

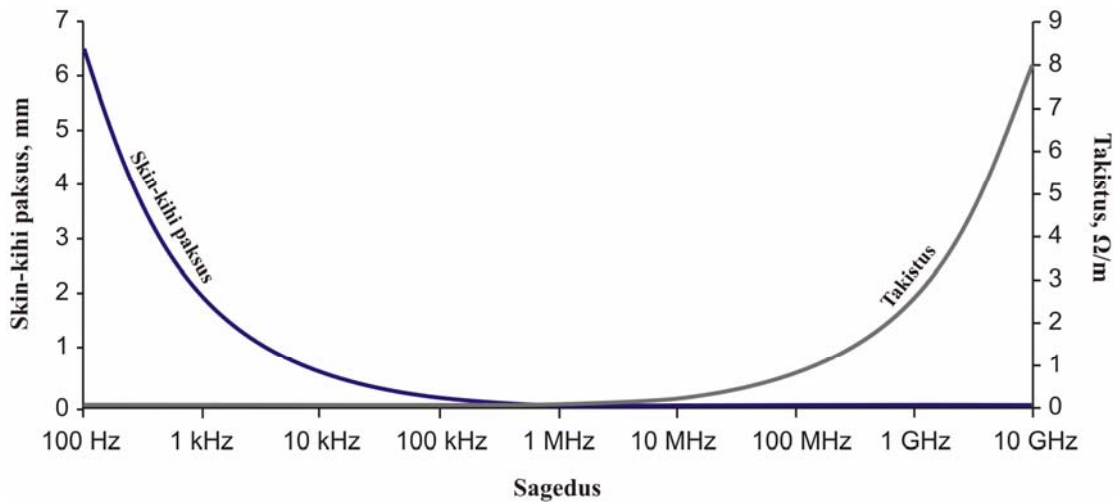
## Antenni kiirguse efektiivsus

Mida kõrgem on sagedus, seda vähem sügavale vool elektrijuhi tungib ning kõrgetel sagedustel liigub vool vaid elektrijuhi pinnakihis. Seda nähtust nimetatakse skin-efektiks (*skin effect*). Saab näitada, et kihi paksus  $\delta$ , milles vool liigub, avaldub

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \sigma}} \text{ [m]},$$

kus  $f$  on sagedus [Hz],  
 $\sigma$  on materjali erijuhtivus [S/m]  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ A/m}$ .

Järgmisel graafikul on näha vasktraadi skin-kihi paksus sõltuvalt sagedusest. Vase erijuhtivus on  $5,7 \cdot 10^7 \text{ S/m}$ .



Joonis 1 – vase skin-kihi sõltuvus sagedusest, 1-mm diameetriga vasktraadi skin-kihi takistus

Kuna vool ei saa kõrgematel sagedustel liikuda enam kogu elektrijuhi, vaid ainult pinnakihis, suureneb ka voolule mõju avaldav takistus. Skin-kihi takistus avaldub:

$$R_L = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S} \text{ [\Omega]},$$

kus  $l$  on elektrijuhi (traadi) pikkus [m],  
 $S$  on skin-kihi ristlõike pindala [m<sup>2</sup>].

Skin-kihi pindala on traadi korral skin-kihi paksuse ja traadi ristlõike ümbermõõdu  $2\pi b$  korrutis, kus  $b$  on ristlõike raadius [m]. Järelikult skin-kihi takistus avaldub:

$$R_L = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma \cdot 2\pi \cdot b \cdot \delta} = \frac{l}{\sigma \cdot 2\pi \cdot b \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \sigma}}} = \frac{l}{2b} \sqrt{\frac{f \cdot \mu_0}{\pi \cdot \sigma}}$$

1-mm diameetriga vasktraadi takistus on kujutatud graafikul 1.

Skin-efekti tuleb arvestada ka antennide juures. Kogu antennile antavast energias kiiratakse välja vaid üks osa. Teine osa muutub antennis põhiliselt skin-efekti tõttu soojuseks, mis on ebasoovitav. Väljakiiratava ja kogu energia suhet iseloomustab **antenni kiirguse efektiivsus**, mis avaldub:

$$e = \frac{R_r}{R_L + R_r} \cdot 100\%,$$

kus  $R_r$  on kiirgustakistus,  
 $R_L$  on skin-efekti takistus.

Selgitame antenni efektiivsust järgmise näitega.

*Leida 6 cm pikkuse dipooli ja sellele vastava raamantenni kasutegur sagedustel 1, 10 ja 100 MHz. Mõlemad on tehtud vasktraadist, mille ristlõike raadius on  $b=2,5$  mm ning erijuhtivus  $\sigma=5,8 \cdot 10^7$  S/m.*

Dipoolile vastava raamantenni raadius on vastavalt teoreetilistele alustele

$$a = \sqrt{\frac{l\lambda}{2\pi^2}},$$

kus  $a$  on raamantenni raadius [m],  
 $l$  on dipooli pikkus [m],  
 $\lambda$  on lainepikkus [m].

Dipooli kiirgustakistus avaldub:

$$R_{r\_dipool} = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$$

ja raamantenni kiirgustakistus:

$$R_{r\_raamantenn} = \eta \frac{2\pi}{3} \left(\frac{kS}{\lambda}\right)^2 = 120\pi \frac{2\pi}{3} \left(\frac{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot (\pi \cdot a^2)}{\lambda}\right)^2 = \frac{320\pi^6 a^4}{\lambda^4},$$

kus  $a$  on raamantenni raadius [m].

Kaotakistus skin-efekti tõttu avaldub dipooli korral:

$$R_{L\_dipool} = \frac{l}{2b} \sqrt{\frac{f \cdot \mu_0}{\pi \cdot \sigma}},$$

kus  $l$  on dipooli (traadi) pikkus [m],  
 $b$  on traadi ristlõike raadius [m],  
 $f$  on sagedus [Hz],  
 $\sigma$  on materjali erijuhtivus [S/m]  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  A/m.

Kaotakistus raamantenni korral:

$$R_{L\_raamantenn} = \frac{2\pi \cdot a}{2b} \sqrt{\frac{f \cdot \mu_0}{\pi \cdot \sigma}} = \frac{a}{b} \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu_0}{\sigma}},$$

kus  $a$  on raamantenni (traadi) raadius [m],  
 $b$  on traadi ristlõike raadius [m],  
 $f$  on sagedus [Hz],  
 $\sigma$  on materjali erijuhtivus [S/m]  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  A/m.

Kasutades eelpool toodud valemeid, on arvutatud antennide efektiivsused kolme sageduse – 1, 10 ja 100 MHz – jaoks, ning tulemused on kantud tabelitesse:

#### Dipoolantenn

$f$ (MHz)	$l$	$R_r$	$R_L$	$e$
1	6,0 cm	31,6 $\mu\Omega$	996 $\mu\Omega$	3,08 %
10	6,0 cm	3,16 m $\Omega$	3,15 m $\Omega$	50,09 %
100	6,0 cm	0,316 $\Omega$	9,97 m $\Omega$	96,95 %

#### Raamantenn

$f$ (MHz)	$l$	$R_r$	$R_L$	$e$
1	95,5 cm	31,6 $\mu\Omega$	99,62 m $\Omega$	0,032 %
10	30,2 cm	3,16 m $\Omega$	99,62 m $\Omega$	3,08 %
100	9,55 cm	0,316 $\Omega$	99,62 m $\Omega$	76,05 %