

Sviðsstyrkur nærri loftnetum

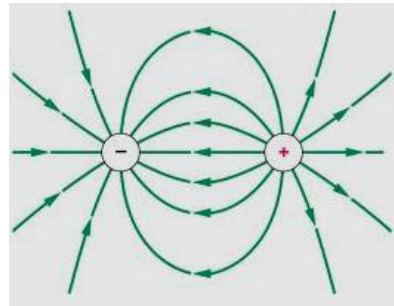
Öryggismörk

Fyrirlestur í ÍRA 15. mars 2012

Vilhjálmur Þór Kjartansson, TF3DX

Þrenns konar svið

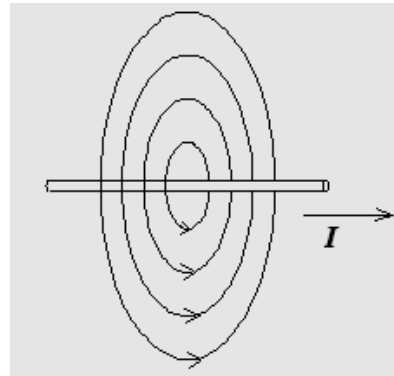
1. **Rafsvið** stafar frá hleðslu, því sterkara sem spennan er hærri



E (V/m)
volt á metra

1. mynd rafsvið eins og frá endum tvíþóls

2. **Segulsvið** stafar af hleðslu á hreyfingu, því sterkara sem straumurinn er meiri

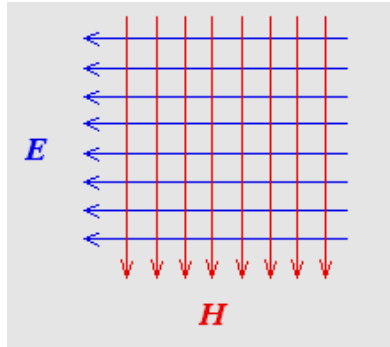


H (A/m)
amper á metra

2. mynd segulsvið eins og frá miðbikil tvíþóls

Þessi svið voru þekkt áður en Maxwell leiddi út tilvist rafsegulbylgjunnar. Bæði þessi svið geyma orku sem sveiflast á milli þeirri eins og milli þéttis (rafsviðs) og spólu (segulsviðs) í sveiflurás. Milli þeirra er 90° fasvik. Þau dofna hratt með fjarlægð frá loftnetinu en eru ráðandi næst því. Þar er talað um **nærsvið** loftnetsins. Þessi svið geta **spanað** merki í nágrenni, en eru ekki bylgja.

3. Rafsegulbylgja stafar af hleðslu með hröðun, því sterkari sem útgeislað afl er meira.



P (W/m²)
wött á fermetra

3. mynd
rafsvið og segulsvið lárétt skautaðrar rafsegulbylgju sem kemur á móti lesanda

Rafsegulbylgja er **samtvinnað** rafsvið og segulsvið, hornrétt hvort á annað og hornrétt á útbreiðslustefnu. Þau eru samfasa og bera **orku** burt frá loftnetinu. Riðstraumur sveiflar hleðslu til og frá, sem gefur bylgju til **viðbótar** hefðbundnu rafsviði og segulsviði sem áður er getið. Hún dofnar hægar með fjarlægð og getur því borið boð langar leiðir. Hún er allsráðandi í **fjarsviði** loftnets.

bylgja í rúmi

tilsvarandi á fæðilínu

Bylgjuviðnám $Z_o = \frac{E}{H}$

$Z_o = \frac{U}{I}$

Aflþéttni $P_a = E \cdot H \Rightarrow \frac{E^2}{Z_o}$

Afl $P = U \cdot I \Rightarrow \frac{U^2}{Z_o}$

Rafsvið og segulsvið sömu bylgju eru ávallt í tilteknu hlutfalli, sem ræðst af miðlinum sem bylgjan ferðast í. Það kallast **bylgjuviðnám** og er 120π ohm eða því sem næst **377 Ω** fyrir tómarúm og loft með góðri nálgun.

1. dæmi

$E = 100$ mV/m í lofti. Reiknið segulsviðið H og aflþéttni bylgjunnar.

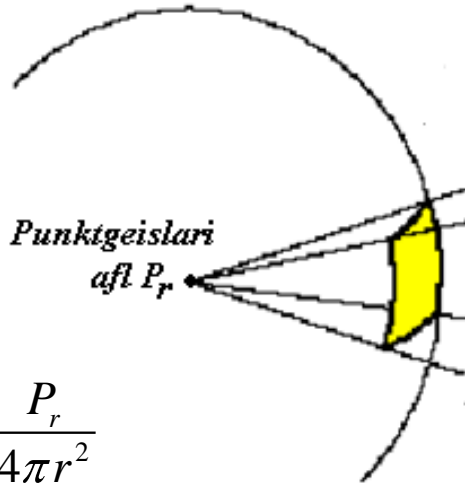
$$H = \frac{0,1 \text{ V/m}}{377 \Omega} \Rightarrow 265 \text{ } \mu\text{A/m}$$

$$P_a = 0,1 \text{ V/m} \cdot 265 \text{ } \mu\text{A/m} \Rightarrow 26,5 \text{ } \mu\text{W/m}^2$$

Styrkur **spansviðanna** ræðst af gerð loftnetsins. Frá opnum endum stafar fyrst og fremst rafsviði, frá lykkju segulsviði. Almennt er því hlutfallið E/H allt annað en 377Ω í nærsviði loftneta þar sem spansviðin eru ráðandi.

Nærsvið stutts tvíþóls (eða stangar móti jörð) er yfirgnæfandi rafsvið.
Nærsvið lítillar lykkju (eða hálfrar lykkju móti jörð) er yfirgnæfandi segulsvið.

Punktgeislari (*isotropic radiator*)



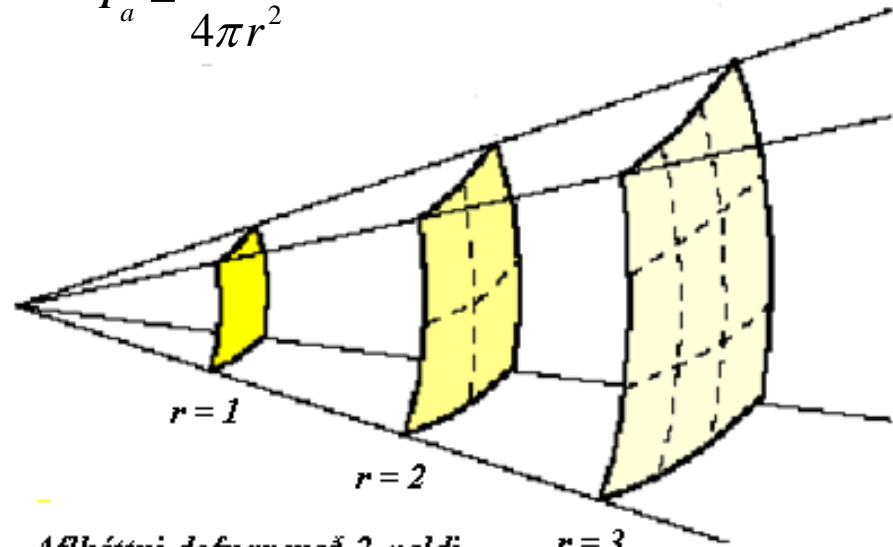
$$\frac{E^2}{120\pi} = \frac{P_r}{4\pi r^2}$$

$$E = \frac{\sqrt{30P_r}}{r} \text{ (V/m)}$$

Sviðsstyrkur dofnar með
1. veldi af fjarlægð

Aflið dreifist jafnt í allar stefnur rúmsins.
Flatarmál kúlu er $4\pi r^2$. Því er aflþéttnin

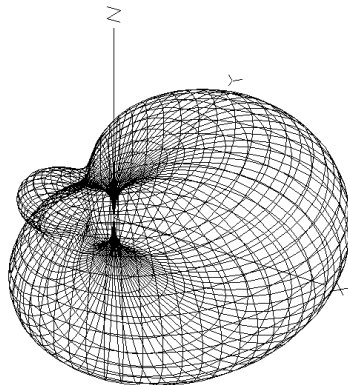
$$P_a = \frac{P_r}{4\pi r^2}$$



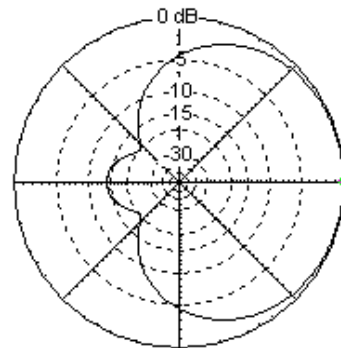
Aflþéttni dofnar með 2. veldi
af fjarlægð

4. mynd *Styrkur bylgju frá punktgeislara*

Ávinningur loftnets



Total Field



EZNEC+

300 MHz

Azimuth Plot
Elevation Angle 0,0 deg.
Outer Ring 7,06 dBi

Cursor Az 0,0 deg.
Gain 7,06 dBi
0,0 dBmax

5. mynd
Ávinningur
loftnets

Venjuleg loftnet beina aflinu í vissar stefnur á kostnað annarra. Ávinningur, G , er miðaður við bestu stefnu. Þá gilda sömu útreikninga og hér að framan, ef notað er **virkt útgeislað afl (effective radiated power)** í stað heildarafls:

$$ERP = G \cdot P_r$$

Hér er ávinningurinn 1 fyrir punktgeislara, og hlutfallslega fyrir önnur loftnet. Ef hann er þekktur í dBi þarf að breyta því í hlutfallstölu:

$$G = 10^{\frac{dBi}{10}} \quad \text{t.d.} \quad G = 10^{\frac{7}{10}} \Rightarrow 5 \quad \text{fyrir loftnetið á 5. mynd.}$$

2. dæmi

Ávinningur taplauss hálfbylgjutvípóls er 1,64 (2,15 dBi). Reiknið sviðsstyrk bylgjunnar í 10 m fjarlægð þvert á tvípólinn ef útgeislað afl er 80 W.

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot G \cdot P_r}}{r} \Rightarrow \frac{\sqrt{30 \cdot 1,64 \cdot 80}}{10} = 6,3 \text{ V/m}$$

Í tíðnisviðinu 10 – 400 MHz má sviðsstyrkur til almennings vera allt að 28 V/m samkvæmt ICNIRP. Hve nærri þessu loftneti má almenningur koma?

$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot G \cdot P_r}}{E} \Rightarrow \frac{\sqrt{30 \cdot 1,64 \cdot 80}}{28} = 2,24 \text{ m}$$

Útgeislað afl er minna en afl sendis vegna taps í loftnetskerfinu öllu. Auðvelt er að reikna tap í fæðilínu. Tap í loftnetum sem hvorki eru lítil né efnisrýr er oft óverulegt, ef frá er talið tap í jarðviðnámi eða spanað tap í umhverfi.

Í þessum útreikningum er ekki tekið tillit til speglunar af jörð eða mannvirkjum. Hún getur allt að tvöfaldað sviðsstyrk, en líkur á því eru fremur litlar

Fyrirvarar

Ávinningur loftnets miðast við móttakanda í fjarska. Þegar komið er nærri loftneti raskast afstaðan til mismunandi hluta þess. Þessa gætir því meir sem umfang loftnets er meira miðað við fjarlægðina til þess. Þá er ávinningur til fjarska fremur ofmat en vanmat.

Speglun af jörð er ekki tekin með í útreikningunum að framan, nema hún sé innifalin í gildi ávinnings. Samliðun beinnar og speglaðrar bylgju getur allt að tvöfaldað sviðsstyrk. Undir lárétt skautuðu loftneti veikir hún rafsviðið í hæð sem er minni en u.þ.b. 8% af bylgjulengd, en styrkir segulsviðið.

Speglunin hefur einnig áhrif á geislunarviðnám loftnets og þar með ávinninginn.

Það er auðvelt að taka speglun með í reikninginn fyrir hálfloftnet fædd á móti jörð. Þá er notaður tvöfaldur (+ 3dB) ávinningur tilsvareandi heilloftnets, t.d. $2 \times 1,64 = 3,28$ ($2,15 \text{ dBi} + 3 \text{ dB} = 5,15 \text{ dBi}$) fyrir kvartbylgju stöng.

Ef mælt fæðiviðnám er hærra en fræðilegt gildi má reikna nýtnina og lækka útgeislað afl í hlutfalli við hana.

Nærsvið

Sviðstyrkur bylgju dofna með 1. veldi af fjarlægð eins og áður segir.

Spansviðin hafa liði sem dofna með **2. og 3. veldi**, sem líka þýðir að þeir styrkjast þeim mun hraðar þegar komið er nær loftnetinu. Þess vegna kemur að því að sviðstyrkur í námunda við loftnet geti verið meiri en útreikningarnir fyrir bylgjuna eina og sér, eins og hér að framan, gefa til kynna.

Fyrir staka beina og stutta straumlengd gildir að spanliðir eru jafnstærkir bylgjuliðunum í fjarlægðinni:

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \approx 0,16\lambda$$

Fyrir önnur loftnet en stutta tvíþóla (eða stangir) er þetta aðeins vísbending, áreiðanlegir útreikningar eru í besta falli flóknir. Við gætum reiknað sviðsstyrk bylgjunnar í þessari fjarlægð og gert ráð fyrir að spanliðirnir **kunni að vera** jafnstærkir þar. Síðan fer það eftir gerð loftnets hvort réttara sé að reikna með 2. eða 3. veldi af fjarlægð þegar nær dregur.

Ef jafnan gefur nokkuð minni fjarlægð en sem nemur öryggismörkum fyrir bylgjuna þarf ekkert að gera.

Öryggismörk

Við miðum við tilmæli ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Gerður er greinarmunur á mörkum fyrir almenning annars vegar og upplýst fagfólk hins vegar. Amatörinn sjálfur fellur væntanlega í seinni flokkinn en nágrannar í þann fyrri.

Table 7. Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

^a Note:

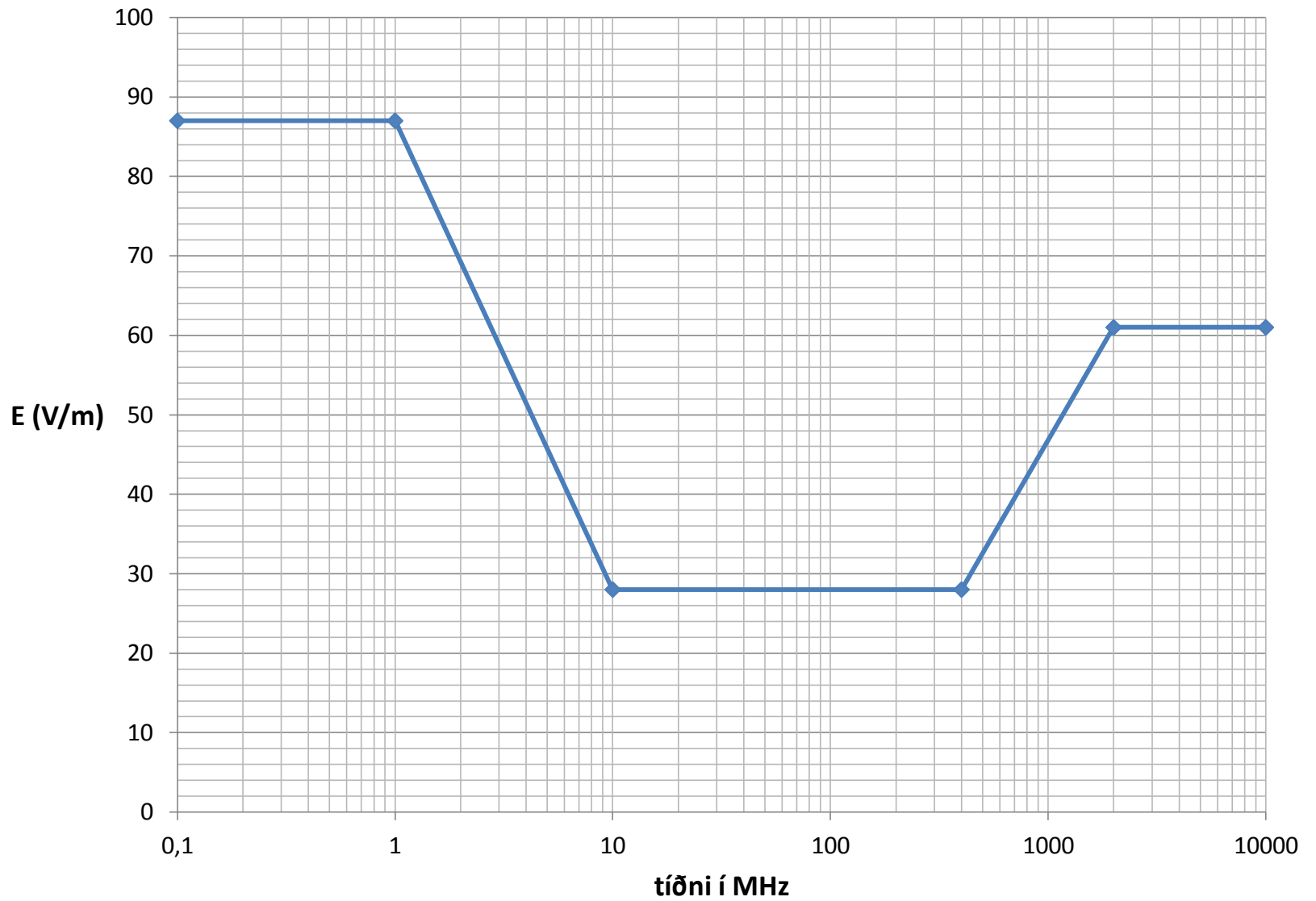
1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than 25 kV m^{-1} . Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.

Skoðum það sem snýr að amatörum, lægsta tíðnisvið 137 kHz og hæst 250 GHz:

tíðni	E (V/m)	H (A/m)
3–150 kHz	87	5
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$
10–400 MHz	28	0.073
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$
2–300 GHz	61	0.16

6. mynd *Öryggismörk fyrir almenning, f í MHz*

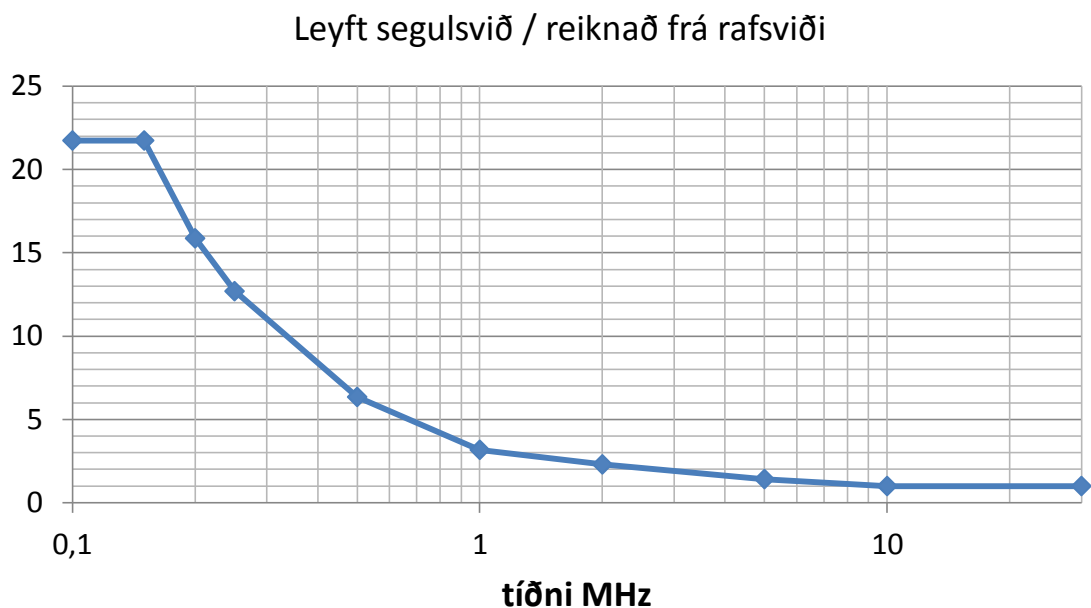
Við útreikninga má nota meðal afl yfir 6 mínútna tímabil. Það tekur bæði til styrkmótunar, þ.m.t. lyklingar, og iðnilotu sendingar. Amatörar reikna gjarnan með hlustun og sendingu til helminga.



7. mynd Öryggismörk fyrir almenning

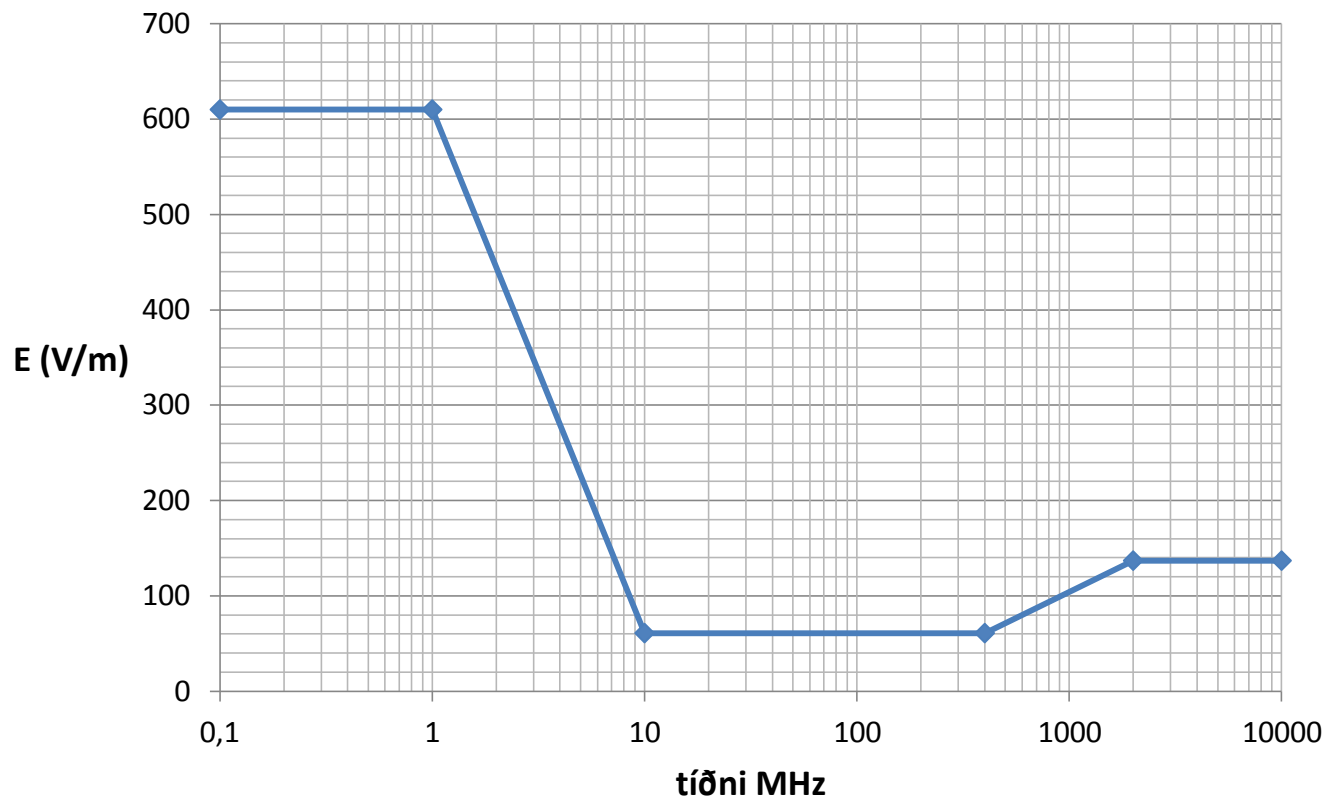
Það er hefð fyrir því að miða styrk bylgju við rafsviðið, enda fylgir segulsviðið með í öfugu hlutfalli við bylgjuviðnámið, 377Ω í tómarúmi (og lofti). Því er forvitnilegt að vita hvort öryggismörk segulsviðs fylgja með sama hætti. Í ljós kemur að svo er frá 10 MHz og upp.

8. mynd
*Hlutfallið milli
öryggismarka
segulsviðs og
rafsviðs*



Þetta þýðir að nóg er að reikna út frá rafsviði. Einnig að styrking segulsviðs vegna speglunar undir láréttu loftneti á lágum tíðnum er síður áhyggjuefni.

9. mynd
Öryggismörk
fyrir fagfólk



Margfeldisstuðull öryggismarka rafsviðs fyrir fagfólk umfram almenning er:

0,1 – 1 MHz	7
10 – 400 MHz	2,18 ≈ 2,2
> 2 GHz	2,25 ≈ 2,2

Hvað bylgjuna varðar má deila með sama stuðli í öryggisfjarlægð.

ICNIRP Calc DL9KCE

IARU mælir með ICNIRP reiknvél DL9KCE. Hún er með öryggismörk fyrir almenning innbyggð og reiknar með sömu aðferðum og raktar hafa verið hér að framan, það er út frá rúmdeyfinu eins og í tómarúmi.

Vélin reiknar ekki með speglun af jörð og fljótt á litið er speglunin ekki með í ávinningstölum þekktra loftneta. Það mætti þó að kanna betur, því óvíst er hvaðan þær upplýsingar koma og hvort þær eru innbyrðis samræmdar.

Fyrir tvíþól (hálfbylgju) er reiknað með fræðilegum ávinningi, ekki reiknað með tapi í loftnetinu sjálfu né spönuðu í umhverfinu. Notandinn getur sett inn aukatap í dB undir “Other Attenuation(s)” eða minnkað “Power” hlutfallslega.

Það fylgir ekki almennt líkan fyrir stangarloftnet, en notandinn getur búið það til og notfært sér ábendingar á bls. 8. Athygli vekur að ávinningur þekktra stangarloftneta er í því ljósi ótrúlega lítill. Þó vitað sé að sending háloftabylgju undir lágu horni sé verulega deyfð undir Brewster-horni á það ekki við um jarðbylgjuna í nágrenni stangar.

Ljóst er að í mörgum tilfellum eru þessar aðferðir ekki nákvæmar en gefa gagnlega vísbendingu. Mæling með réttum tækjum ætti að vera öruggust.