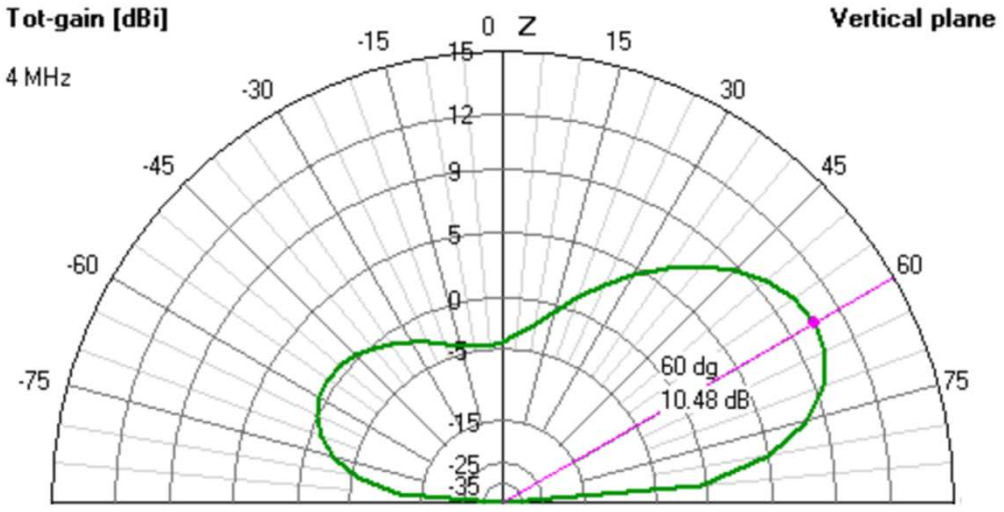


Suunadiagramm (*f* = 4 MHz, *h* = 32,635 m)

Andmelehelt

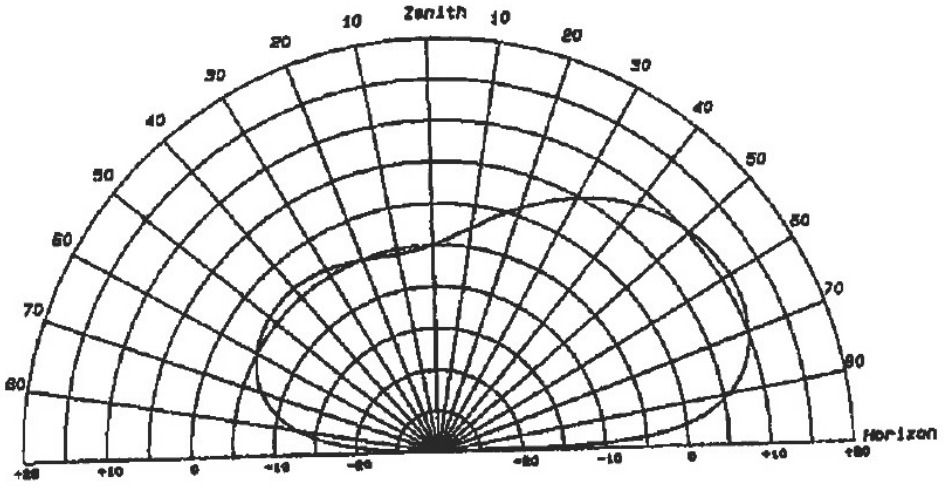


Simuleeritud (4nec2)

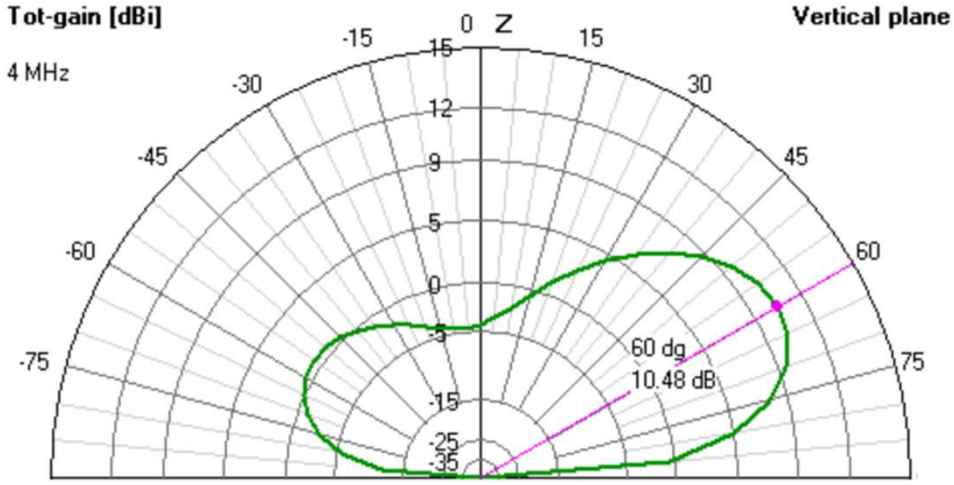


Suunadiagrammide võrdlus

Andmelehelt 5 MHz

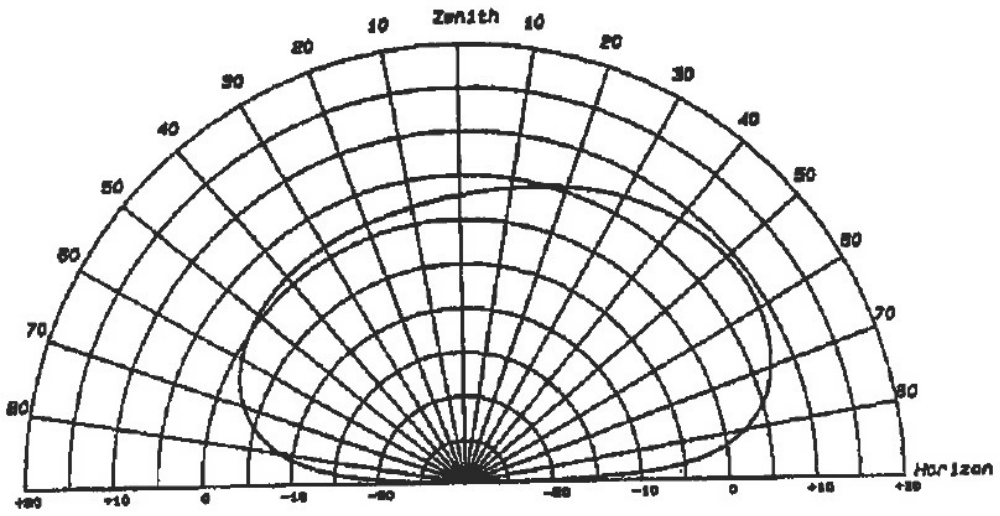


Simulatsioon 4 MHz, *h* = 32,635 m

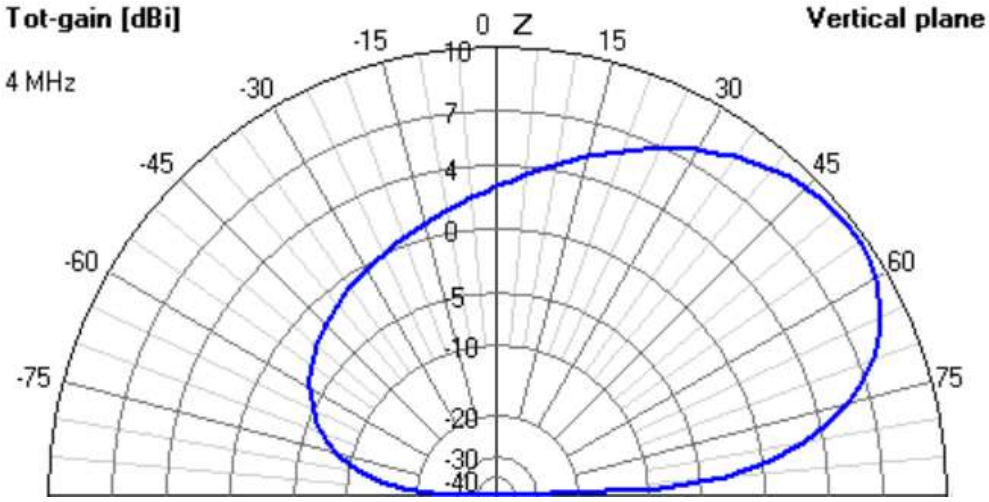


Muudetud kõrgus

Andmelehelt 4 MHz

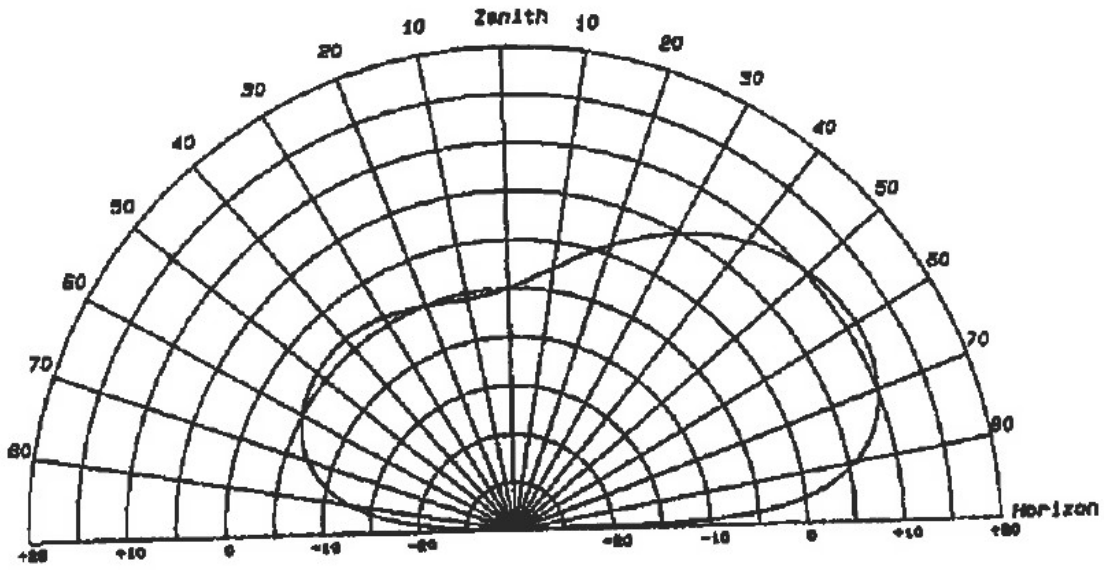


Simulatsioon 4 MHz, *h* = 25 m

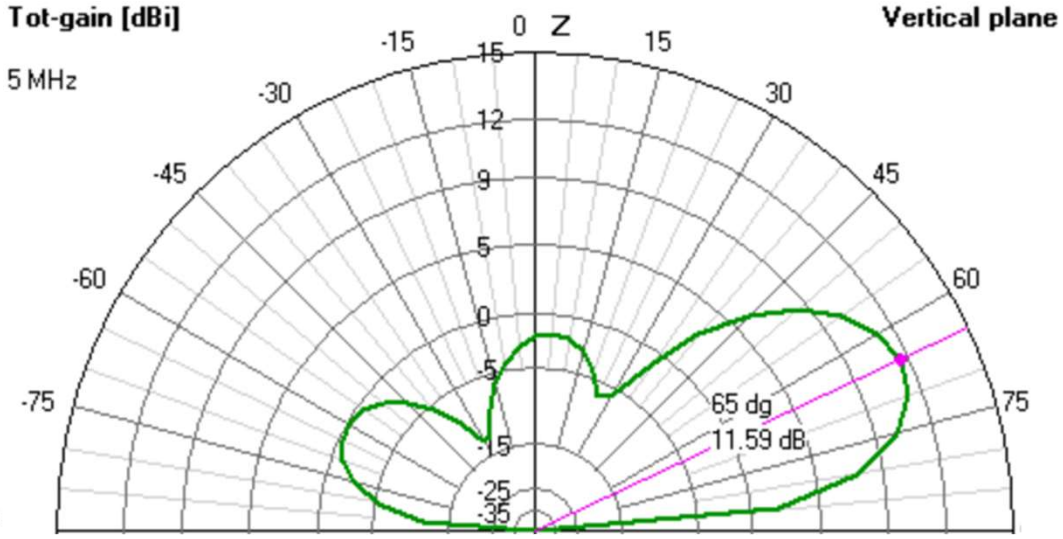


Suunadiagramm (f = 5 MHz, h = 32,635 m)

Andmelehelt

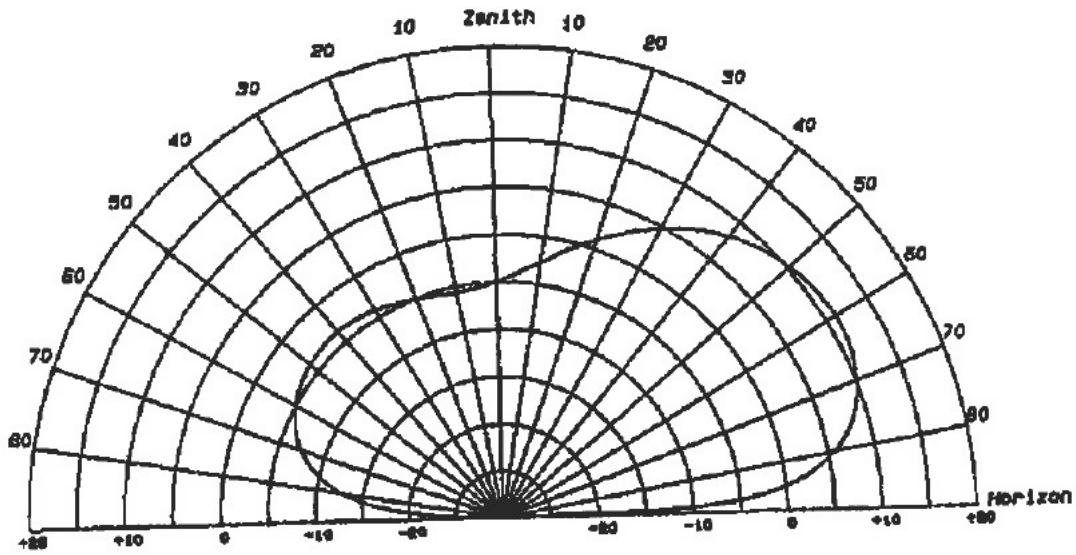


Simuleeritud (4nec2)

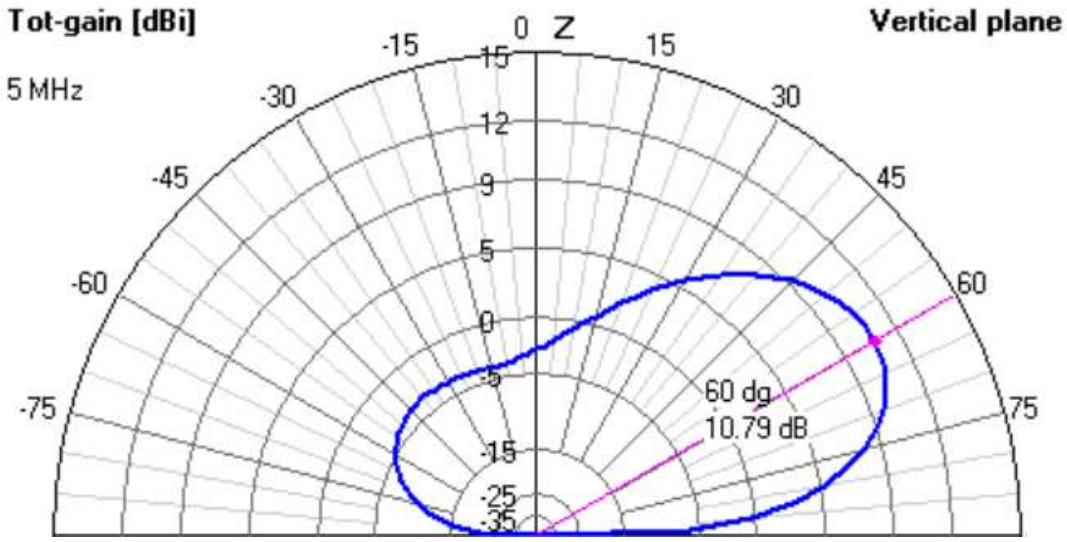


Suunadiagramm (f = 5 MHz, h = 25 m)

Andmelehelt



Simuleeritud (4nec2)



Materjalid

- Balanis, CA 2016, **Antenna Theory : Analysis and Design**, John Wiley & Sons.
  - Punktid 10.3.3 *Yagi-Uda Array of Linear Elements* ja 10.3.4 *Yagi-Uda Array of Loops*.
  - Alapeatükk 11.4 *Log-Periodic Antennas*.
- R. Dean Straw, **The ARL Antenna Book 21st Edition**. 2007
  - Kümnes peatükk *Log Periodic Arrays*.

