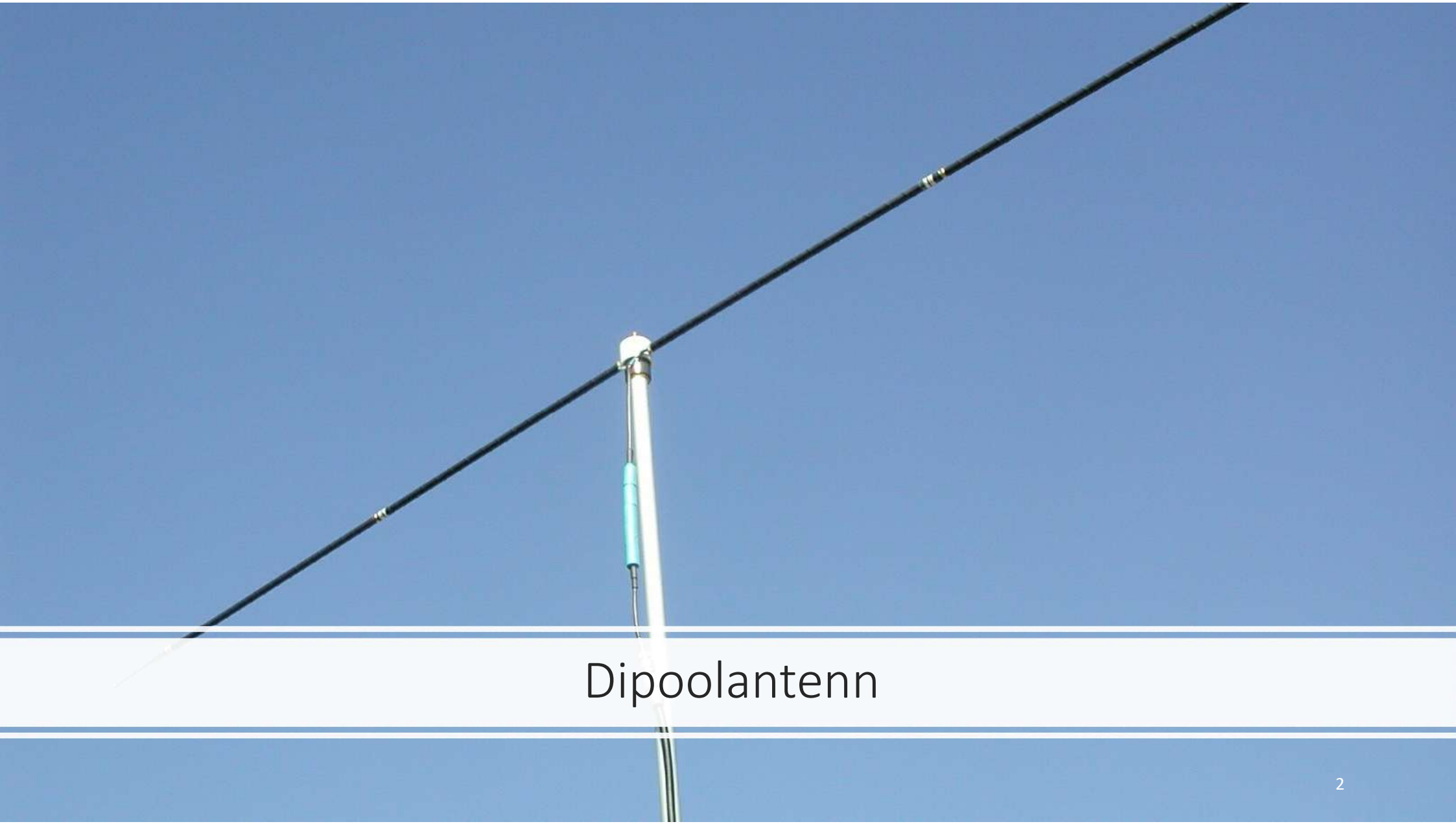
# 3. Dipool-, monopol- ja raamantenn

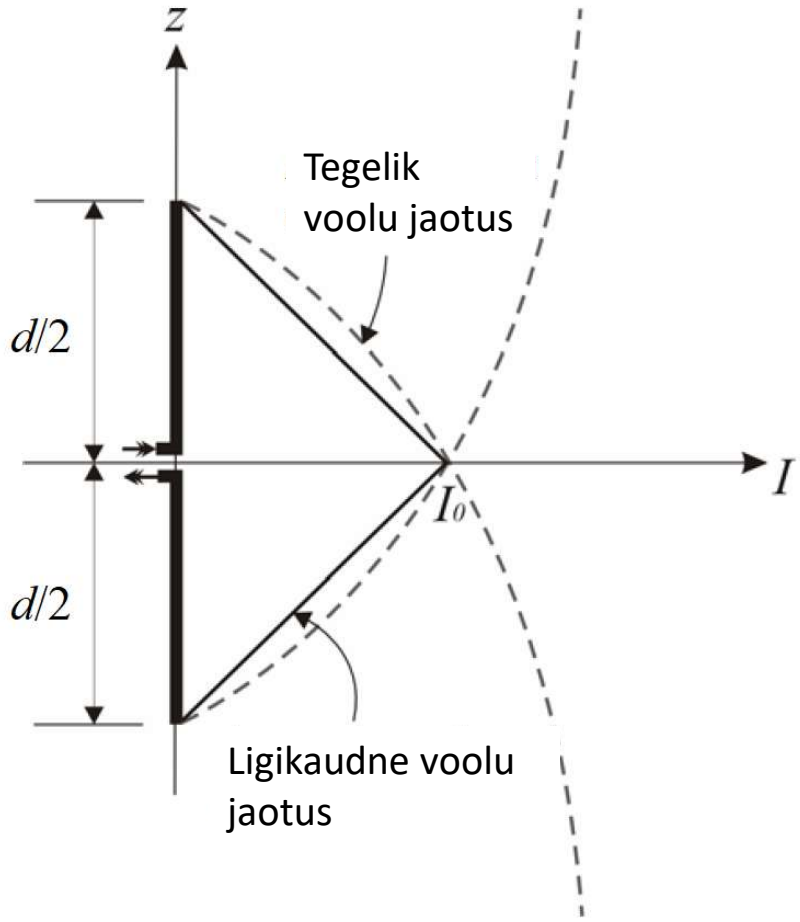
IEE2580 – Antennid ja raadiolevi



# Dipoolantenn

# Lühikene dipool

- Lõputult väikese dipooli mudel on kasutatav, kui antenni pikkus *d* on väiksem kui 1/50 lainepikkust *λ*. Sellises juhul võis voolutugevust antennis lugeda kogu selle pikkuses ühtlaseks.
- Lühikese dipooli pikkus jääb vahemiku $\lambda/50 < d \leq \lambda/10$. Voolutugevuse jaotust võib sellisel juhul aproksimeerida kolmnurksena.



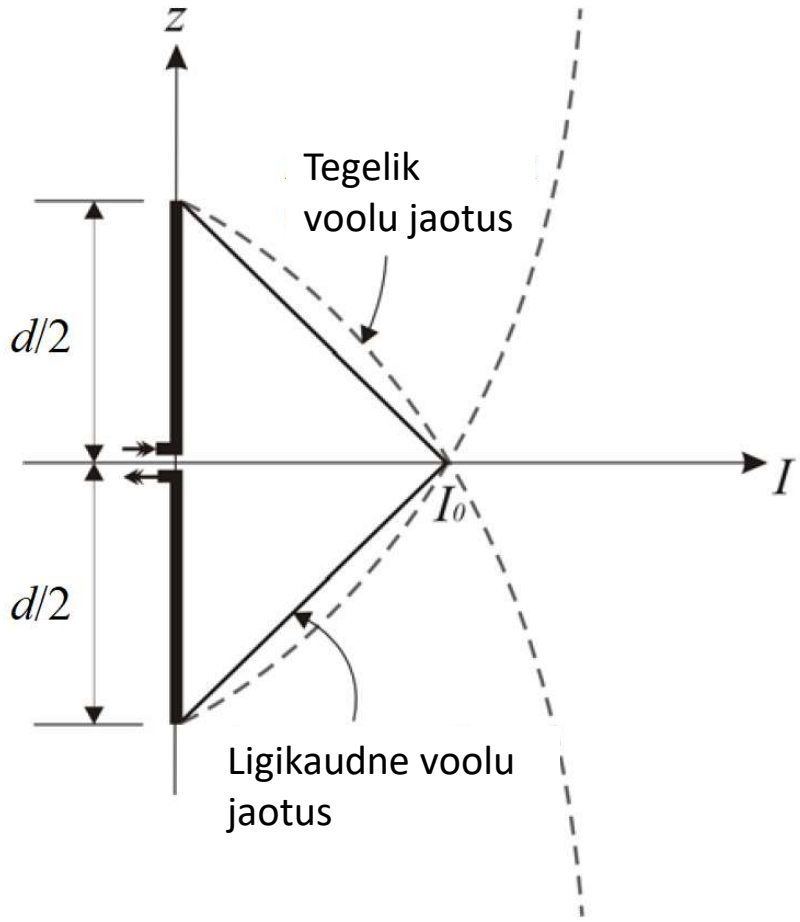

Joonis: Sulev Reisberg

# Voolu jaotus lühikeses dipoolis

- Voolu jaotuse avaldis:

$$I(z) = \begin{cases} \mathbf{a}_z I_0 \left(1 - \frac{2z}{d}\right), 0 \le z \le \frac{d}{2} \\ \mathbf{a}_z I_0 \left(1 + \frac{2z}{d}\right), -\frac{d}{2} \le z < 0 \end{cases}.$$

- $I_0$ on siin voolutugevuse maksimaalne väärtus dipooli keskel.




Joonis: Sulev Reisberg

# Magnetiline vektorpotentsiaal

- Taandatud magnetiline vektorpotentsiaal on nüüd kujul

$$\mathbf{A}_s = \frac{\mu}{4\pi}\left[\int_{-d/2}^{0} I_0\left(1+\frac{2z}{d}\right)\frac{\mathrm{e}^{-\frac{\mathrm{j}\omega R}{v}}}{R}dz + \int_{0}^{d/2} I_0\left(1-\frac{2z}{d}\right)\frac{\mathrm{e}^{-\frac{\mathrm{j}\omega R}{v}}}{R}dz\right]\mathbf{a}_z.$$

- Kui antud integraal välja arvutada saame tulemuseks täpselt poole väärtusest lõputult väikese dipooli korral:

$$A_{zs} = \frac{\mu I_0 d}{8\pi r}\mathrm{e}^{-\frac{\mathrm{j}\omega r}{v}}.$$

- Seega on kõik välja komponendid kaugtsoonis samuti poole väiksemad.
- Suurus *v* avaldistes tähistab signaali faasikiirust, enamasti on selleks valguse kiirus vaakumis *c*.

# Lühikese dipooli kiirgus kaug-tsoonis

- Väikese dipooli poolt kiiratava välja mittenullised komponendid kaugtsoonis on:

$$H_{\phi s} \cong \mathrm{j}\frac{I_0 d}{4\lambda r}\sin(\theta)\,\mathrm{e}^{-\frac{\mathrm{j}2\pi}{\lambda}};$$

$$E_{\theta s} \cong \mathrm{j}\frac{I_0 d\eta}{4\lambda r}\sin(\theta)\,\mathrm{e}^{-\frac{\mathrm{j}2\pi r}{\lambda}}.$$

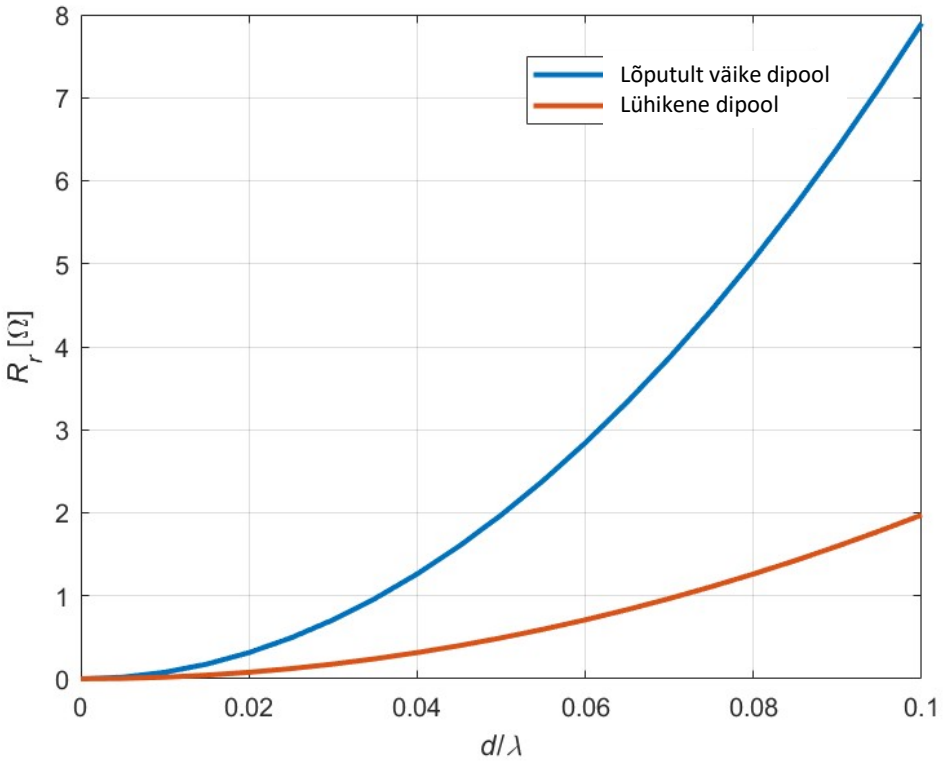
- Suunategur ja efektiivne pindala on lühikese dipooli korral samad mis lõputult väikese dipooli korral:

$$D_0 = 1{,}5 \qquad A_{eff} = \frac{3\lambda^2}{8\pi} \approx 0{,}12\lambda^2\ \mathrm{m}^2.$$

# Lühikese dipooli kiirgustakistus

- Antenni kiirgustakistus sõltub tugevalt voolu jaotusest selles.
- Keskmine voolutugevus on nüüd poole väiksem kui enne. Kiiratav võimsus on aga võrdeline voolutugevuse ruuduga, seega:

$$R_r = 20\pi^2 \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \ \Omega.$$





# Lõpliku pikkusega dipool

# Lõpliku pikkusega dipool

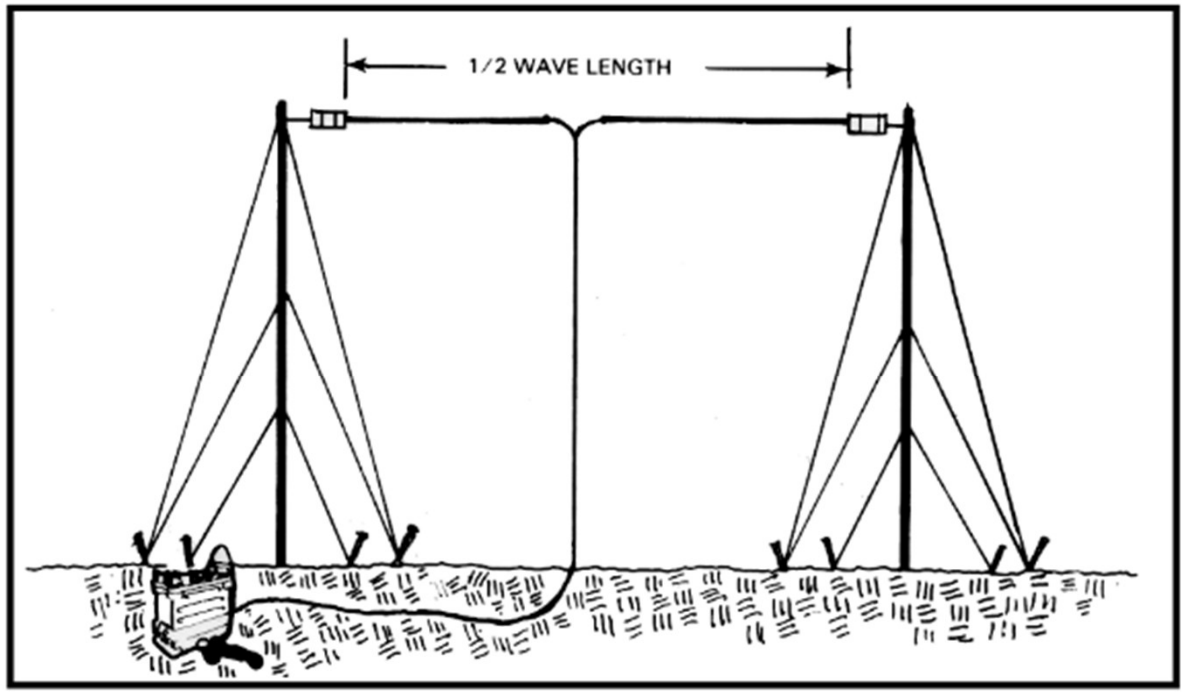



*Figure 3-12. Center-fed Hertz antenna with two upright supports.*

# Lõplike mõõtmetega antenni kiirgusväli

- Antenni poolt kiiratava elektromagnetvälja kuju ja omadused sõltuvad mõõtepunkti kaugusest antennist. Seetõttu jaotatakse antenni ümbritsev ruum tavaliselt kolmeks tsooniks.
- **Induktsioonitsoon** (*Reactive Near-Field*) – Elektri- ja magnetvälja vahel on faasinihe. Toimub ainult energia ajutine salvestamine, antenn käitub sarnaselt reaktiivkomponentidele. Tsooni raadius:

$$r < 0{,}62\sqrt{\frac{d^3}{\lambda}}.$$

# Lõplike mõõtmetega antenni kiirgusväli

- **Kaugtsoon** (*Far-field*) – Kiirgus levib ühtlase tasalainena, elektri- ja magnetvälja komponendid on sama faasiga ja nende amplituudide suhe on konstantne (vaakumi lainetakistus). Kaugsoon algab (Fraunhoferi) kauguselt:

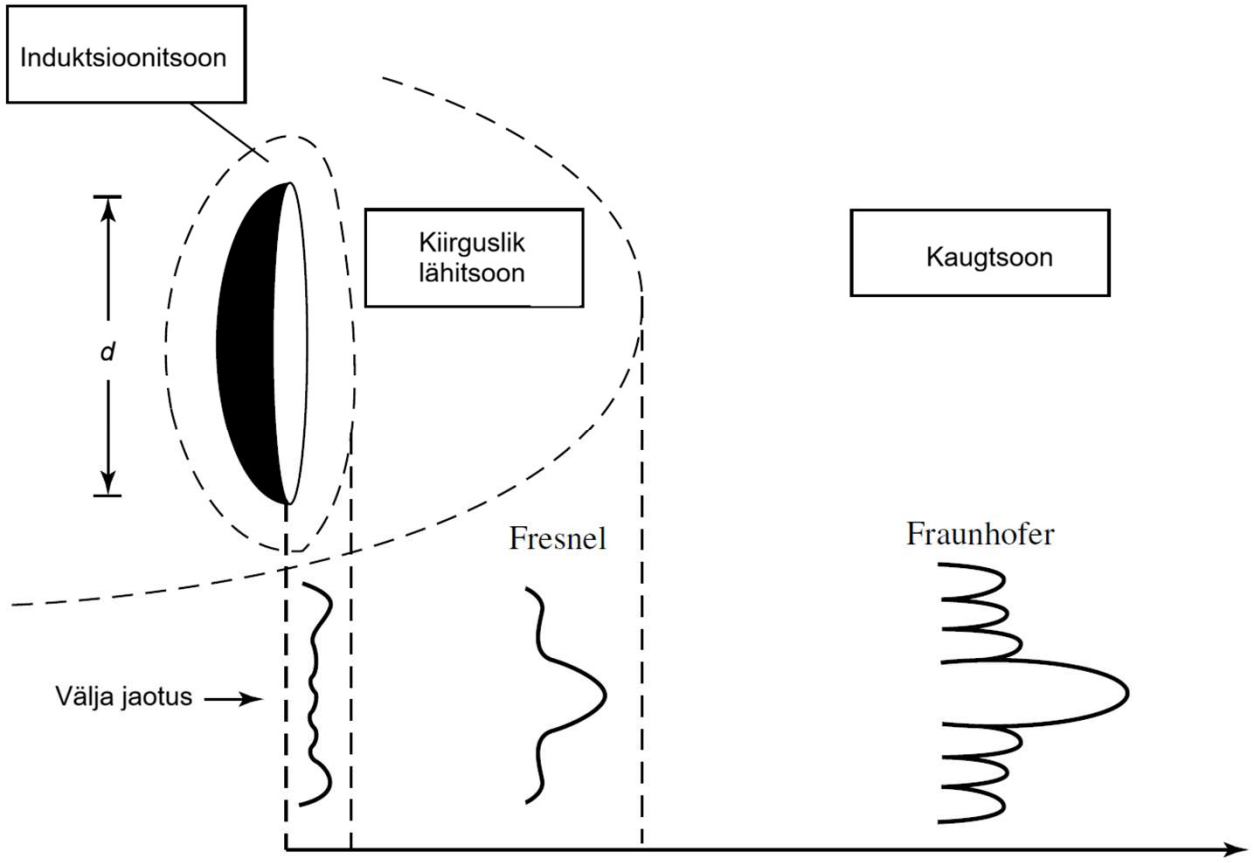
$$r > 2\frac{d^2}{\lambda},$$

  täiendavalt peavada olema täidetud ka $r >> \lambda$, $r >> d$.

- Kahe eelneval mainitud tsooni vahel asub **Kiirguslik lähitsoon** (*Radiating Near-Field*) (ka Fresnel'i tsoon) raadiusega:

$$0{,}62\sqrt{\frac{d^3}{\lambda}} > r > 2\frac{d^2}{\lambda}.$$

# Tsoonide jaotus




Joonis: Y. Rahmat-Samii, L. I. Williams, and R. G. Yoccarino, The UCLA Bi-polar Planar-Near-Field Antenna Measurement and Diagnostics Range," IEEE Antennas & Propagation Magazine, Vol. 37, No. 6, December 1995 IEEE

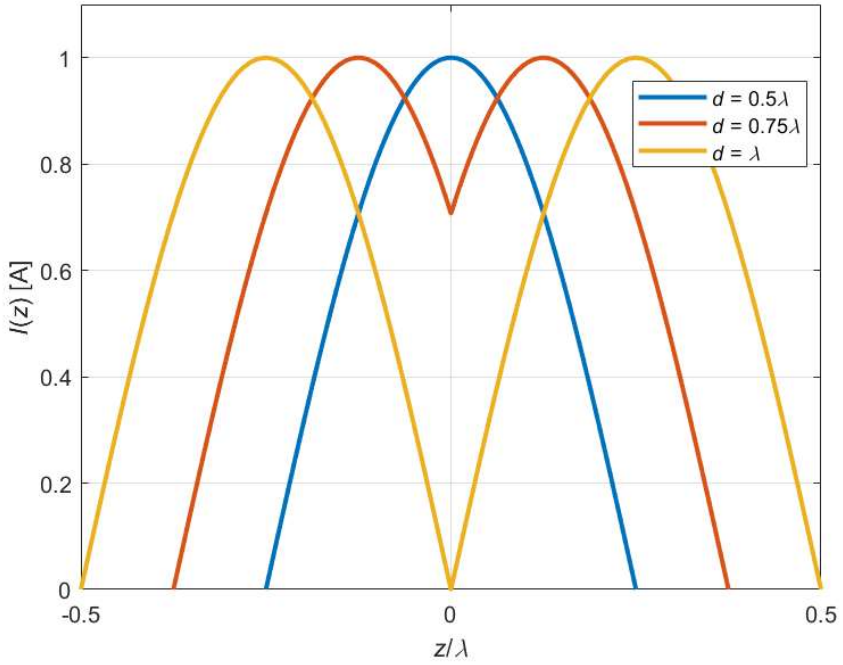
# Voolutugevuse jaotus dipoolis

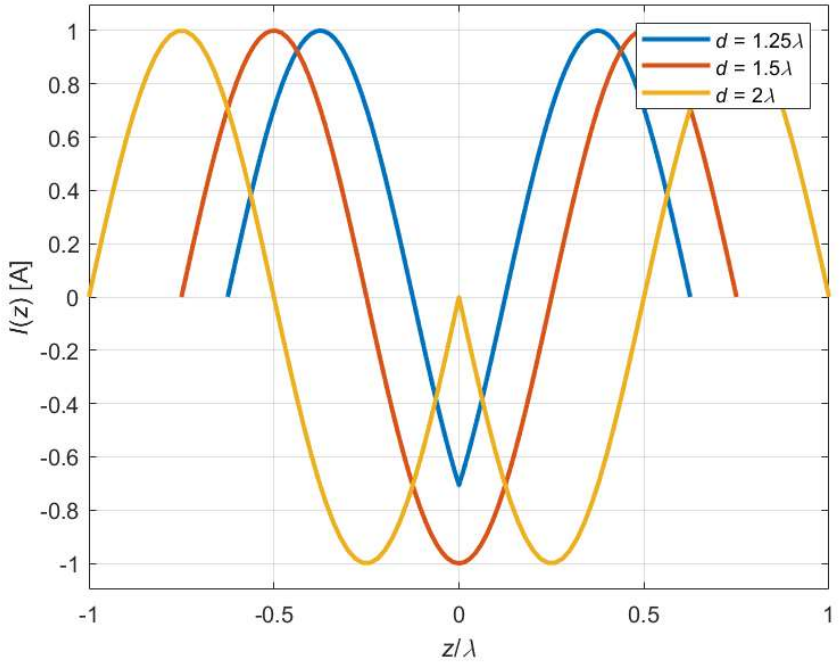
- Voolu jaotus on nüüd siinuseline:

$$I(z) = \begin{cases} \mathbf{a}_z I_0 \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{d}{2} - z\right)\right], 0 \le z \le \frac{d}{2} \\ \mathbf{a}_z I_0 \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{d}{2} + z\right)\right], -\frac{d}{2} \le z < 0 \end{cases}.$$

- $I_0$ on voolutugevuse amplituud.
- Dipooli pikkus *d* võib olla kuitahes suur.

# Voolutugevuse jaotus dipoolis



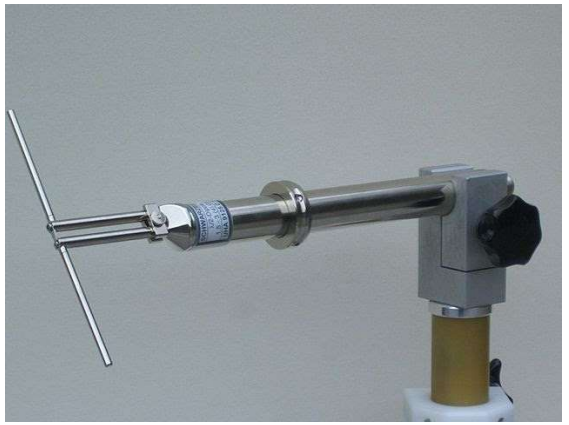
# Dipooli väli kaugtsoonis

- Elektrivälja tugevus kaugtsoonis:

$$E_{\theta s} \cong \mathrm{j}\frac{I_0 \eta e^{-\frac{\mathrm{j}2\pi r}{\lambda}}}{2\pi r}\left[\frac{\cos\left(\frac{\pi d}{2}\cos\theta\right)-\cos\left(\frac{\pi d}{2}\right)}{\sin\theta}\right].$$

- Magnetvälja tugevus on sellest leitav lihtsalt kui

$$H_{\phi s} \cong \frac{E_{\theta s}}{\eta}.$$



# Dipooli kiirguse intensiivsus

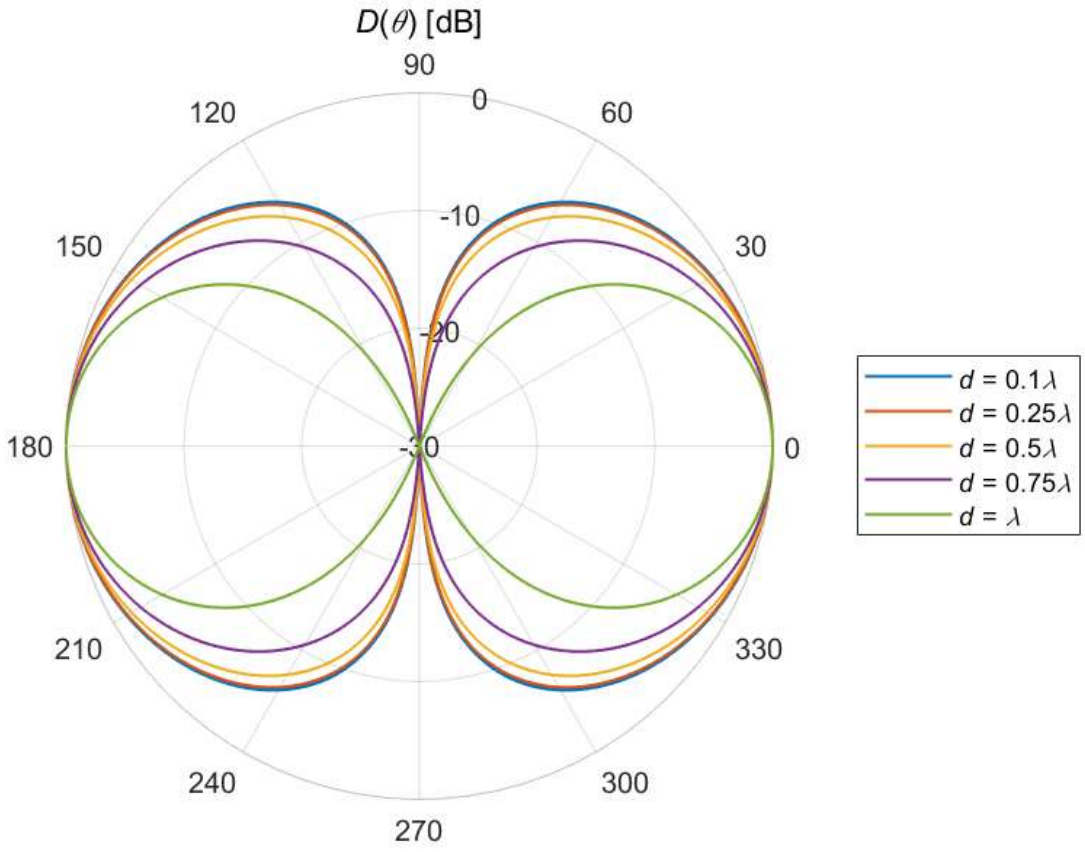
- Keskmine kiiratud võimsuse pindtihedus, Poyntingi vektori keskväärtus on:

$$\bar{\Pi} = \frac{I_0^2 \eta}{8\pi^2 r^2} \left[ \frac{\cos\left(\frac{\pi d}{2}\cos\theta\right) - \cos\left(\frac{\pi d}{2}\right)}{\sin\theta} \right]^2 .$$

- Kiirguse intensiivsus seega:

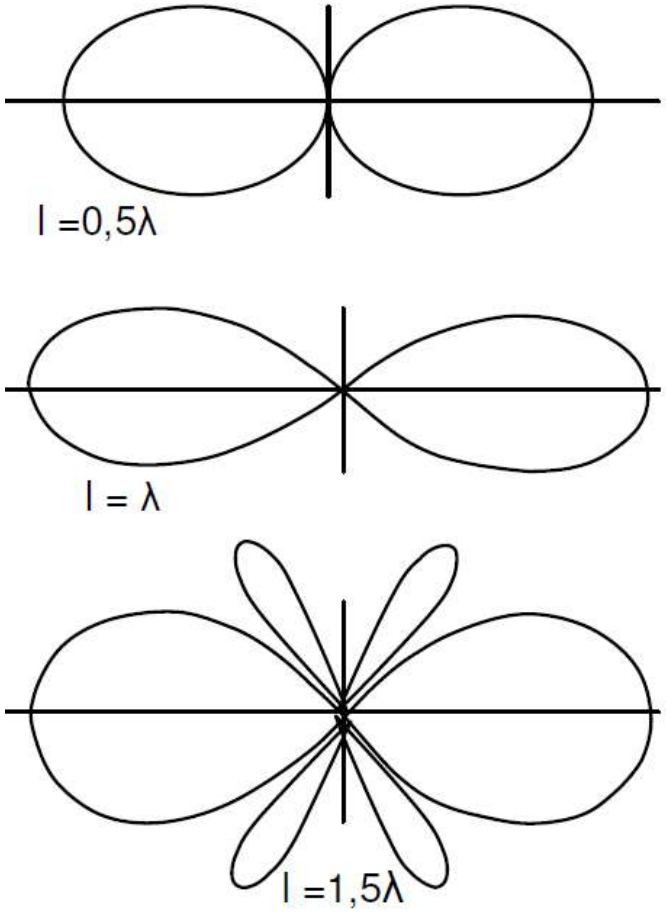
$$U = \frac{I_0^2 \eta}{8\pi^2} \left[ \frac{\cos\left(\frac{\pi d}{2}\cos\theta\right) - \cos\left(\frac{\pi d}{2}\right)}{\sin\theta} \right]^2 .$$

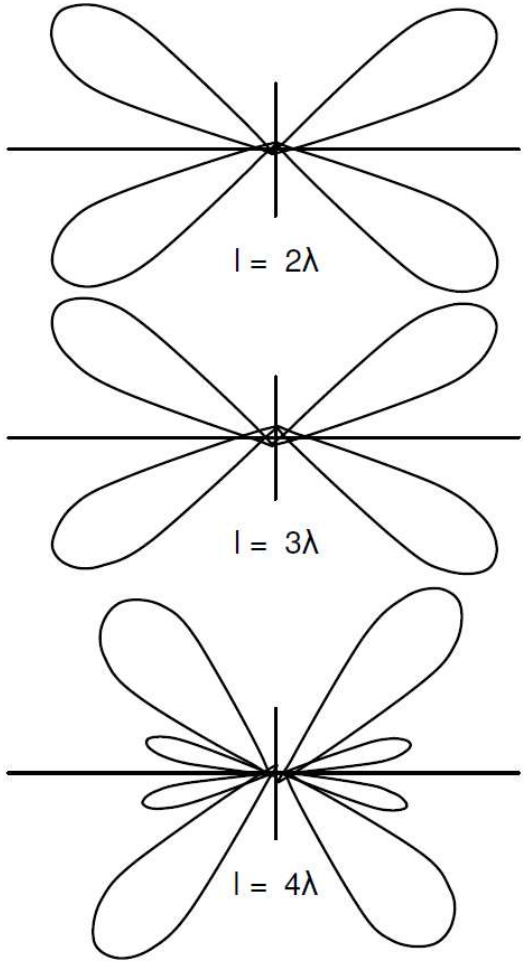
# Dipooli kiirguse intensiivsus



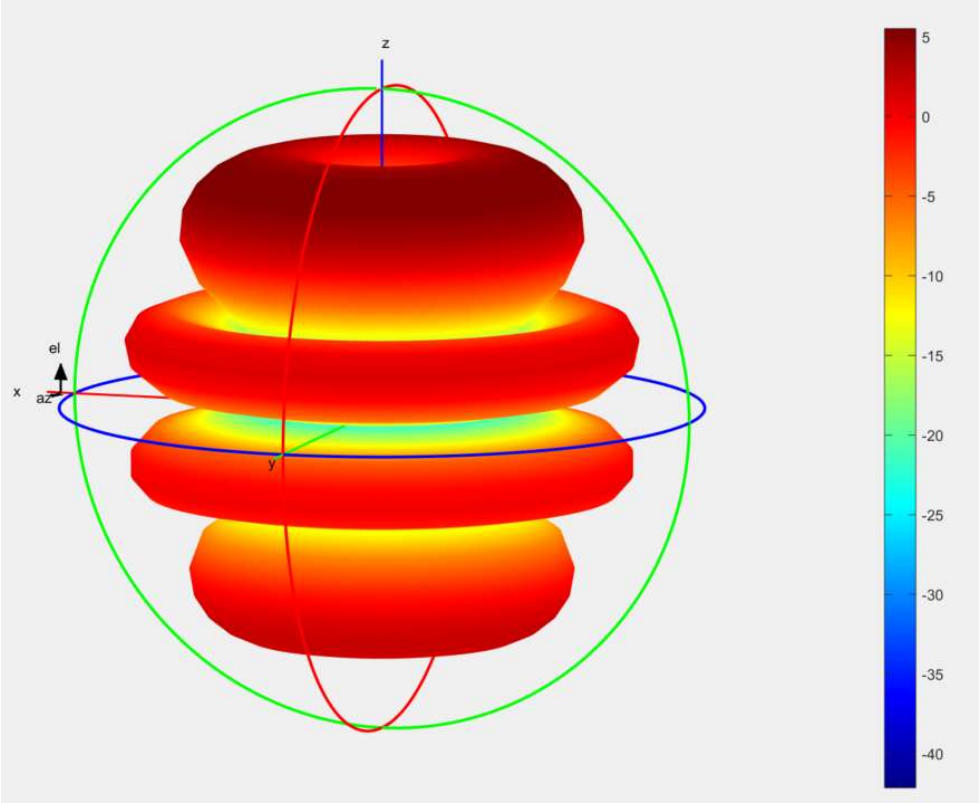

| $d/\lambda$ | $\theta_{3dB}$ |
|---|---|
| 0.1 | 90° |
| 0.25 | 87° |
| 0.5 | 78° |
| 0.75 | 64° |
| 1 | 47,8° |

# Dipoolantenni suunategur



# Antenni mõõtmete mõju suunadiagrammile



# Dipoolantenni kiirgustakistus

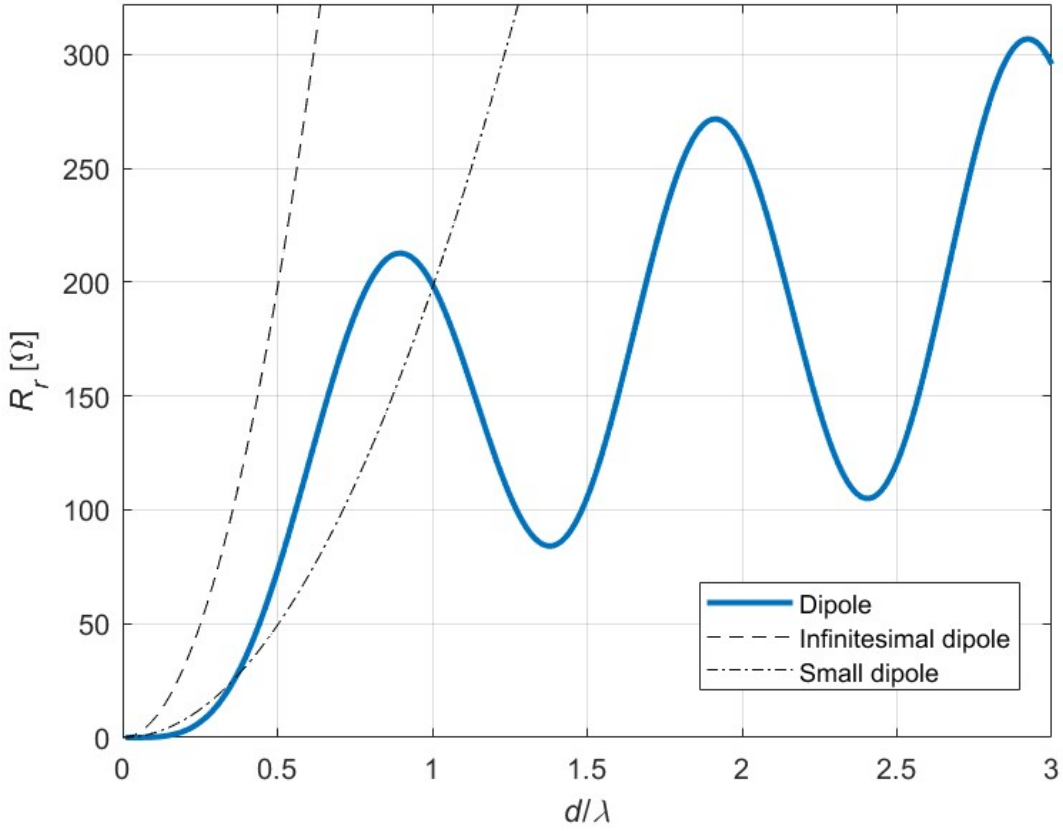
- Dipoolantenni kiirgustakistuse avaldis on üsna keerukas:

$$R_r = \frac{\eta}{2\pi}\left\{\gamma + \ln(kd) - \mathrm{Ci}(kd) + \frac{1}{2}\sin(kd)[\mathrm{Si}(2kd) - 2\mathrm{Si}(kd)] + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{2}\cos(kd)\left[\gamma + \ln\left(\frac{kd}{2}\right) + \mathrm{Ci}(2kd) - 2\mathrm{Ci}(kd)\right]\right\}.$$

- Konstanti $\gamma$ = 0,5772 tuntakse Euleri konstandi nime all, *k* on lainearv ja funktsioonid Ci(*x*) ning Si(*x*) on vastavalt koosinus- ja siinusintegraalid vastavate avaldistega:

$$\mathrm{Ci}(x) = -\int_x^\infty \frac{\cos t}{t}\,dt \qquad \mathrm{Si}(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t}\,dt\,.$$

# Dipoolantenni kiirgustakistus

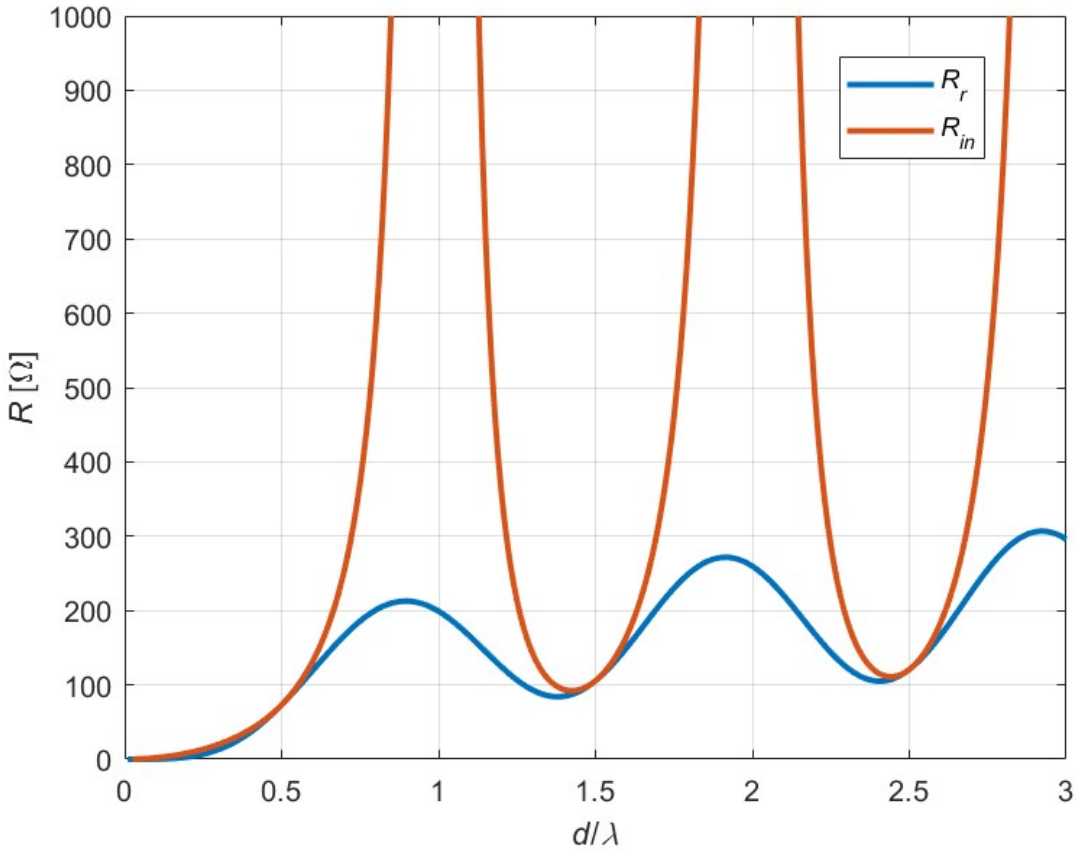



- Poollaine dipooli kiirgustakistus on $R_r$ = 73,13 Ω.

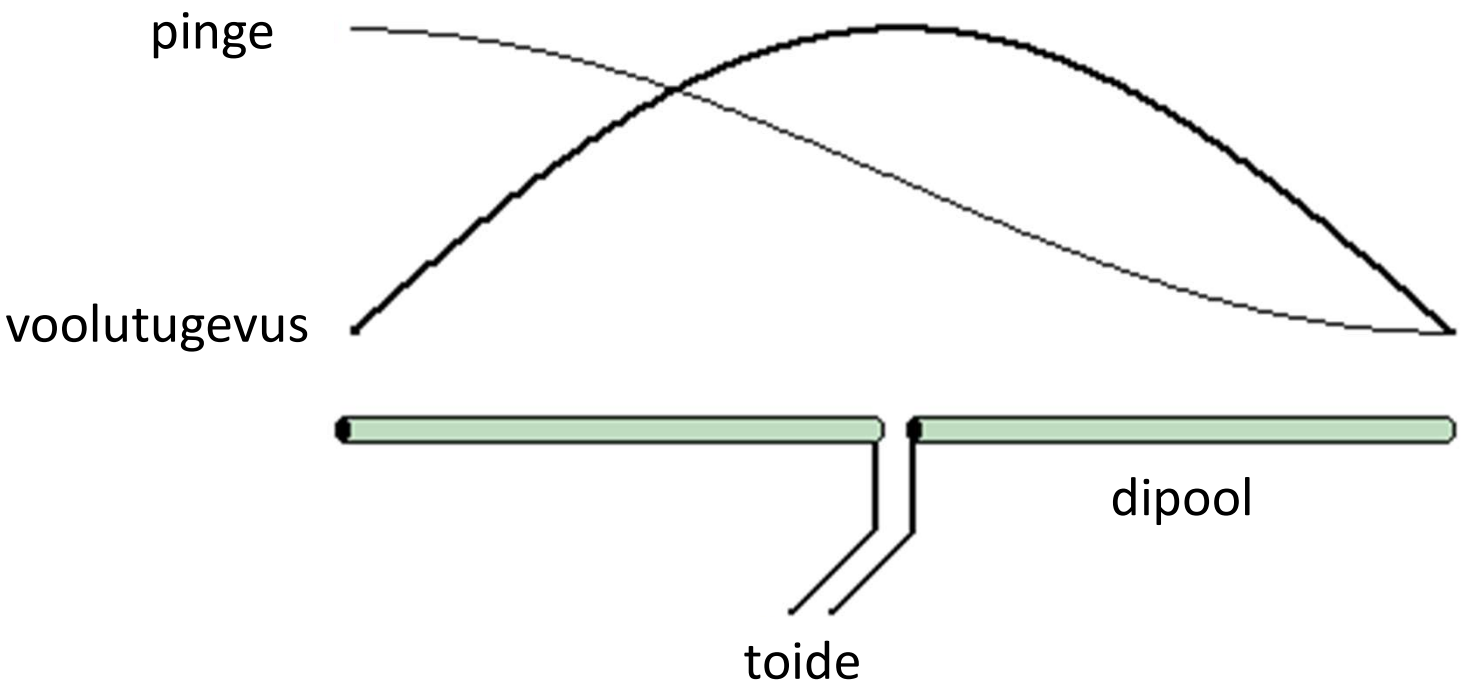
# Dipoolantenni sisendtakistus

- Voolutugevuse maksimum ei asu alati antenni keskel, seega ei ole sisend- $R_{in}$ ja kiirgustakistuse $R_r$ väärtused alati omavahel võrdsed.
- Kaovaba dipooli sisendtakistus:

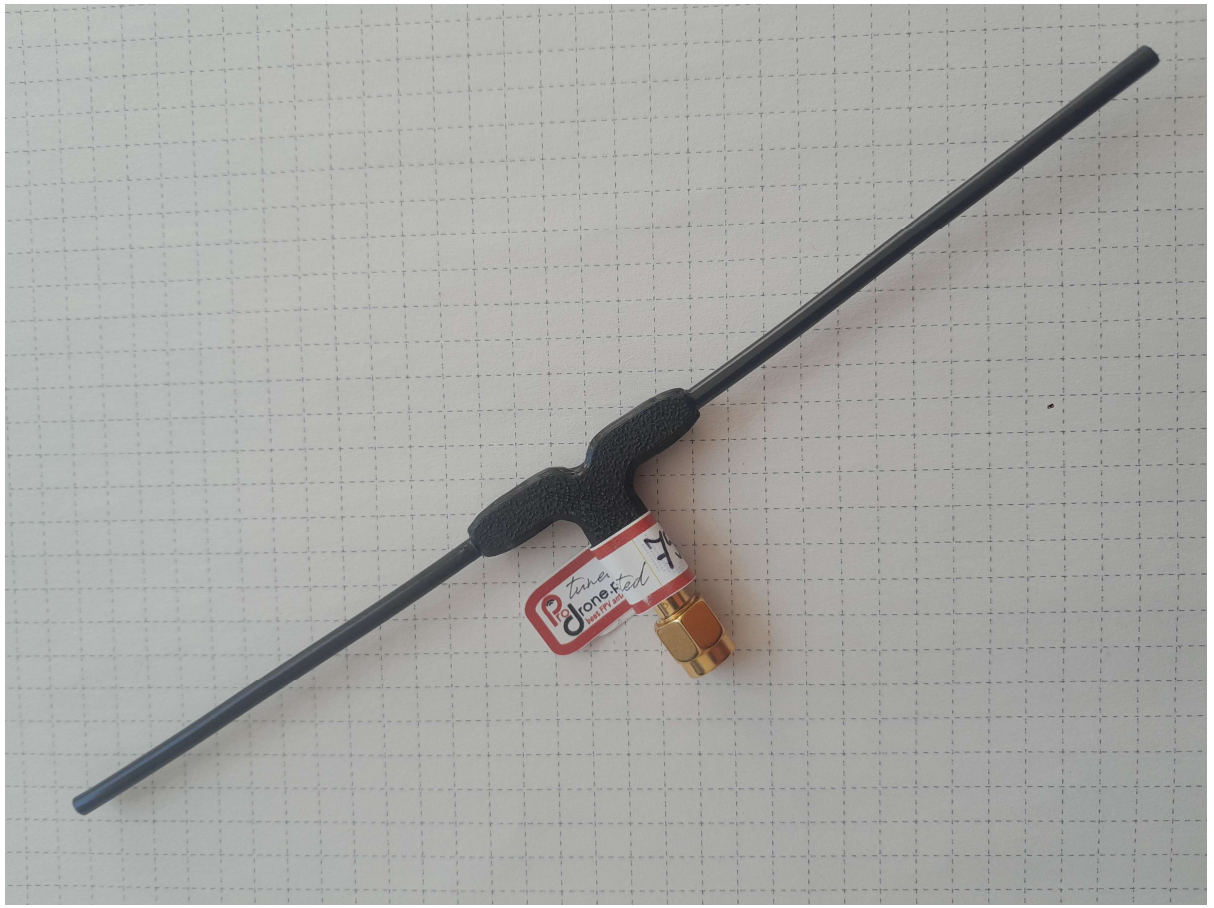
$$R_{in} = \frac{R_r}{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}.$$



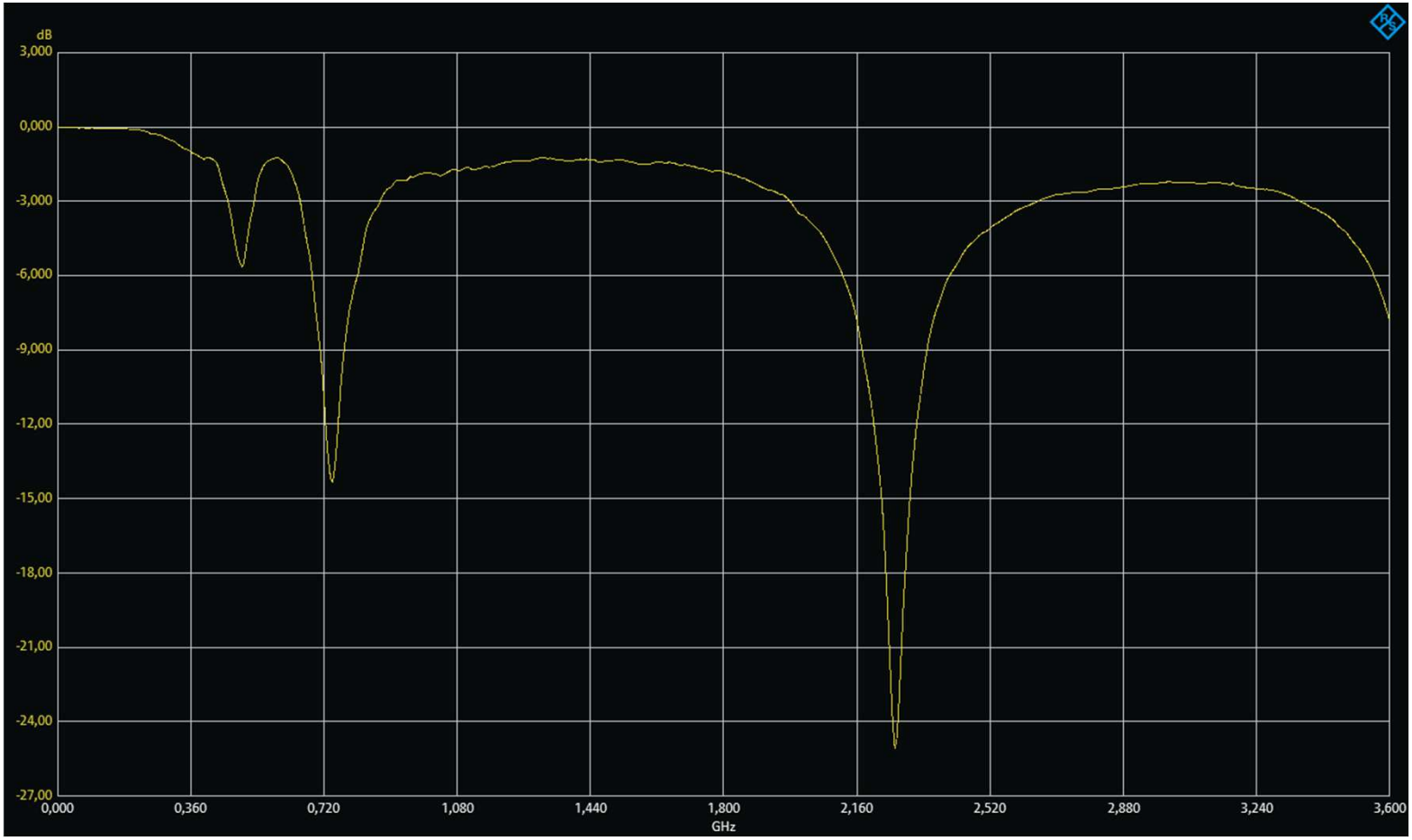
# Poollaine dipool



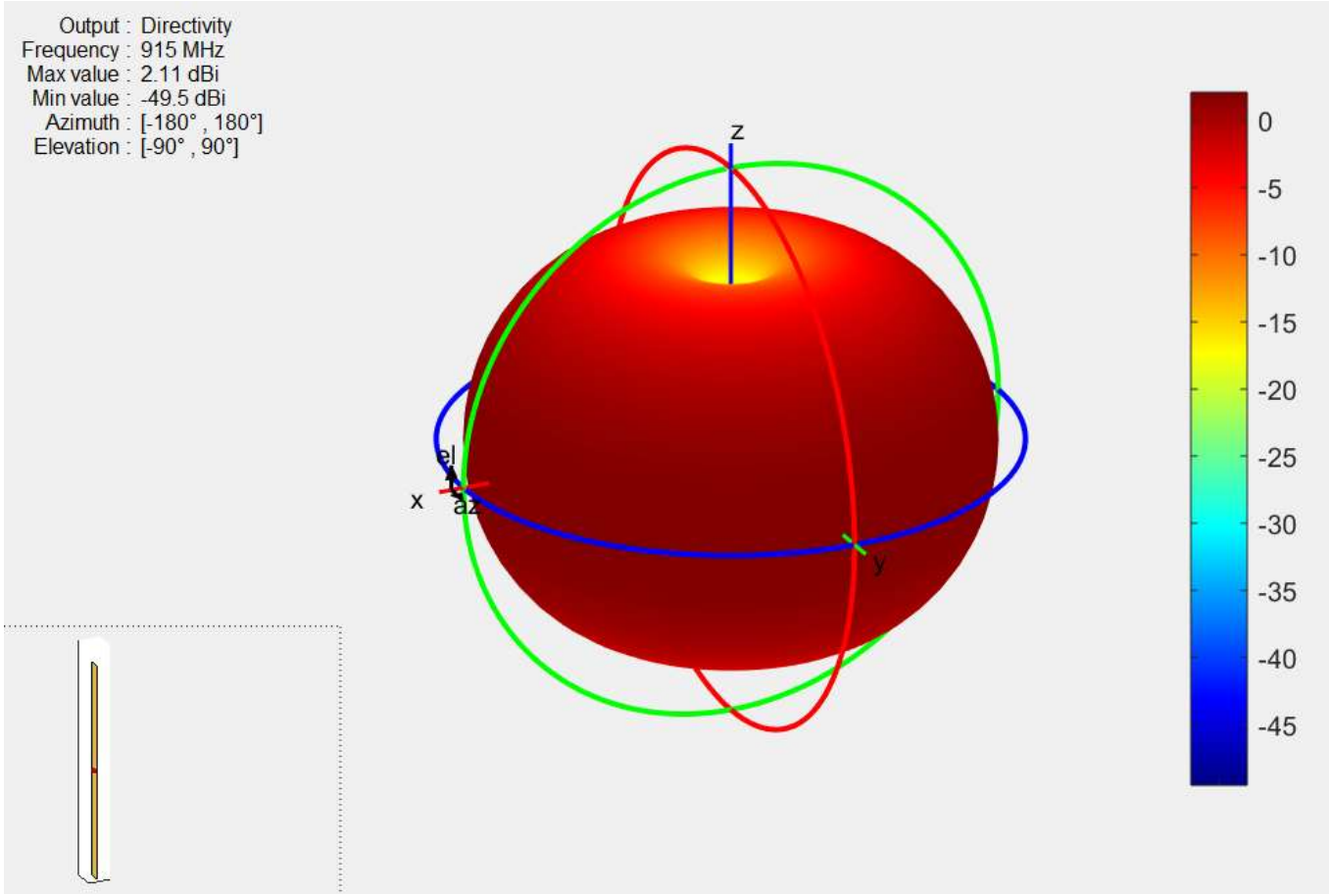
# Näide: 750 MHz dipool



# Näide: 750 MHz dipooli sobitus

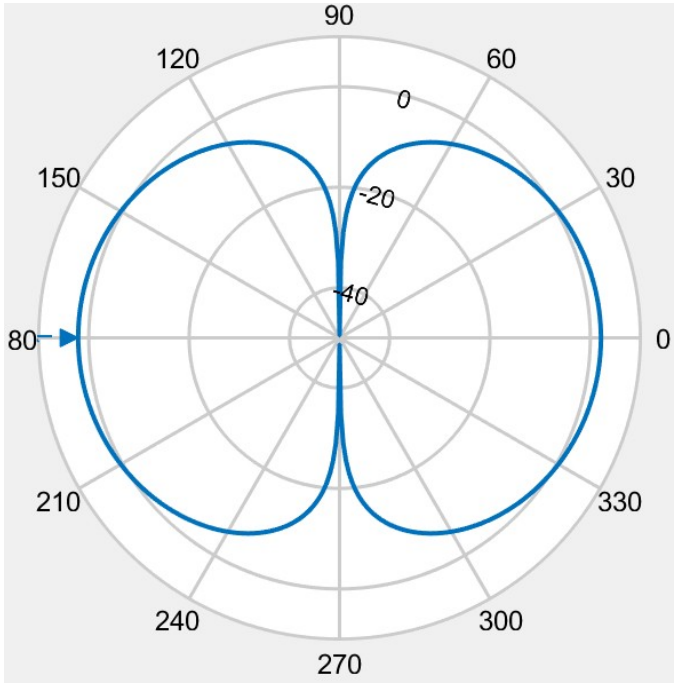


# Poollaine dipoolantenni suunadiagramm

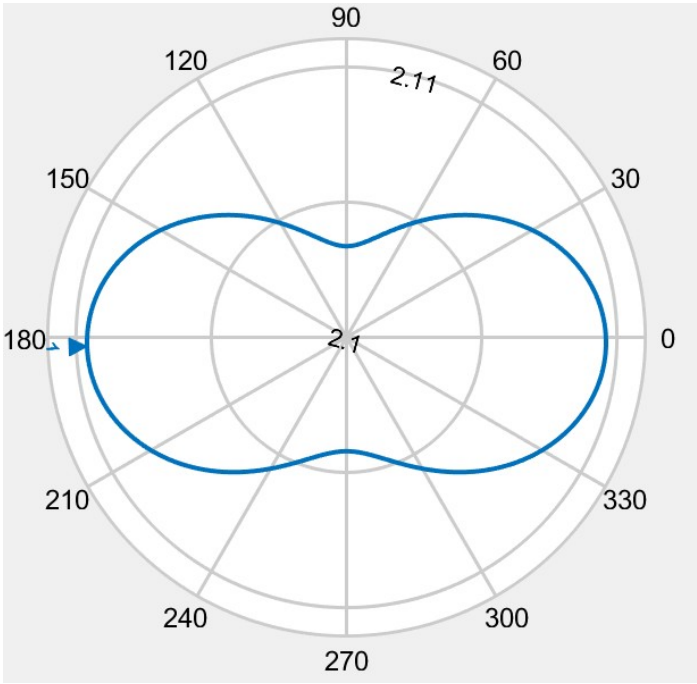


# Simuleeritud suunadiagrammi lõiked

**Tõusunurk (*elevation*)**



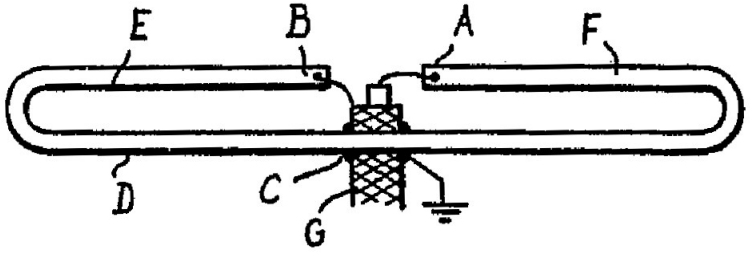

**Asimuut (*azimuth*)**

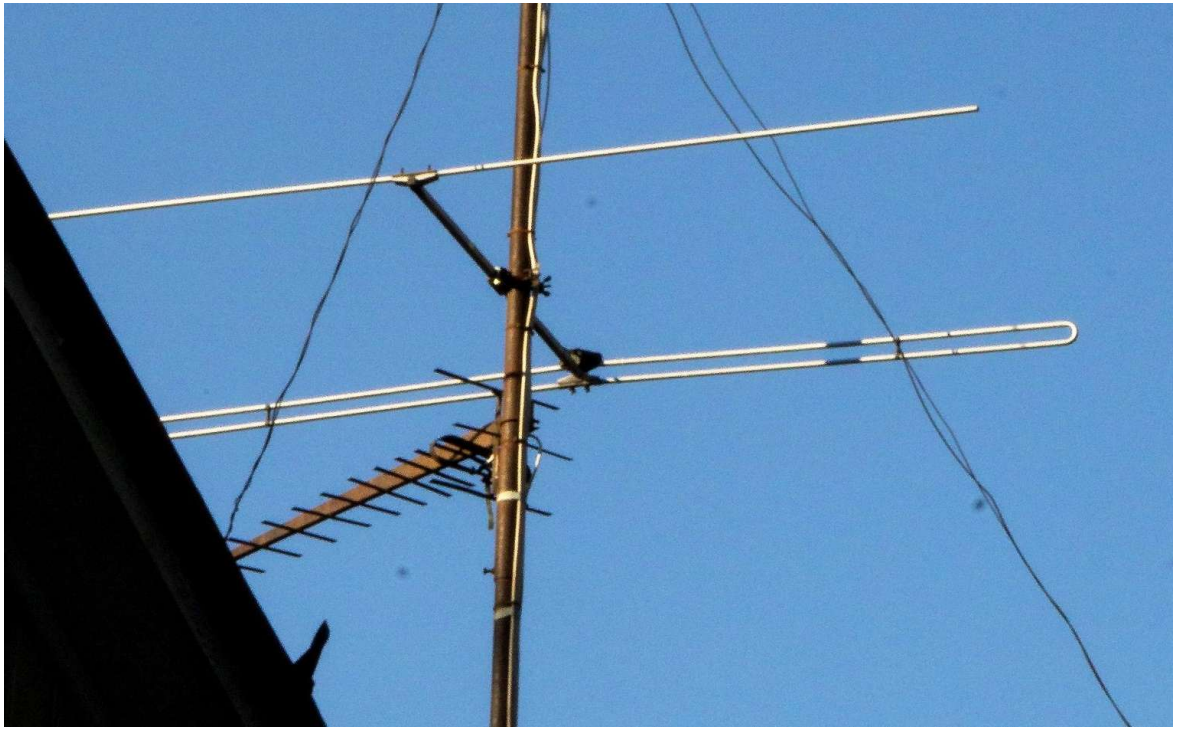


# Poolaine dipoolantenni parameetrid

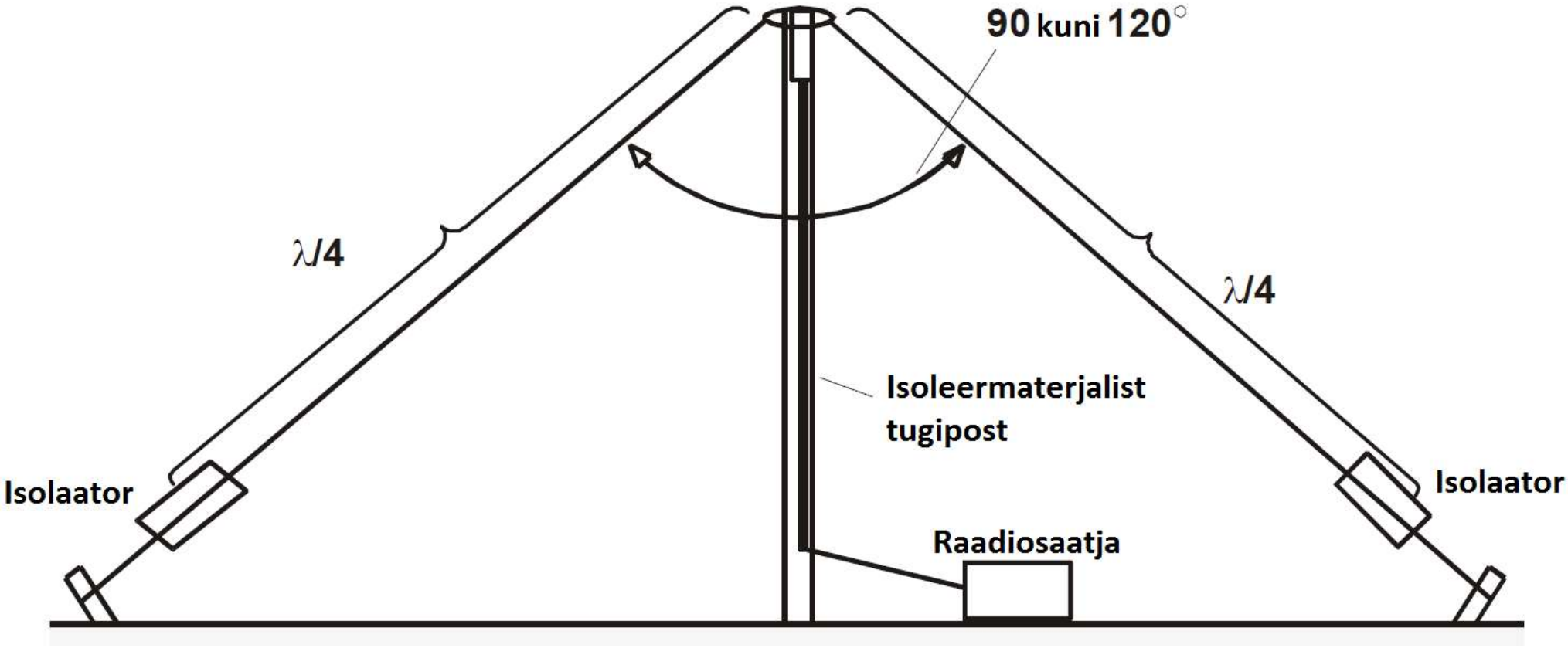
- Suunategur: $D$ = 2,15 dBi (0 dBd);
- Pealehe laius -3 dB nivool: 1,36 rad (78°);
- Kiirgustakistus $R_r \approx 73\ \Omega$;
- Efektiivne pindala $A_{eff} \leq 0{,}13\lambda^2$;
- Lineaarse polarisatsiooniga;
- Kitsa ribalaiusega (suur hüvetegur $Q$, väike $B$).

# Silmusdipool

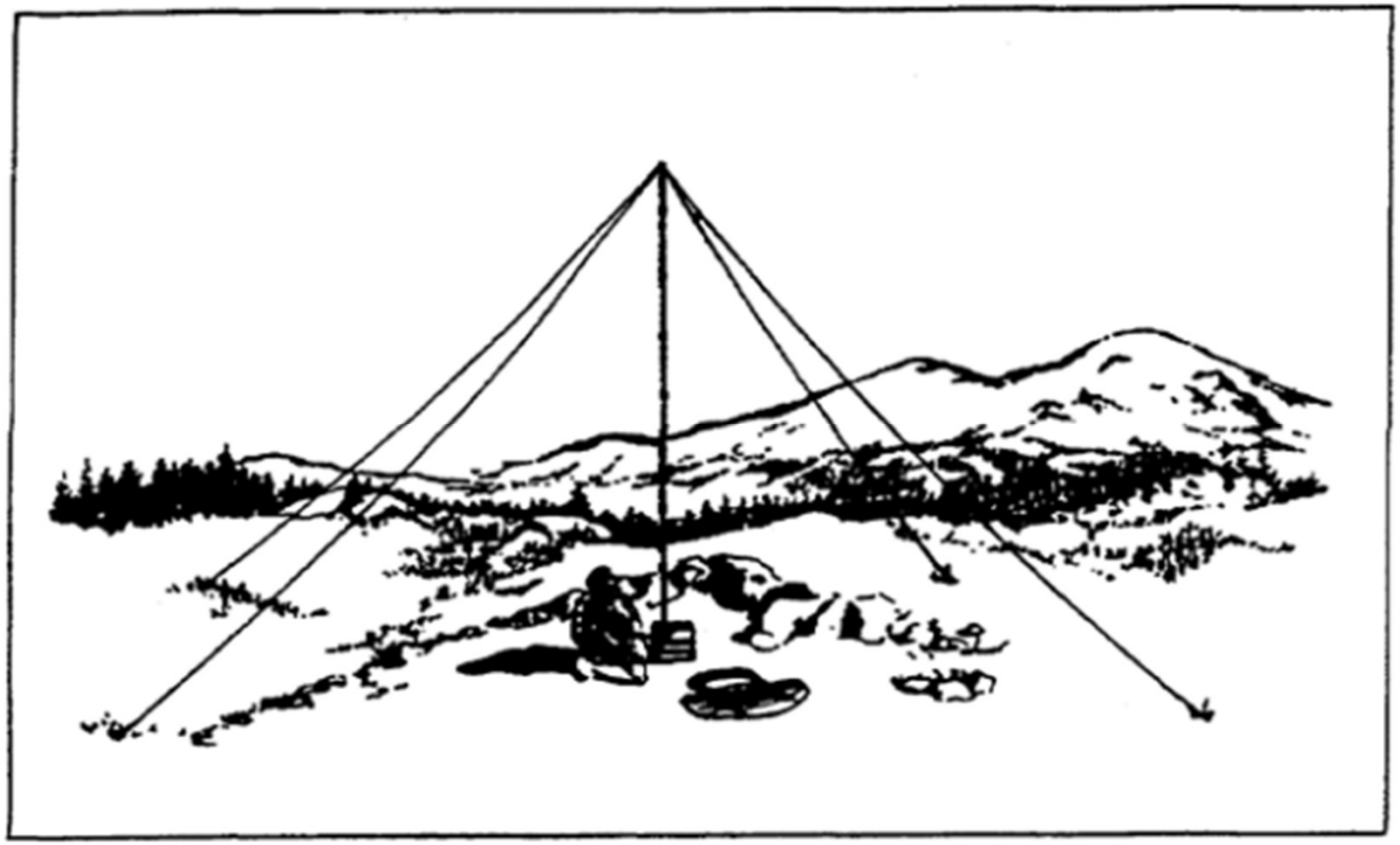


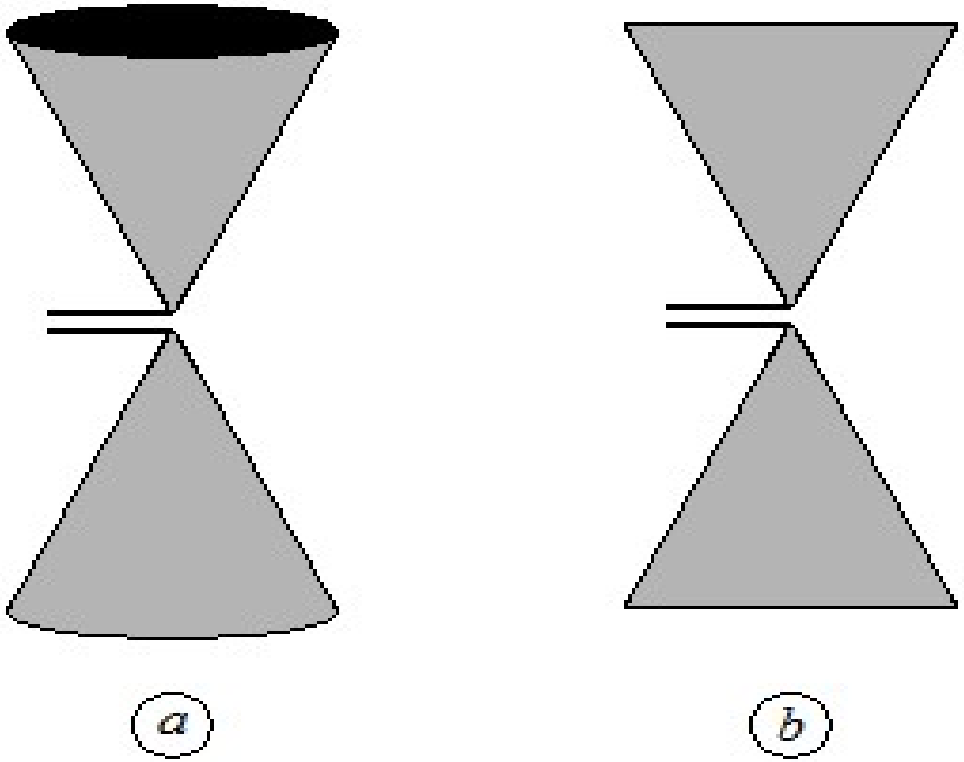
# V-dipoole


90 kuni 120°
λ/4
λ/4
Isoleermaterjalist
tugipost
Isolaator
Isolaator
Raadiosaatja

# Ristatud V-dipool (NVIS)



# Laiaribaline dipool (bikoonantenn)



# Bikoonantenn (BCV-30512)



Näide (*Bicone antenna*)

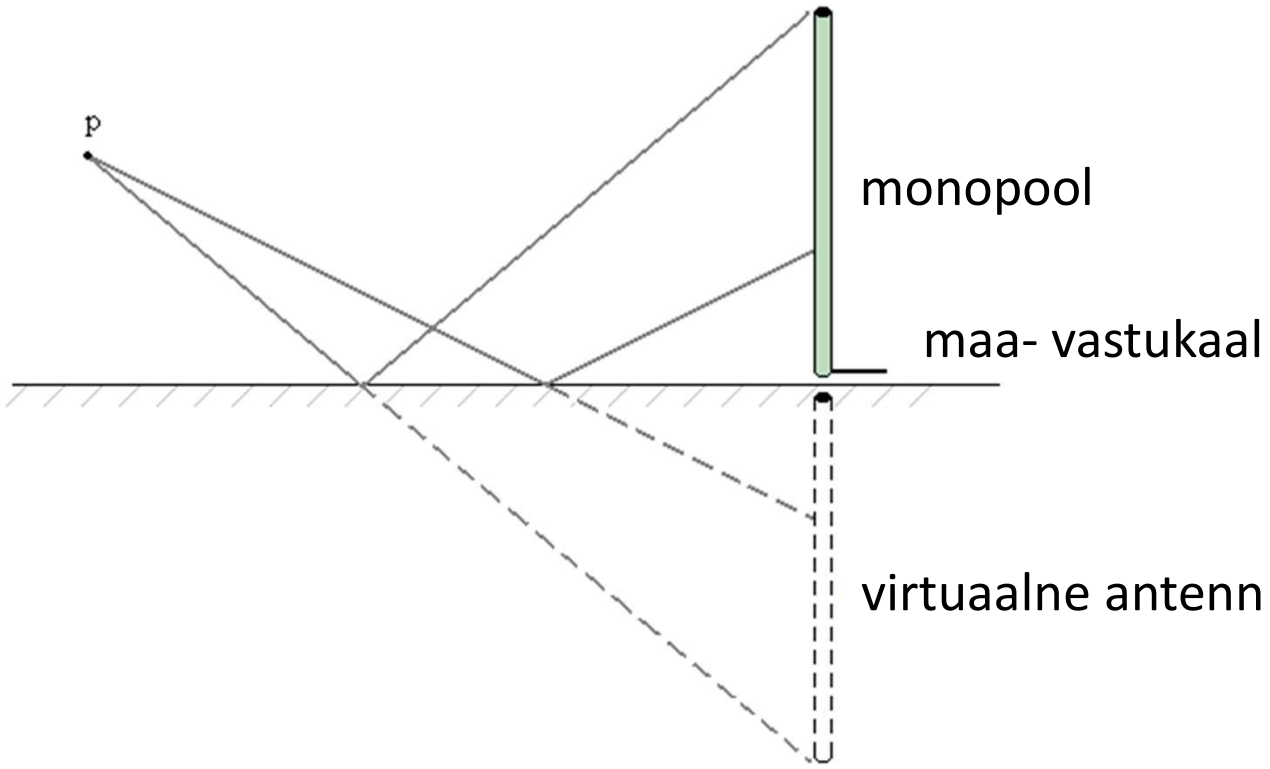
- Sagedusvahemik: 30 – 512 MHz
- Võimendus: -11 kuni 4 dBi
- VSWR < 3:1
- Vertikaalse polarisatsiooniga
- Impedants 50 Ω
- Maksimaalne sisendvõimsus: 200 W



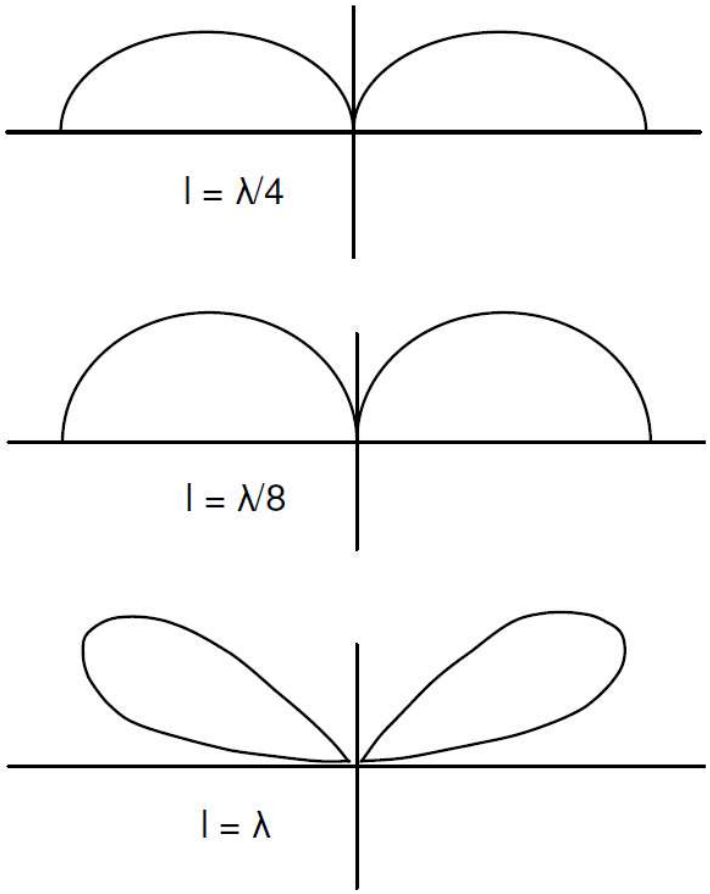
# Monopolantenn

Foto: www.wikipedia.org

# Monopoolantenn



# Monopolantenni suunadiagramm



# Veerandlaine monopolantenni omadused

- Suunategur: $D$ = 5,15 dBi ($l = \lambda/4$);
- Pealehe laius -3 dB nivool: 0,68 rad (40°);
- Kiirgustakistus $R_r \approx 37\ \Omega$;
- Efektiivne pindala: $A_{eff} \leq 0{,}26\lambda^2$;
- Lineaarse polarisatsiooniga;
- Kitsa ribalaiusega (suur hüvetegur $Q$, väike $B$).

# Vastukaal

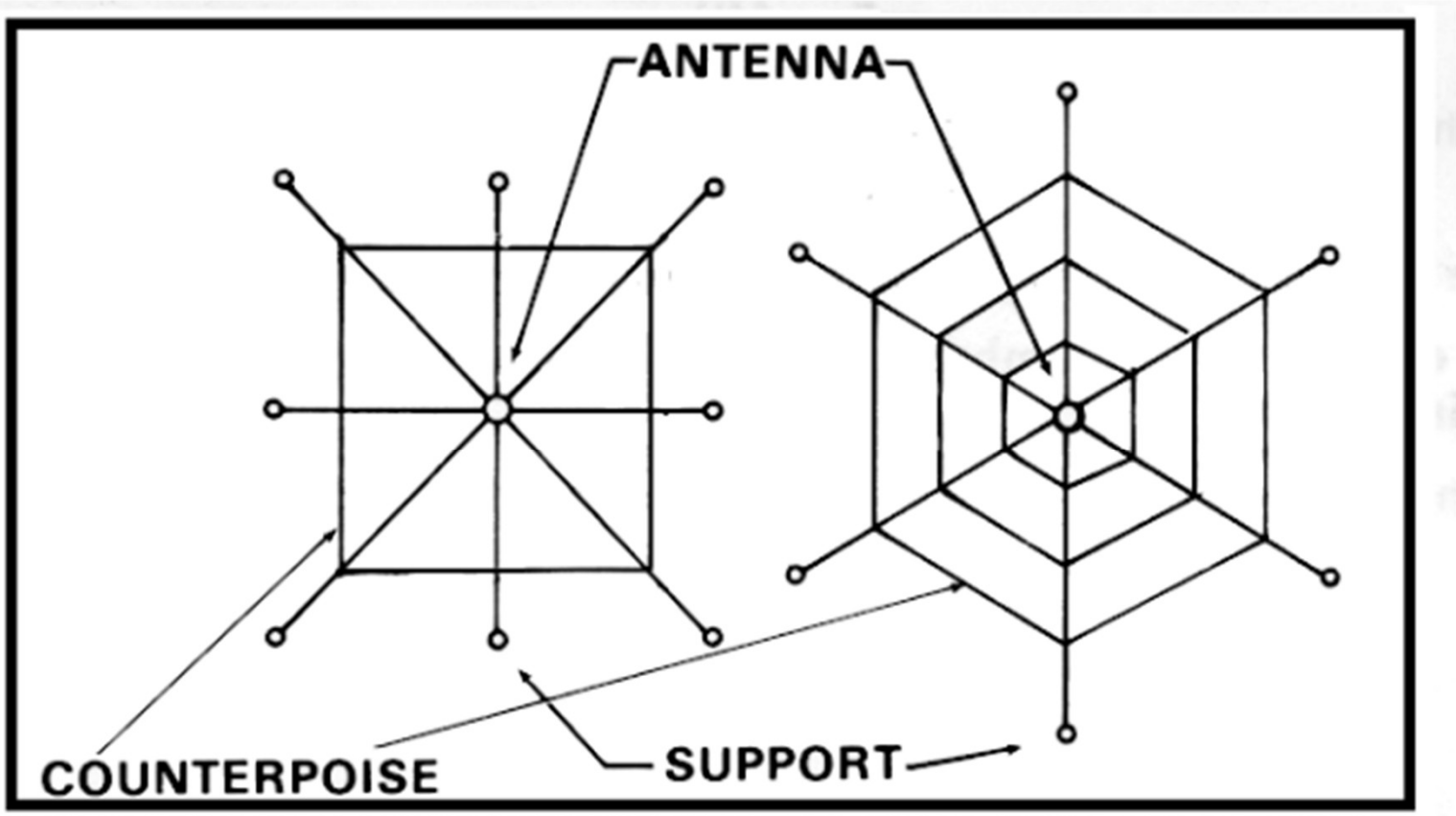
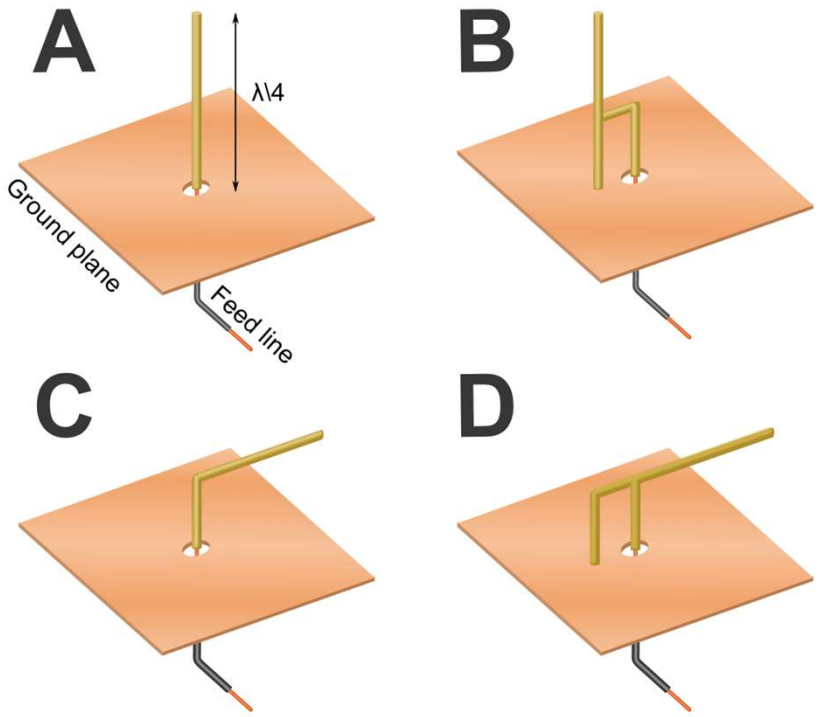



*Figure 3-8. Wire counterpoise.*

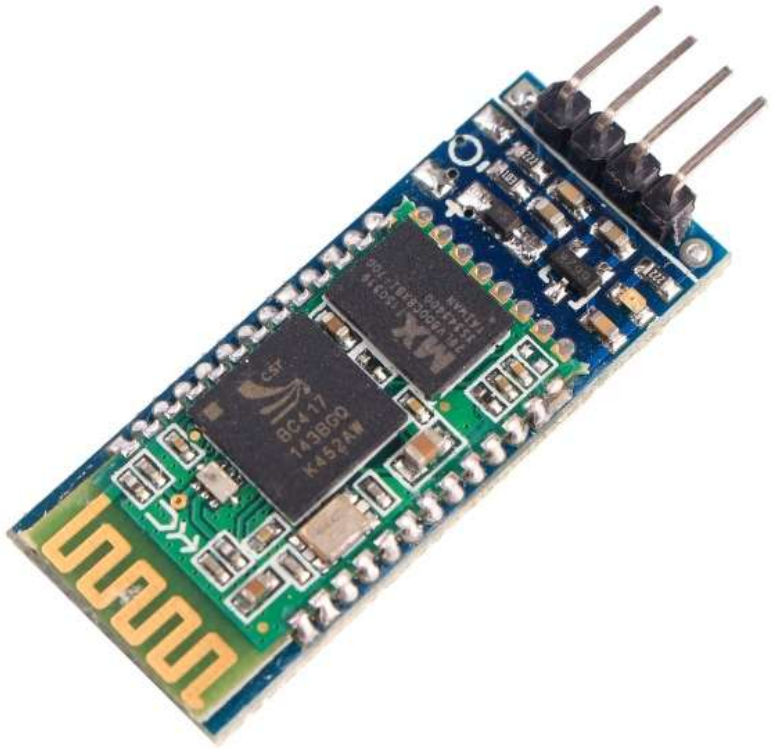
# Vastukaal



# L ja F antennid



# Meanderantenn





# Raamantenn

Foto: Heiko Kruusi

# Raamantenn

- **Raamantenn** (*Loop Antenna*) on teine suur lihtsate antennide klass.
- Dipoolantenni võin käsitleda „elektrilise“ antennina ning raamantenni selle vastena ehk „magnetilise“ antennina. Teatud juhtudel kasutataksegi raamantenni kohta ka mõistet **magnetantenn**.
- Ehituselt on tegemist kinnise raamiga. Raami kuju võib olla meelevaldne kuid praktikas on enamlevinud ümmargused või nelinurksed.
- Elektriliselt väikeseks loetakse raamantenni mille ümbermõõt on väiksem kui kümnendik lainepikkust.
- Elektriliselt suure raamantenni ümbermõõt on lainepikkuse suurusjärgus.

# Raamantenn ja magnetantenn

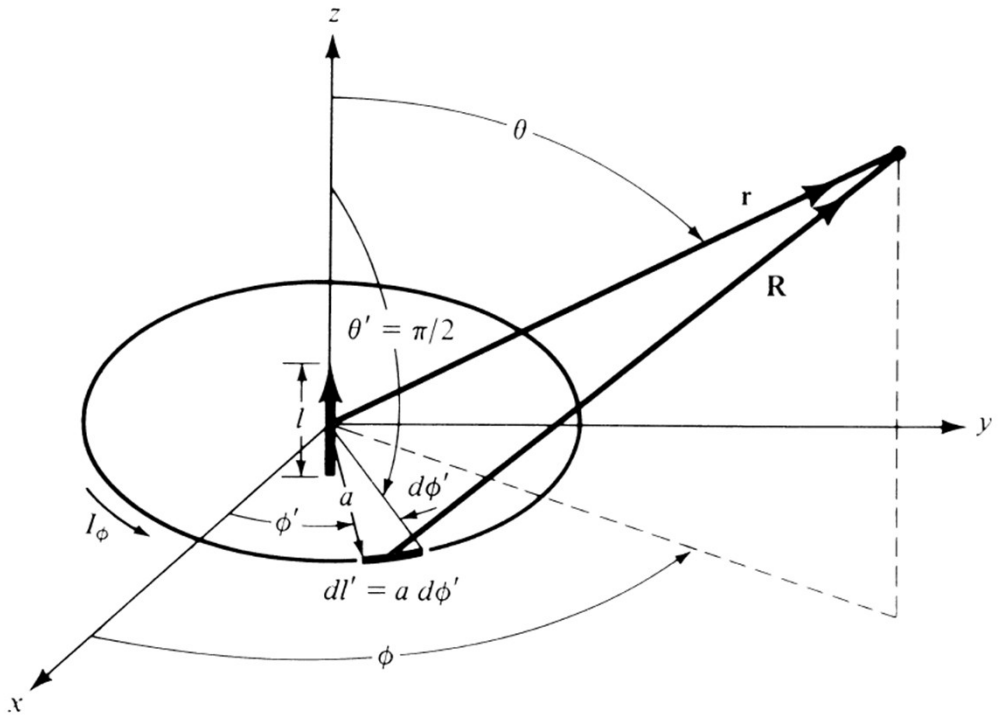





Foto: www.kolumbus.fi/

# Lõputult väike vooluga raam

- Analüüsi aluseks eeldame, et ümmargune vooluga raam, raadiusega *a,* paikneb x-y tasandil (*z* = 0) selliselt, et *z* –telg läbib tema keskpunkti.
- Voolutugevus terves raamis on konstantne väärtusega $I_0$.
- Voolu positiivne suund on $\mathbf{a}_\varphi$ suunas.






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

# Magnetiline vektorpotentsiaal

- Magnetilise vektorpotentsiaali leidmine on siinkohal keerukam kui see oli lõputult väikese dipooli korral.
- Täpsema arvutuskäigu leiab huvi korral põhiõpikust, ligikaudne tulem on kujul:

$$\mathbf{A} = \mathrm{j}\frac{k\mu a^2 I_0 \sin\theta}{4r}\left(1 + \frac{1}{\mathrm{j}kr}\right)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}kr}\mathbf{a}_\varphi.$$

# Lõputult väikese vooluga raami magnetväli

- Magnetvälja asimuudi sihiline komponent on null ($H_\varphi = 0$), ülejäänud kaks avalduvad kujul

$$H_r = \mathrm{j}\frac{ka^2 I_0 \cos\theta}{2r^2}\left(1 + \frac{1}{\mathrm{j}kr}\right)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}kr},$$

$$H_r = -\frac{(ka)^2 I_0 \sin\theta}{4r}\left(1 + \frac{1}{\mathrm{j}kr} - \frac{1}{(kr)^2}\right)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}kr}.$$

# Lõputult väikese vooluga raami elektriväli

- Elektrivälja tugevusel on ainult üks mittenulline komponent:

$$E_\varphi = \eta \frac{(ka)^2 I_0 \sin\theta}{4r}\left(1 + \frac{1}{\mathrm{j}kr}\right)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}k} \ .$$

# Kiirgusvõimsus ja -takistus

- Lõputult väikese vooluga raami (keskmine) kiirgusvõimsus on

$$P_{rad} = \eta \frac{\pi}{12} (ka)^4 |I_0|^2.$$

- Viimasest valemist saame väikese raami kiirgustakistuse avaldiseks

$$R_r = 20\pi^2 \left(\frac{C}{\lambda}\right)^4 \approx 31{,}171 \left(\frac{S^2}{\lambda^4}\right),$$

kus $C = 2\pi a$ on raami ümbermõõt ja $S = \pi a^2$ on raami pindala.

- Ülaltoodud avaldis kehtib ühe keeruga ($N = 1$) raami kohta. Tulemus tuleb läbi korrutada keerdude arvu ruuduga $N^2$.
- Ferriitsüdamiku kasutamisel tuleb tulemus veel läbi korrutada selle suhtelise magnetilise läbitavuse ruuduga $\mu_r^2$.

# Kiirgustugevus

- Lõputult väikese vooluga raami kiirgustugevus (*radiation intensity*) on

$$U = r^2\bar{\Pi} = \frac{\eta}{2}\left(\frac{k^2a^2}{4}\right)^2 |I_0|^2\sin^2\theta = \frac{r^2}{2\eta}|\mathbf{E}_s(r,\theta,\phi)|^2.$$

  Kuna vooluga raami elektrivälja kuju (kaug-tsoonis) on identne lõputult lühikese dipooli omale, siis on identsed ka nende kahe antenni kiirgustugevused.

- Identsed on ka nende antennide suunadiagrammid, suunategurid ($D_0$ = 1,5) ja efektiivsed pindalad:

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi}D_0 = \frac{3\lambda^2}{8\pi}.$$

# Materjalid

- Balanis, CA 2016, **Antenna Theory : Analysis and Design**, John Wiley & Sons.
  - Alapeatükk 1.4 „*Current Distribution On A Thin Wire Antenna*“
  - Alapeatükid 4.3 „*Small Dipole*“ kuni 4.6 „*Half-Wavelength Dipole*“
  - Alapeatükid 5.1 „*Introduction*“ kuni 5.4 „*Circular Loop with Nonuniform Current*“ ja 5.7 „*Ferrite Loop*“

