

Sendiloftnet TF4M á 160 m

Sjónarmið við hönnun

Síðari hluti

Fyrirlestur í ÍRA 17. mars 2011

TF3DX

Vilhjálmur Þór Kjartansson, TF3DX

Síðast var komist að eftirfarandi niðurstöðu:

Fyrir lægri böndin, þar sem erfitt er að ná verulegri hæð loftnets í hlutfalli við bylgjulengd, er lóðrétt skautað loftnet heppilegt, ekki síst nálægt sjó.

Öll loftnet sem rísa lóðrétt um $\lambda/8$ eða minna upp frá jörðu hafa nánast sama fræðilega ávinning, ef ekki væri neitt tap.

Útgeislunarmynstur í lóðréttum fleti, hæðargraf, ræðst fyrst og fremst af leiðni jarðar þar sem speglun verður, því lengra frá loftnetinu sem útgeislunarhornið er lægra.

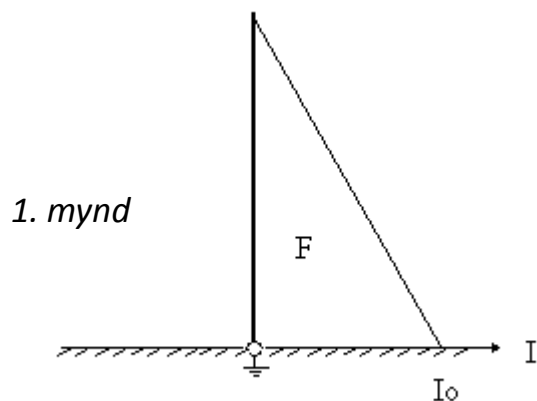
Úrbætur með vírgeislum, jarðnetum og slíku, snúast því fyrst og fremst um að draga úr tapsviðnámi loftnetins, þ.e. bæta nýtni þess.

Nánar um “stutt” lóðrétt loftnet:

Straumur í efri enda sem ekki er tengdur við neitt, og hefur óverulega rýmd til umhverfis vegna þess að leiðarinn er grannur, má heita núll.

Samliðun milli straumsins á leið út að enda og straumsins sem snýr við frá endanum, veldur venjulegu sínuslaga straummynstri (standbylgju) í leiðar-
anum. Fyrir “stutt” loftnet nægir að nálga byrjandi sínus með beinni línu.

Venja er að teikna línurit yfir strauminn í loftneti þannig, að leiðarinn sjálfur er grunnlína línuritsins:



Sviðsstyrkur útgeislaðrar bylgju er alls staðar í réttu hlutfalli við flatarmálið F undir straumferlinum.

Á sama hátt og afl í rafrás fylgir 2. veldi af spennu, fylgir útgeislað afl 2. veldi af sviðsstyrk.

Segjum nú að við þreföldum hæðina, svo dæmi sé tekið, en höfum óbreyttan straum, I_o , í fæðipunkti. Þá þrefaldast flatarmálið og sviðsstyrkur þar með, en útgeislað afl nífaldest.

Allt sem fjarlægir afl úr rafrás og breytir í eitthvað annað birtist sem viðnám í rásinni samkvæmt reglunni sem segir að afl sé straumur í 2. veldi sinnum viðnámið. Þetta skilgreinir geislunarviðnám loftnets:

$$R_{rad} = \frac{P_{rad}}{I_o^2}$$

Í dæminu að ofan nífaldest útgeislað afl við óbreyttan straum. Þetta sýnir að geislunarviðnám “stuttra” loftneta er í réttu hlutfalli við lengd þeirra í 2. veldi.

Nánar tiltekið gildir um “stutta” stöng upp frá alleiðandi jörð:

$$R_{rad} = 395 \Omega \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

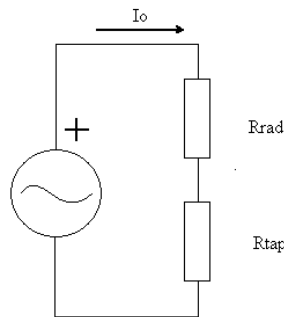
þar sem h er hæð stangarinnar. Talið gilda vel fyrir “venjulega” jörð líka.

Samkvæmt þessu væri geislunarviðnámið í stöng sem er 1/8 úr bylgjulengd að hæð um 6,2 ohm, en er í raun um 11% hærra, eða 6,9 ohm, vegna þess að straumferillinn er ekki alveg bein lína. Slíkt frávik minnkar hratt með lækkandi stöng.

Ef ekkert væri tapsviðnámið, skiptir engu málu hversu lágt geislunarviðnámið væri, það fengi allt aflið. En það er alltaf tapsviðnám í raunverulegu loftneti. Þó uppspretta þess sé víða um loftnetið og í jörðinni undir því, er hægt að reikna hvernig það birtist í fæðipunktinum, eftir sömu reglu og áður sagði um geislunarviðnámið:

$$R_{tap} = \frac{P_{tap}}{I_o^2}$$

Ígildisrásin í fæðipunkti er þá þessi:



2. mynd

Aflið er í réttu hlutfalli við viðnámið, svo það hlutfall aflsins inn á loftnetið sem geislar út er:

$$\frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_{tap}} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{tap}} = n \tag{2}$$

Þetta er nýtnistuðull loftnetsins, oft margfaldaður með 100 til að gefa hann í %.

Topphattur

Það bætir nýtnina að stækka geislunarviðnámið í samanburði við tapsviðnámið. Við höfum séð hvernig það stækkar með 2. veldi af flatarmálinu undir straumferlinum með óbreyttan straum í fæðipunkti.

Ef ekki eru tæk á að stækka F með því að auka hæðina, mætti setja “straumgleypi” við efri endann, svo straumurinn gangi ekki niður í núll þar. **Ef það tækist að hafa jafnmikinn straum upp allan leiðarann, væri búið að tvöfalda flatarmálið og þar með fjórfalda geislunarviðnámið.**

Fullkominn straumgleypir hefur ekkert viðnám og enga útgeislun, hann er eins konar svarthol fyrir straum.

Nokkur fróðleikskorn um kvartbylgju

Það er vel þekkt að notast við kvartbylgjuleiðara sem straumgleypi, og þá vaknar spurningin um hvenær hann sé geislari (radiator) og hvenær geisli (radial)?

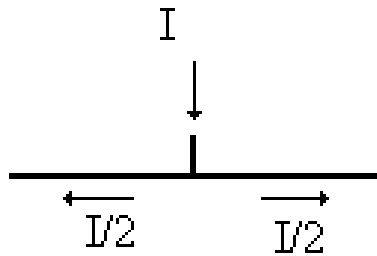
Svarið er þetta:

Ef geislunarviðnám, séð í samtengipunkti, er lítið miðað við geislunarviðnám ætlaða loftnetsins telst hann geisli, annars geislari og sem slíkur hluti loftnetsins.

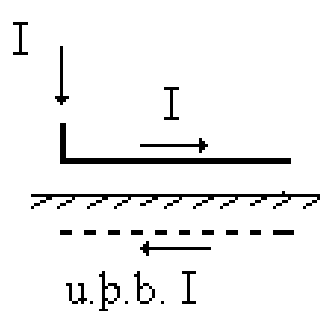
Geislunarviðnám kvartbylgju í tómarúmi er um 20 ohm, ekki 36,5 ohm eins og margir halda. Engu að síður er það hátt fyrir straumgleypi m.v. þær gerðir loftneta sem hér eru til umræðu. Það eru tvær aðferðir til að ráða bót á þessu:

- 1) Setja annan geisla í gagnstæða stefnu. Útgeislun frá þeim upphefst þá að verulegu leyti, svo mjög að geislunarviðnám 2ja kvartbylgjugeisla er komið niður í u.þ.b. 1 ohm. Lækkar enn frekar með fleiri geislum.*
- 2) Hafa geislann, eða geislana, samsíða og nærri leiðandi fleti, venjulega jörð. Í fletinum spanast þá mótsettur straumur sem veldur upphefjandi útgeislun, því betur sem bilið á milli er minna. Geislunarviðnám láréttrar kvartbylgju er komið niður í 1 ohm þegar hæðin er um 4% af bylgjulengd yfir alleiðandi jörð. Frá raunverulegri jörð kúplast þá miklu hærra tapsviðnám, en kúplingin minnkar verulega ef öðrum geisla er bætt við í gagnstæða stefnu.*

1)

3.mynd *Straumgleypar*

2)



Aðferð 1) hentar vel við efri enda loftnets. Ef notuð nærri jörð má segja að komin sé blanda af 1) og 2)

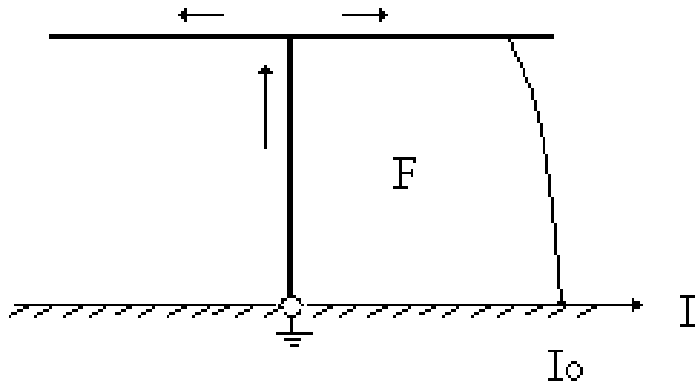
Aðferð 2) er mikið notuð alveg við eða í yfirborði jarðar. Til að ná kúpluðu tapsviðnámi vel niður þarf þá marga geisla.

Í báðum tilfellum er bót að því að fjölga geislum, það lækkar bæði geislunarviðnám og tapsviðnám. Ef hæðin frá jörð er nægileg, getur bótin þó verið óveruleg, sjá síðar.

Ekki er nauðsynlegt að vera með kvartbylgju, styttri geisli verður rýmdarkenndur og lengri spankenndur. Það er hægt að upphefja með því að lengja eða styttra aðra hluta loftnets, eða nota spólu eða þétti til að fá resónans.

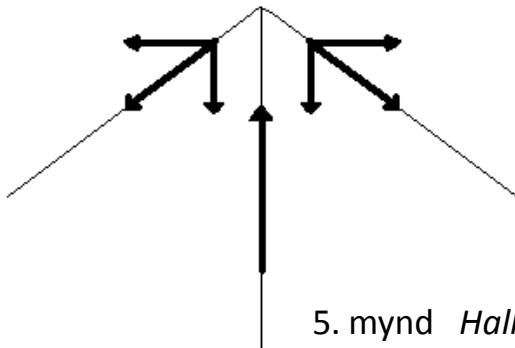
Ekki er heppilegt að nota mikið lengra en kvartbylgju ef geislarnir eru vel á lofti, það eykur útgeislun frá þeim. Ef þeir liggja á eða í jörðinni gegnir öðru máli, sérstalega ef þeir eru margir. Tapið slævir þá resónans og þverviðnám.

T-loftnet



4. mynd T-loftnet

hæð, þarf að láta geislana halla niður á við. Þannig var hjá TF4M, og enn frekar ef strekkja þarf út í jörð frekar en lægri staura. Leysa má strauminn í hallandi geisla upp í tvo liði, láréttan og lóðréttan:



5. mynd Hallandi geislar

T-loftnet notar gagnstæða geisla sem straumgleypi við efri enda lóðréttan geislarans. Lengd þeirra er oft valin svo að straumhámark fáiast í fæðipunktinum neðst. Þá er loftnetið í resónas hjálparlaust eins og kvartbylgja.

Þegar ekki eru tók á 2 upphengjum í fullri

hæð, þarf að láta geislana halla niður á við. Þannig var hjá TF4M, og enn frekar ef strekkja þarf út í jörð frekar en lægri staura. Leysa má strauminn í hallandi geisla

upp í tvo liði, láréttan og lóðréttan:
Láréttu liðirnir eru gagnstæðir eins og vera ber í straumgleypi, en þeir lóðréttu vinna gegn straumnum í lóðréttan geislaranum!!!
Það veldur því, að við vissa lengd geislanna nær geislunarviðnámið hámarki, en dalar svo ef lengt er meira.

Lengdin sem gefur hæst geislunarviðnám fer eftir hæð loftnetsins og hversu bratt geislarnir ganga niður. Þeir mega vera lengri eftir því sem þeir mynda stærra horn við stöngina. Undirritaður kannaði þetta talsvert fyrir nokkrum árum með hermun í EZNEC, og komst að því að gömul ágiskunarregla um að leyfa sídd geisla sem nemur um $1/3$ af hæð stangar er ekki fjarri lagi. Þetta á við um stöng sem er um $1/8$ af bylgjulengd eða styttri.

Hámarkið í geislunarviðnámi er ekki mjög skarpt og frekari reynsla rennir stoðum undir að sídd á bilinu $1/3$ til $1/2$ sé oft viðunandi.

Ef tapsviðnám væri ekkert, eða mjög lágt, skiptir ekki máli fyrir nýtnina þó geislunarviðnámið sé farið að lækka, og þá mætti vel síkka meira gerist þess þörf til að ná resónans.

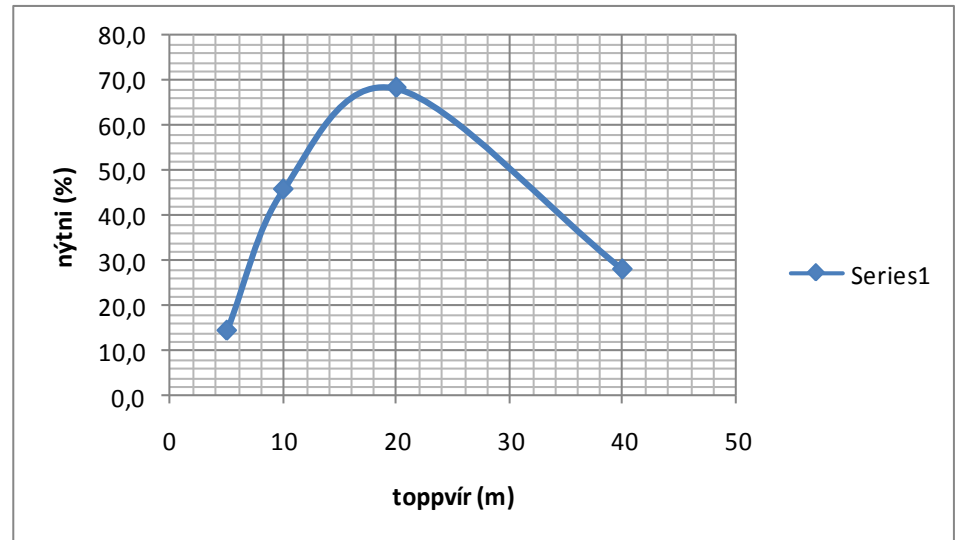
Þegar geislar á lofti eru notaðir sem mótvægi frekar en jarðskaut með föstu viðnámi og engum resónans, er best að hafa lengd geislana nálægt kvartbylgjuresónans. Annars spennist tapsviðnám þeirra upp vegna færslu tengipunkts frá straumhámarki í geislanum.

6. mynd sýnir sameinuð áhrif þessa og hámarkunar geislunarviðnáms þar sem hermt var eftirfarandi á 160 m:

24 m lóðréttur geislari með 2 hallandi toppgeislum.

Mótvægisgeislar eru í 3 m hæð yfir 0,001 S/m jörð. Lengd þeirra stillt svo ávallt sé resónans í kerfinu.

Hæðin er heppileg til að saman falli kvartbylgjugeislar og hámark í geislunarviðnámi.



6. mynd

Geislunarviðnám Kóngrs

Skoðum nú geislunarviðnám Kóngrs. Lóðréttu vírarnir eru rétt um 20 m. Án topphatts reiknast þá geislunarviðnámið með jöfnu (1):

$$R_{rad} = 395\Omega \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad 395\Omega \left(\frac{20}{160} \right)^2 = \frac{395\Omega}{64} = 6,2\Omega$$

Ef hægt væri að halda jöfnum straumi upp alla hæðina með straumgleypi efst myndi þetta fjórfaldast:

$$= 4 \cdot 6,2\Omega \approx 25\Omega$$

Reyndar er ekki hægt að halda alveg föstum straumi yfir 1/8 úr bylgju- lengd í straummynstri, en á móti kemur um 11 % vanmat á svo löngu loftneti með þessari jöfnu.

Samkvæmt mælingum á raunverulega Kóngr er geislunarviðnámið um 13 Ω .

Ástæðan er mótverkunin í hallandi topphatti!

Jörð eða mótvægi

Ef notað er jarðskaut sem er niðurgrafið eða liggjandi á jörðinni, þarf það að vera býsna umfangsmikið til að hafa lágt viðnám miðað við geislunarviðnám sem er um 13 ohm. Að nota 2 geisla vel á lofti út í hliðarstaurana, Hrókana, er einföld lausn sem þvælist hvorki fyrir búsmala né mönnum og kallar ekki á meira jarðrask en felst í að koma staurunum niður hvor eð er.

Af ástæðum sem áður eru nefndar er heppilegt að hafa geislana nærri kvartbylgju að lengd (þeir urðu 36 m) og hæð Kónsins leyfir að það fari vel saman við resónas þegar sídd topphatts er nærri því sem gefur hámark í geislunarviðnámi.

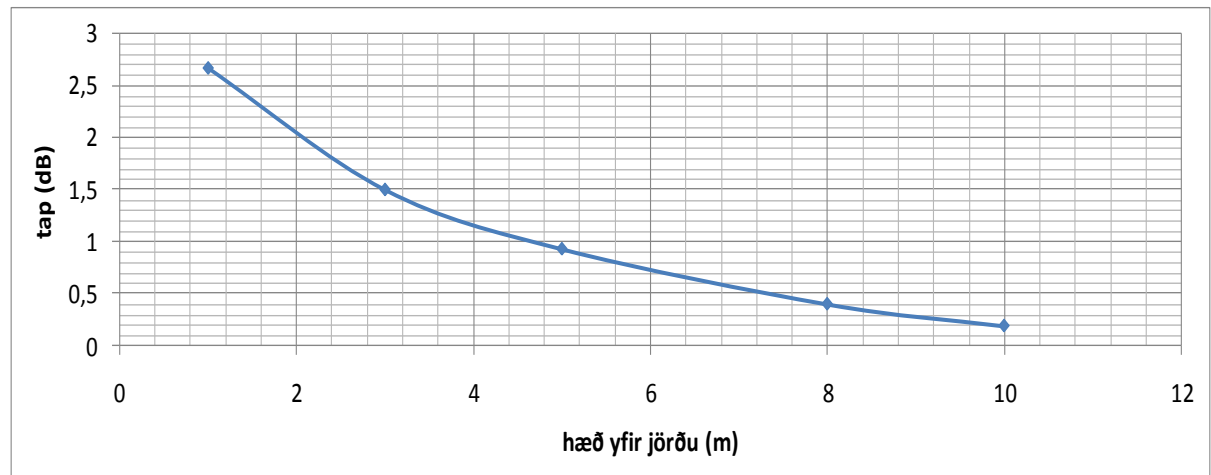
Geislarnir eru samsíða jörðinni. Eins og líka var getið áður kúplast þá umtalsvert tapsviðnám frá raunverulegri jörð, því hærra sem leiðni jarðar er minni. Úr þessu má draga með því að lyfta geislunum hærra, en það styttir að vísu lóðréttu geislarann sem því nemur þegar viðráðanleg hæð er föst.

Nánari athugun sýndi þó fljótt að svona einföld gerð með tvo geisla uppi og aðra tvo niðri gat skilað góðum árangri.

Hermun leiddi í ljós að tapsviðnámið í 2 gagnstæðum kvartbylgjugeislum, í 3 m hæð yfir 0,001 S/m jörð er 6 ohm á 1,85 MHz. Sé geislunum lyft í 10 m hæð er tapsviðnámið innan við 1 ohm og breytist óverulega þó jörðin batni. Þetta var hermt fyrir áður nefnda 24 m stöng með hallandi topphatt og resónans. Tapið sem 0,001 mS jörð gaf þá í samanburði við alleiðandi jörð er sýnt á 7. mynd.

hæð (m)	kúplað tap (dB)
1	2,67
3	1,5
5	0,93
8	0,4
10	0,19

7. mynd



Á grundvelli þessa var ákveðið að fara með hæðina í rúma 4 m. Síðan hefur komið í ljós að reikna má með miklu betri leiðni vegna nálægðar við sjóinn, svo tapið má heita óverulegt með þessari hæð.

Skölun með bylgjulengd

Allar niðurstöður er hægt að skala fyrir aðra bylgjulengd með því að:

1. Skala öll mál, þ.m.t. hæð yfir jörðu, með bylgjulengd
2. Skala jarðleiðni í hlutfalli við tíðni
3. Halda óbreyttum rafsvörunarstuðli

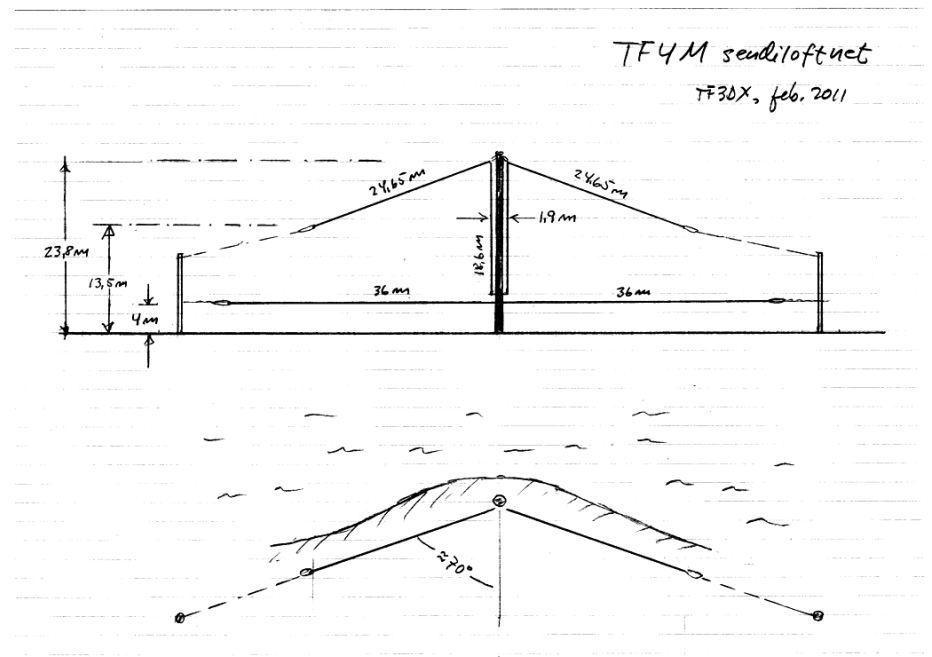
Endanlegi Kóngur

Þegar Kóngurinn með endanlegum málum er hermdur yfir 0,005 S/m jörð fæst:

heildarviðnám	17 Ω
þar af frá 4 mm Cu vír	0,75 Ω
geislunarviðnám	13 Ω
nýtni	76 %
tap	1,2 dB

Mælingar á Kónginum gáfu hins vegar rúm 14 ohm í heild. Ef við giskum á óvissubilið 14 -16 ohm, gefur það:

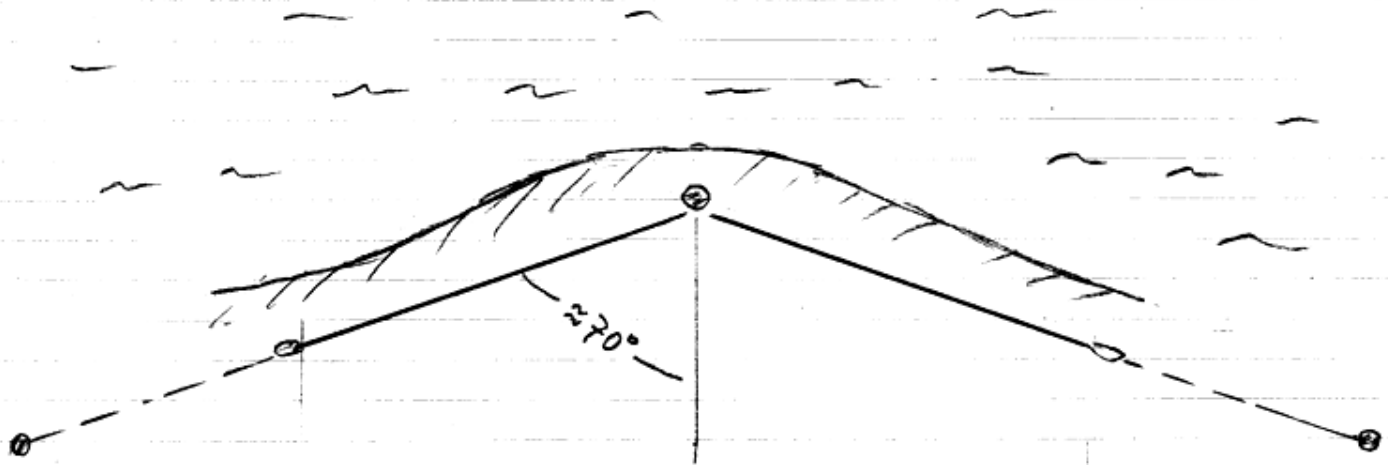
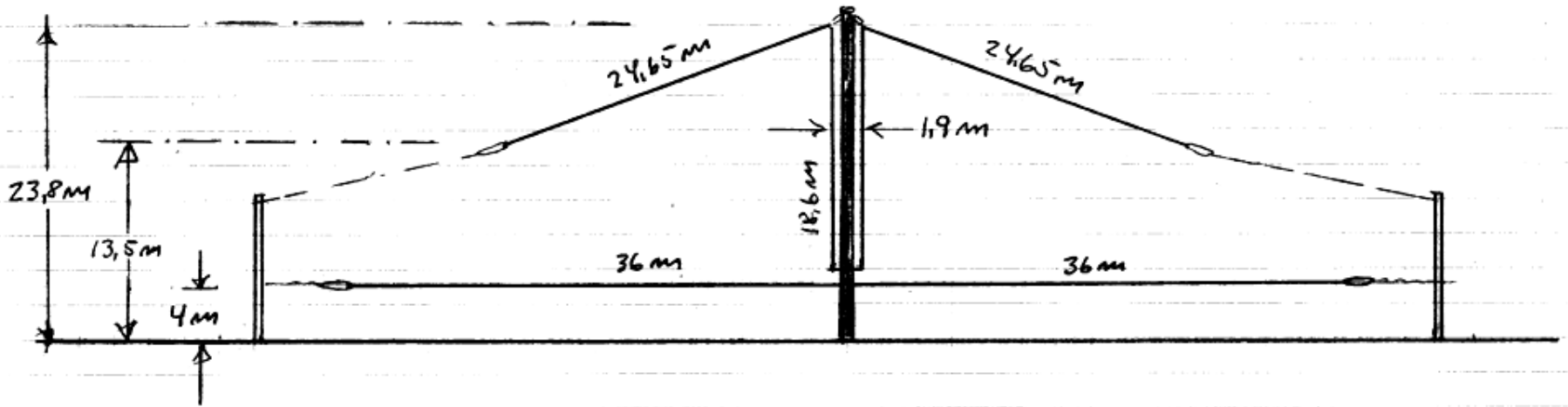
nýtni	81 – 93 %
tap	0,3 – 0,9 dB



8. mynd

TF4M sendiloftnet

TF3DX, feb. 2011





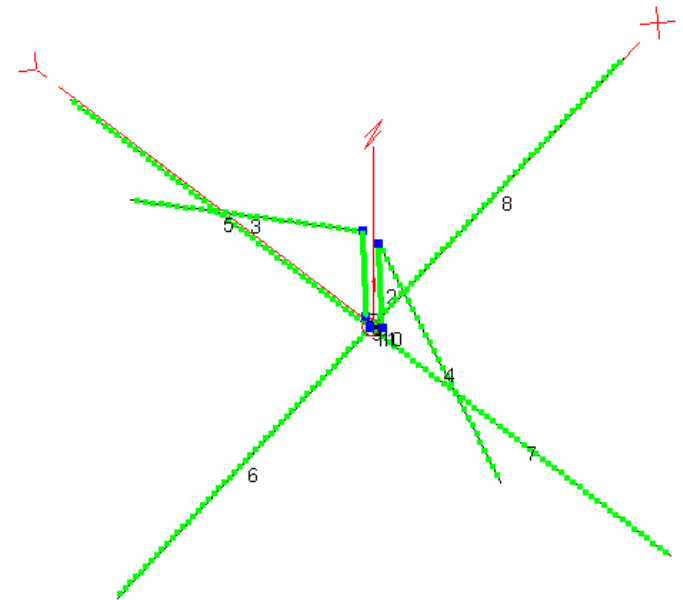
Vilhjálmur Þór Kjartansson, TF3DX

Viðauki: **Eru tveir mótvægisgeislar virkilega nóg?**

Til að kanna þetta nánar var endanlega gerð Kóningsins hermd yfir mismunandi fjölda geisla. Fyrsti geislinn er þvert á samhverfulínuna, x-ásinn, ekki beint undir topphatti.

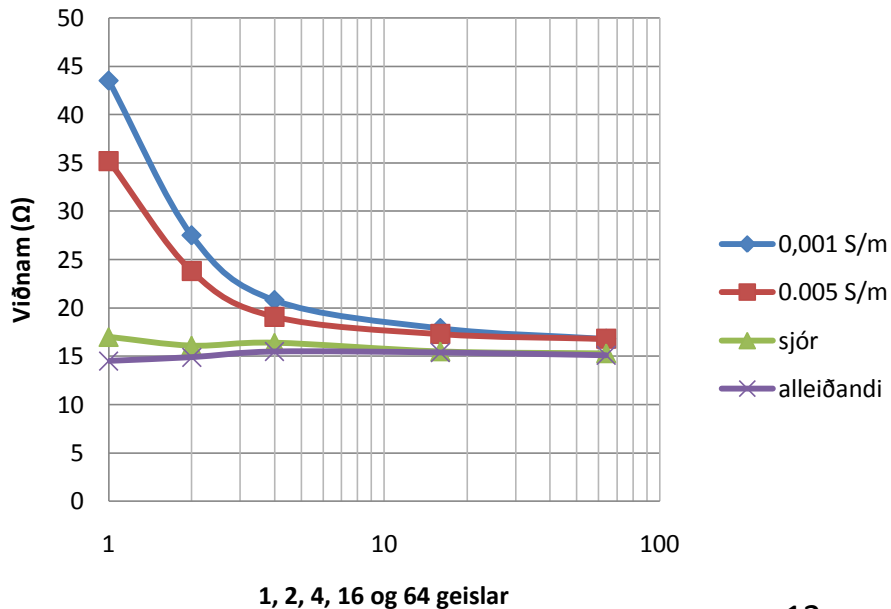
Aðrir geislar koma samhverft út frá honum. Með 2 geislum fæst heldur lægra viðnám ef þeir eru beint undir hatti, en ekki svo að skipti máli, og enn síður þegar geislum fjölgar.

Mismunandi hæð er fengin með því að hækka eða lækka loftnetið allt, sem ekki væri gert í reynd, en veldur lítilli skekkju. Með þessu móti er hægt að sjá áhrifin af hæð geislanna, óháð breytingu á geislunarviðnámi lóðrétta hlutans. Þau áhrif má enda reikna nokkuð nákvæmlega, þegar efstu hæð væri haldið fastri.

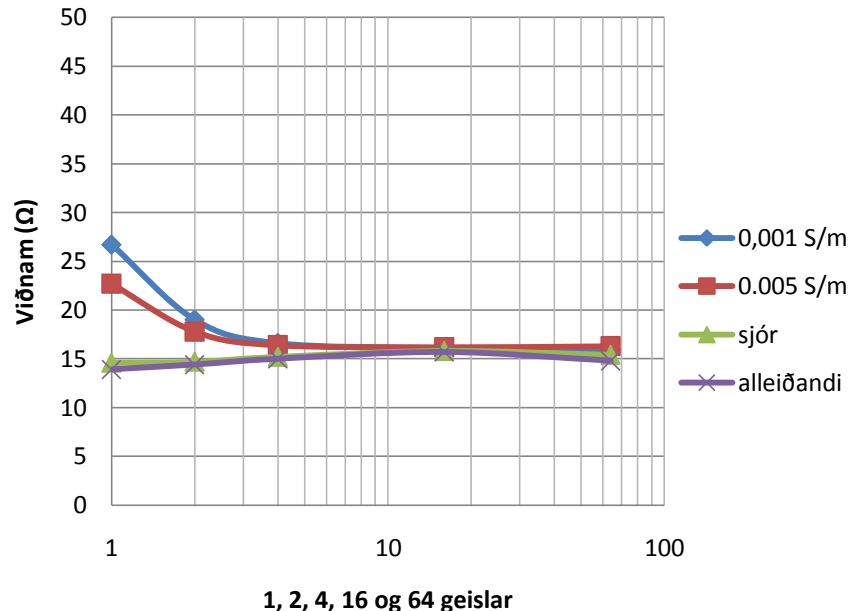


11. mynd

Kóngur, geislar mótvægis í 1 m hæð



Kóngur, geislar mótvægis í 4,25 m hæð



12. mynd

Það er allgóð nálgun að reikna með því geislunarviðnámið haldist óbreytt þó fjölda geisla sé breytt, og hæð innan þeirra marka sem hér er gert.

Útgeislað afl er: $P_{rad} = I^2 R_{rad}$

þar sem $I^2 = \frac{P}{R_{alls}}$

Það gefur útgeislað afl í öfugu hlutfalli við heildarviðnámið. Munurinn

í dB þegar viðnámið breytist úr R_1 í R_2 er þá: $10 \cdot \log \frac{R_1}{R_2}$

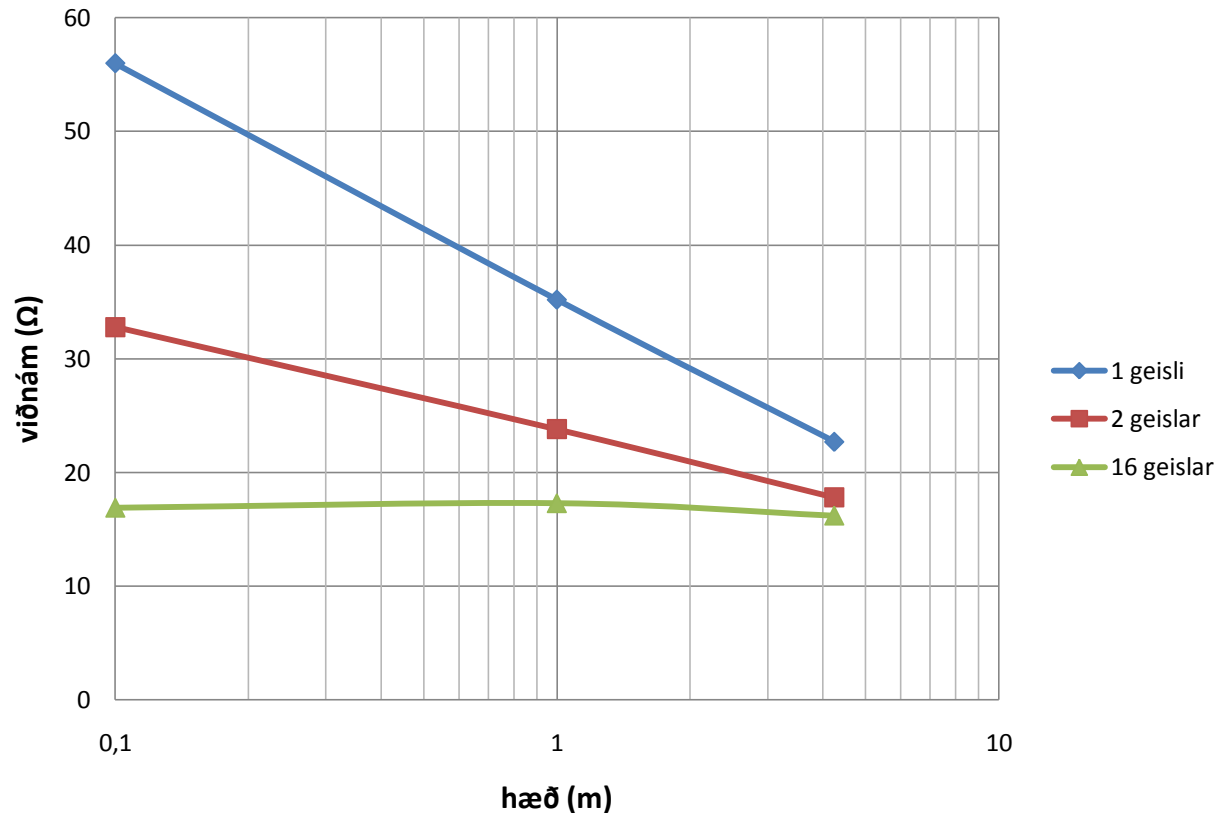
Fyrir 4,25 m hæð yfir 0,005 S/m gefur það:

Fjöldi	Ralls (Ω)	dB	
1	22,7	-1,06	Sem sýnir að óverulegur ávinningur er af því að fjölga geislum úr 2
2	17,8	0,00	
4	16,4	0,36	Mælingar á loftnetinu benda til að raunveruleg jarðleiðni "undir" því sem sé snögg um meiri en 0,005 S/m, svo munur er enn minni
16	16,2	0,41	
64	16,3	0,38	

Sé leiðnin hins vegar 0,001 S/m og og geislar þar að auki lækkaðir í 1 m hæð, fæst:

Fjöldi	Ralls (Ω)	dB
1	43,5	-1,99
2	27,5	0,00
4	20,8	1,21
16	17,9	1,86
64	16,8	2,14

Kóngur, viðnám sem fall af hæð yfir 0,005 S/m jörð



13. mynd

Athyglisvert hvað línurnar eru beinar þegar hæðin er á logarípmiskum kvarða.

Skurðpunktur þeirra við framlengingu til hægri gefur til kynna í hvaða hæð kúplað tapsviðnám til jarðgeisla er orðið óverulegt í samanburði við annað viðnám í loftnetinu, að mestu geislunarviðnám vonandi. Þá dugir hér að hafa tvo geisla í 5 m hæð, eða einn geisla í 8 m hæð. Einum geisla fylgir þó talsverð lárétt skautuð útgeislun undir háu horni.