

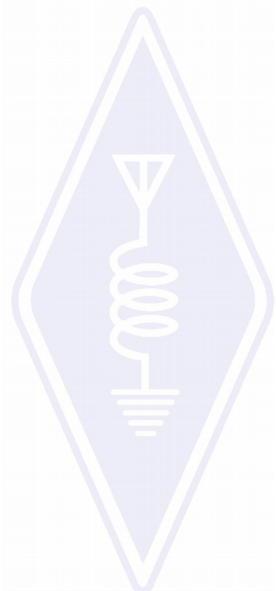
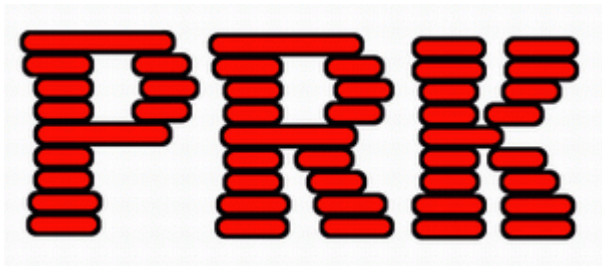
Radioamatöörikurssi 2016

Polyteknikkojen Radiokerho

Luento 5: Siirtojohdot, antennit ja eteneminen

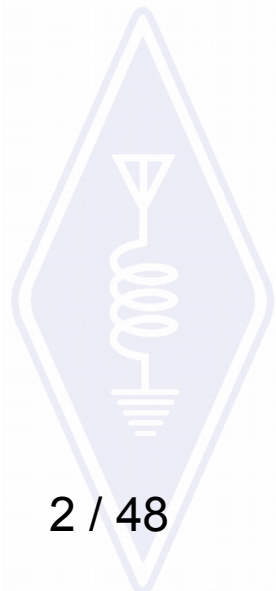
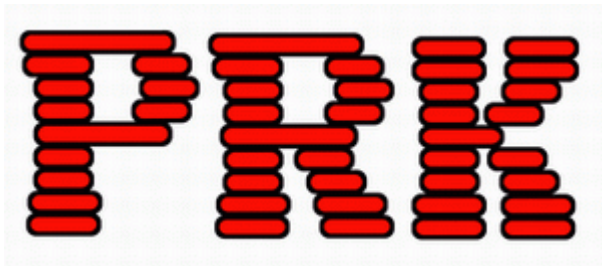
16.11.2016

Otto, OH2EMQ, oh2emq@sral.fi

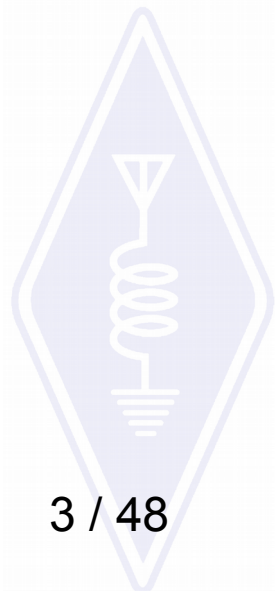
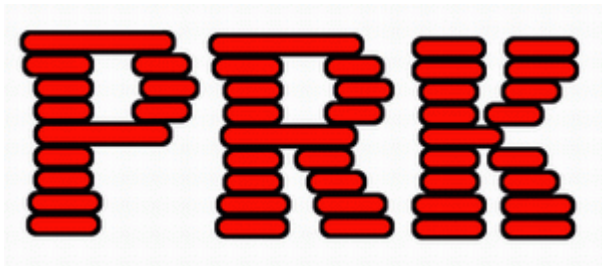


Illan aiheet

1. Siirtojohdot
2. Antennit
3. Radioaaltojen eteneminen



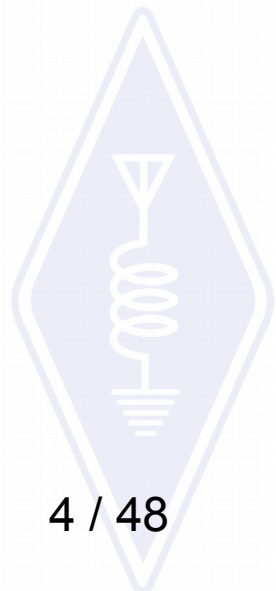
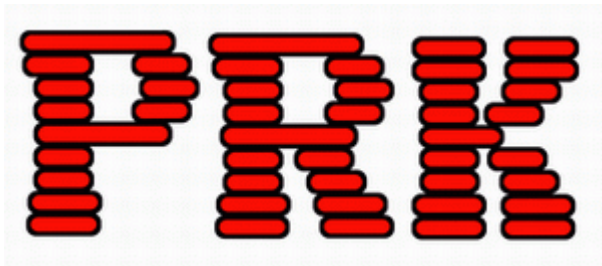
1. Siirtojohdot



Taustaa siirtojohtoille

Kenttäteorian dimensiot

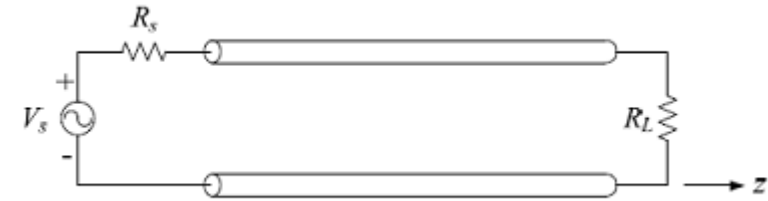
- 0D → keskitetty komponentti
 - Muutokset tapahtuvat ”pisteessä”
- 1D → siirtojohto
 - Muutokset tapahtuvat pituuden funktiona
- 2D → pinta
- 3D → väliaine, avaruus



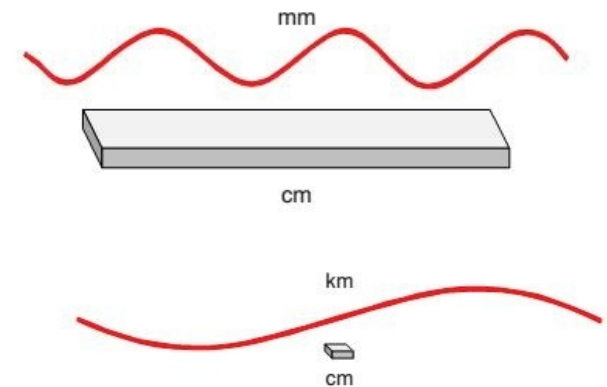
Siirtojohto

- Mikä on siirtojohto?
 - Siirtää tehoa lähteestä kuormaan
 - Käytännössä kaapeli tai mikroliuskaajohto
- Miksi siirtojohto?
 - Aallonpituuden suhde komponentin kokoon

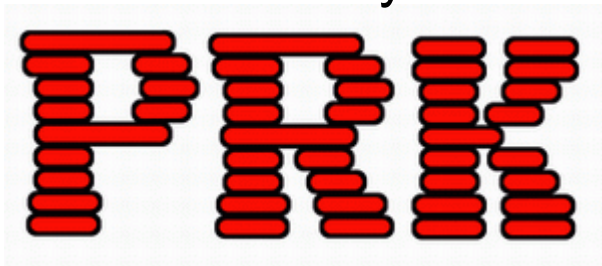
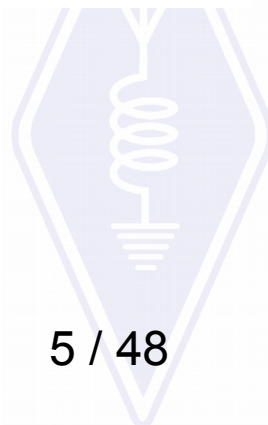
→ Jännite ja virta eivät samat komponentin molemmissa päissä
- Virran ja jännitteen suhde nimeltään ominaisimpedanssi
 - Ei liity häviöihin



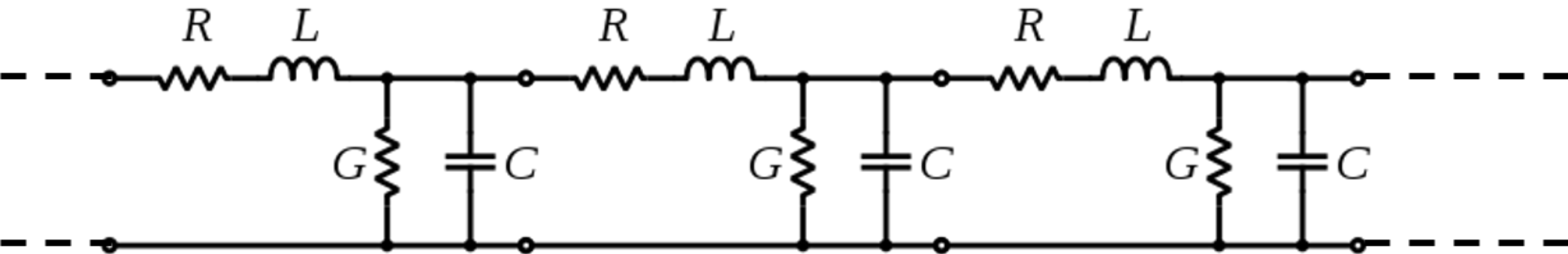
<http://examcrazy.com/Engineering/Electronics-Communication/Telegrapher Equations For Transmission Lines.asp>



<https://www.quora.com/Why-do-we-use-distributed-elements-over-lumped-elements-in-microwave-filters>

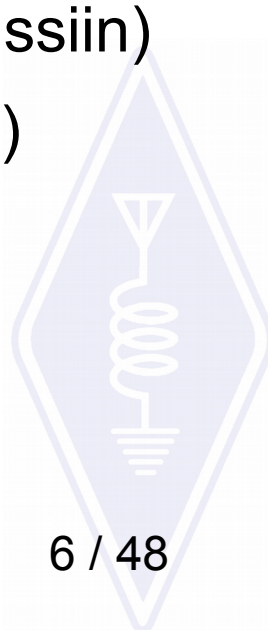
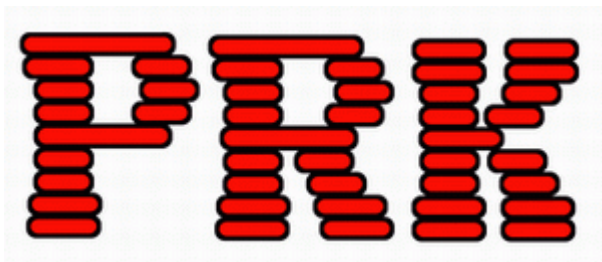


Siirtojohdon sijaiskytkentä

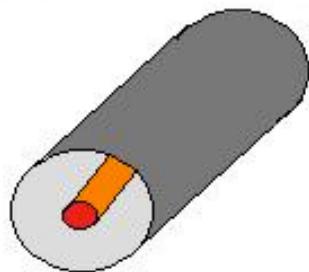


<http://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-the-transmission-line/>

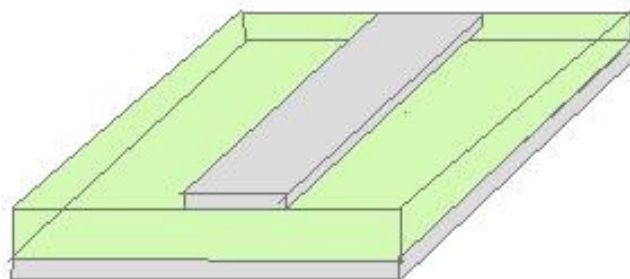
- L ja C johdon rakenteesta riippuvia
- R johteen häviö (virtaa kuluu epäideaalisen johteen resistanssiin)
- G eristeen häviö (virtaa "vuotaa" epäideaalisen eristeen läpi)
- Häviöt kasvavat taajuuden funktiona



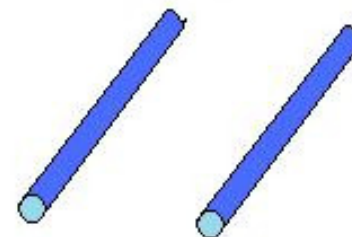
Esimerkkejä siirtojohdoista



Coaxial Cable



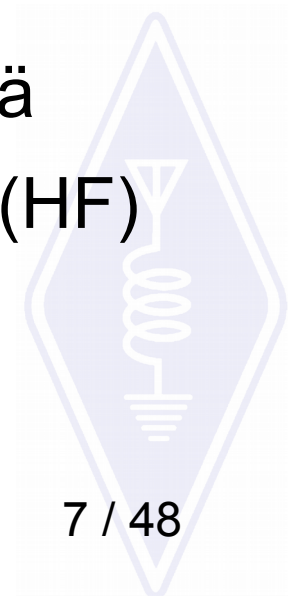
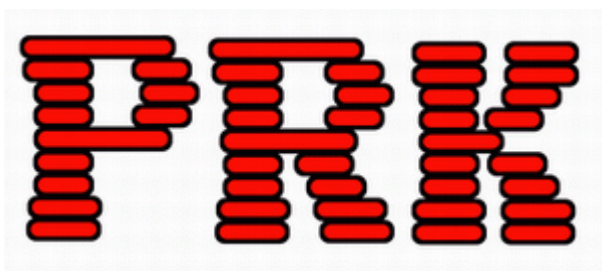
Microstrip Line



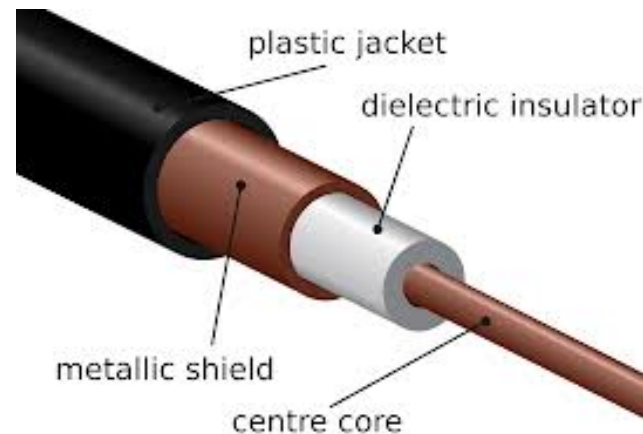
Two-Wire Line

<http://www.antenna-theory.com/tutorial/txline/transmissionline.php#txline>

- Koaksiaalikaapeli yleisintä laitteiden välisenä ja sisäisenä kaapelina
- Mikroliuskoja yleensä vain laitteiden sisällä piirilevyllä
- Avojohtoa/parikaapelia lähinnä matalilla taajuuksilla (HF)



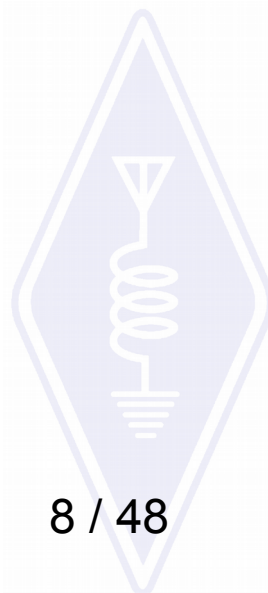
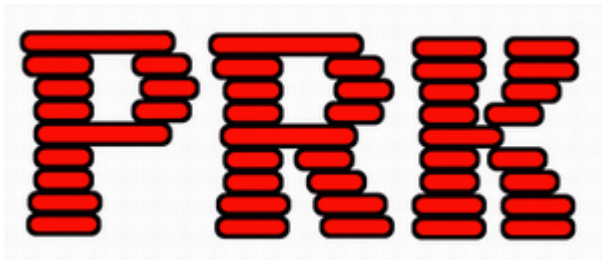
Koaksiaalikaapeli



https://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial_cable

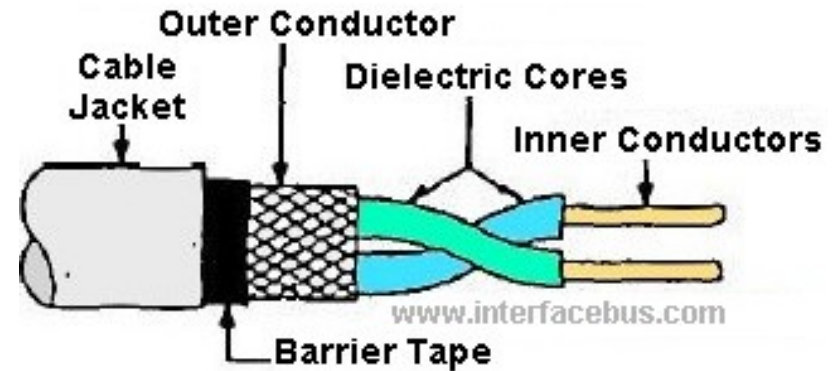
- Ominaisimpedanssi tavallisesti 50Ω tai 75Ω
- Kentät kokonaan kaapelin sisällä
- Eristemateriaali vaikuttaa ominaisuuksiin
- Balansoimaton

$$Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}}{2\pi} \ln\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)$$

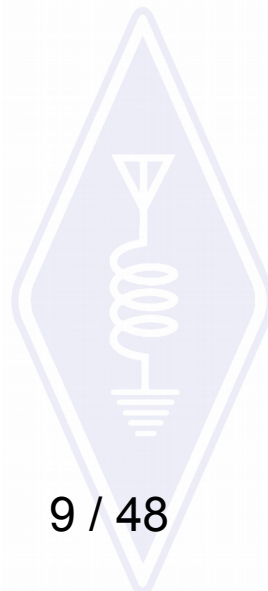
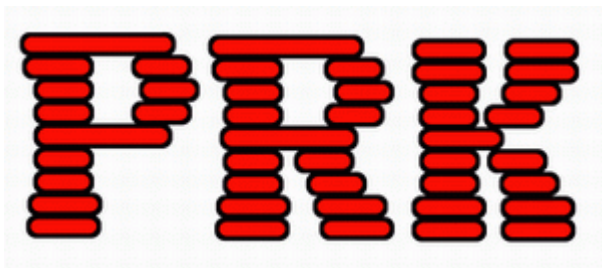


Parikaapeli

- Usein avoin rakenne, kentät eivät rajattuja
→ Esim. läheiset metallirakenteet vaikuttavat kenttiin
- Tyypillisiä impedansseja esim. 150Ω , 300Ω , 450Ω ja 600Ω
- Balansoitu



<http://www.interfacebus.com/Glossary-of-Terms-twisted-pair-cable.html>

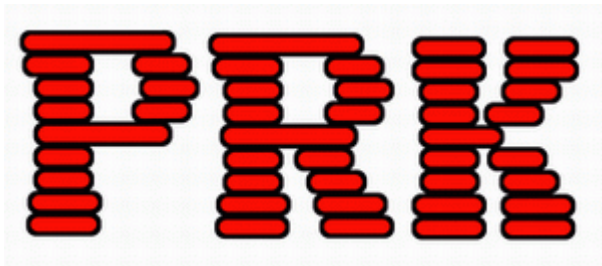


Aaltoputki

- Metalliputki, jonka sisällä kentät värähtelevät
- Sivun pituus $> \lambda/2$ \rightarrow vain korkeilla taajuuksilla
- Pienihäviöinen
- Kömpelö

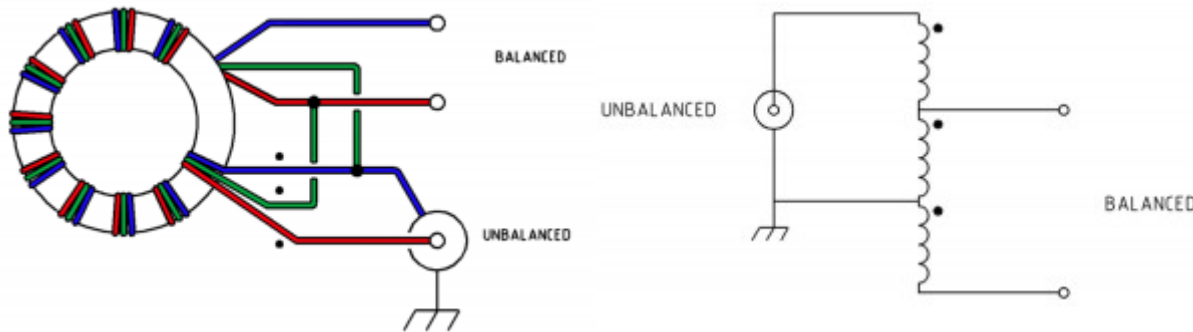


<http://www.atmmicrowave.com/waveguide/adapter/>



Balansoidusta balansoimattomaksi

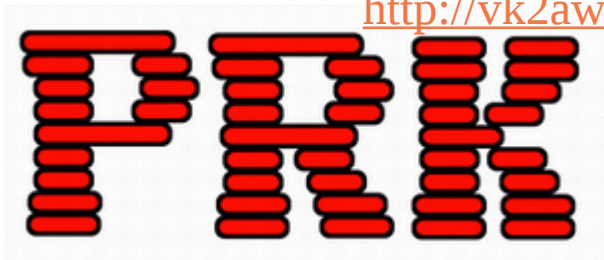
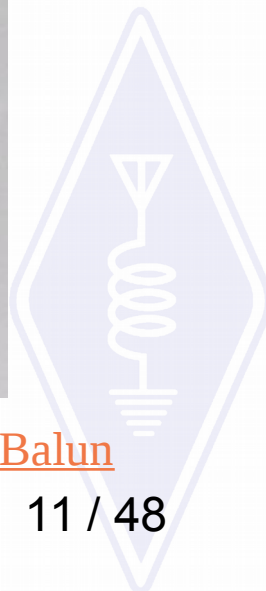
- Balun = **B**alanced to **U**nbalanced
 - Balansoimattoman syöttöjohdon ja balansoidun antennin/syöttöjohdon välissä
- Estää vaippavirrat koaksiaalikaapelin pinnalla
- Toimii muuntajana. Usein 1:1, 1:4 tai 1:9 suhde.



<http://vk2awx.net/category/projects>



<https://en.wikipedia.org/wiki/Balun>



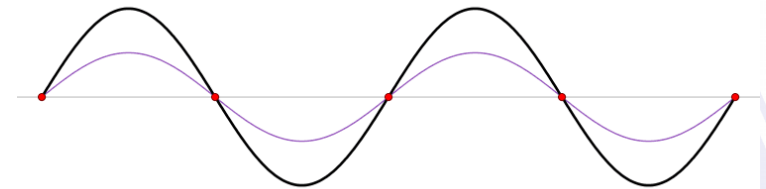
Sovitus

- Ominaisimpedanssin muuttuessa tehoa heijastuu takaisinpäin
- Kuvataan heijastuskeroimella ρ tai seisovan aallon suhteella SAS (standing wave ratio, SWR)
- ρ heijastunut jännite suhteessa sisääntulevaan
- SWR suurimman ja pienimmän heijastuneen jännitteen suhde siirtojohdossa

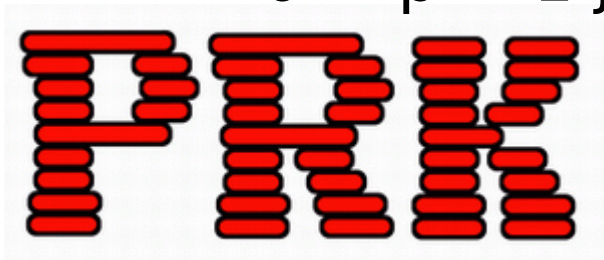
$$\rho = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

$$0 < \rho < 1 \text{ ja } 1 < SWR < \infty$$



https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_wave_ratio



Sovitus vaimentimen/kaapelin läpi nähtynä

- Tentissä kysytään ”SAS antennilla on 2, väliin kytketään vaimennukseltaan 1 dB kaapeli, mitä on SAS kaapelin toisella puolella?”

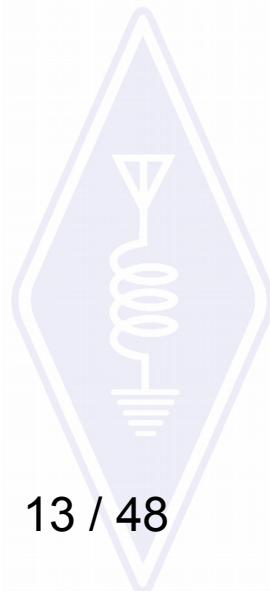
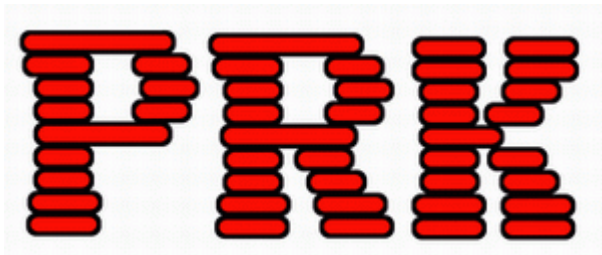
$$SAS_{ant} = 2 \rightarrow \rho = \frac{SAS_{ant} - 1}{SAS_{ant} + 1} \quad (1)$$

$$-1dB = -10dB + 3dB + 3dB + 3dB \rightarrow 0,8 \quad (2)$$

$$V_{refl} = \frac{1}{3} * 0,8 * 0,8V_{in} = 0,21V_{in} \quad (3)$$

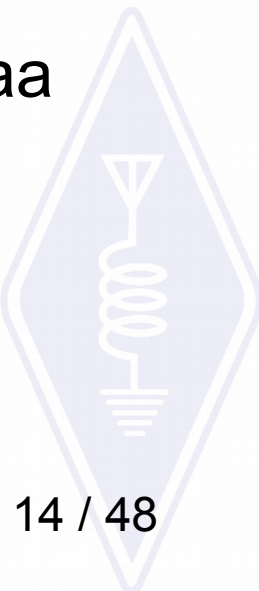
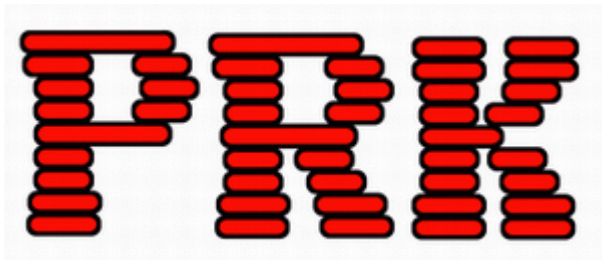
$$SAS_{in} = \frac{V_{in} + V_{refl}}{V_{in} - V_{refl}} = \frac{1 + 0,21}{1 - 0,21} = 1,53 \quad (4)$$

- Vaimennin välissä ”parantaa” sovitusta → resistiivinen sovitus



Antennin sovitus

- Resonanssitaajuudella ρ ja SWR minimissä
- Kun $SWR < 2$, antenni hyvin sovitettu, toimii lähettämiseen ja vastaanottamiseen
- Kun $SWR < 4$, antenni toimii vastaanottamiseen
- Antennin virityslaitteella sovitetaan epäsovitettu kuorma lähettimeen
 - Lähettäessä: suojaa lähettimen heijastuksilta, parantaa hyötysuhdetta
 - Vastaanotossa: parantaa herkkyyttä



Liittimiä

- Radioamatöörikäytössä yleisiä liittimiä esim:



- UHF

(Lukittava banaani)



- BNC

Bayonett Neill-Concelman



- N

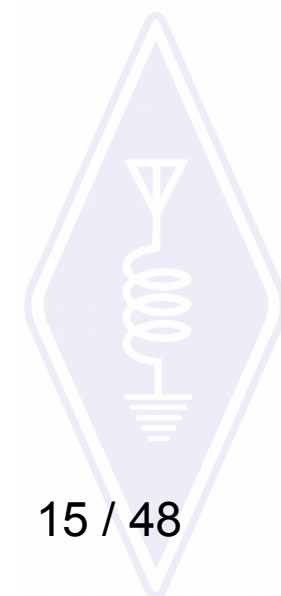
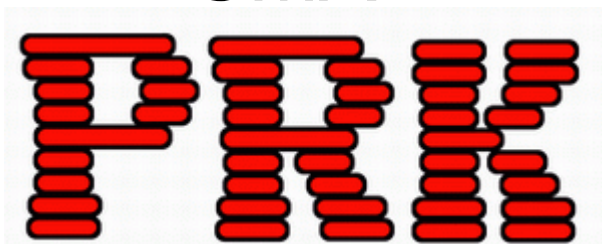
Neill



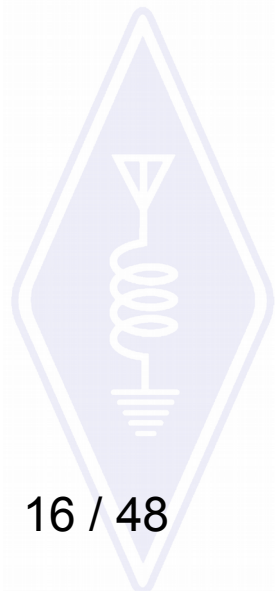
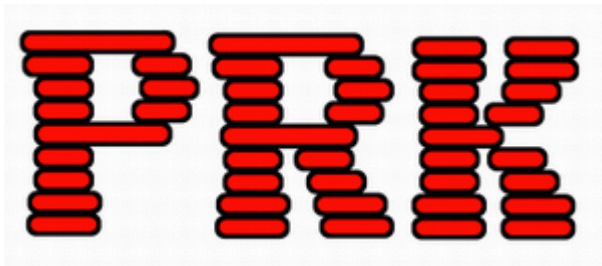
- SMA



- 7/16

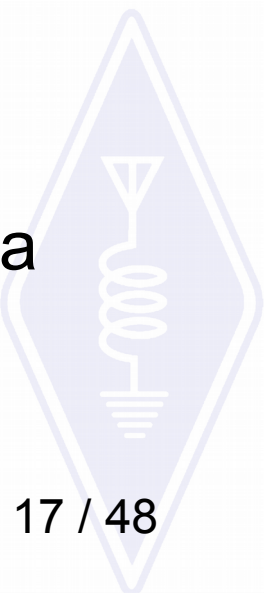
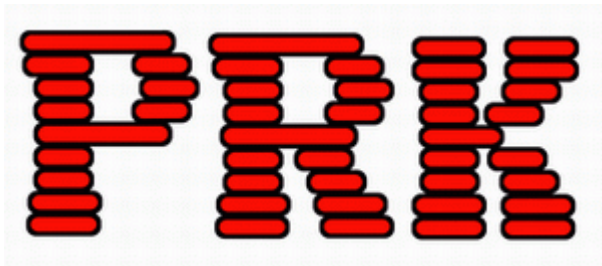


2. Antennit



Antenni

- Muuttaa siirtojohdosta ohjatun aallon vapaan tilan aalloiksi
- Ominaisuudet taajuusriippuvia
 - Vahvistus, suuntaavuus, polarisaatio, impedanssi, sovitus...
 - Antennin sopivalle toiminnalle rajallinen kaistanleveys
- Resiprookkinen
 - Ominaisuudet samat lähettäessä ja vastaanottaessa



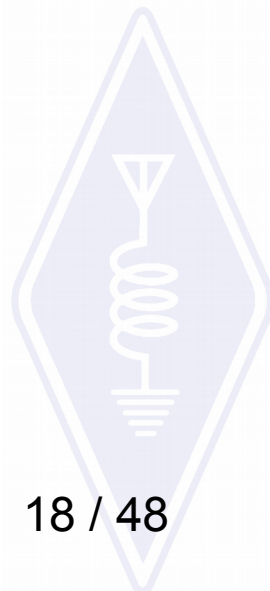
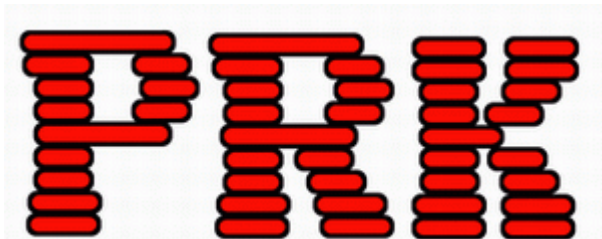
Lähikenttä vs. kaukokenttä

- Johteet antennin vieressä (lähikentässä) vaikuttavat antennin toimintaan
 - Yagin elementit kytkeytyvät syöttöelementtiin
 - HF-langan korkeus määrittää suuntakuvion
- Kaukokentälle monta määritelmää. Varmasti kaukokentässä, kun kaikki ehdot täyttyvät
 - $r =$ etäisyys, $D =$ pisin elementti,
 $\lambda =$ aallonpituus

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$

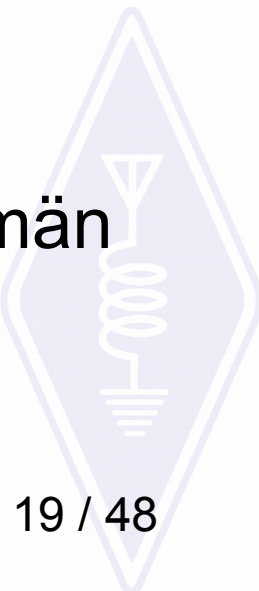
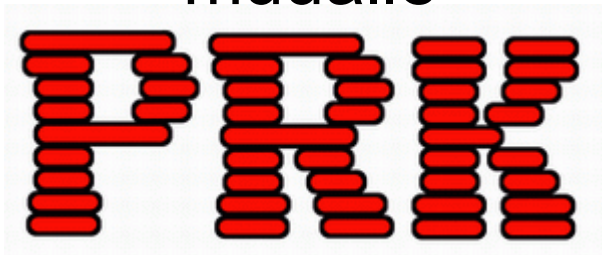
$$r > 5D$$

$$r > 1,6\lambda$$

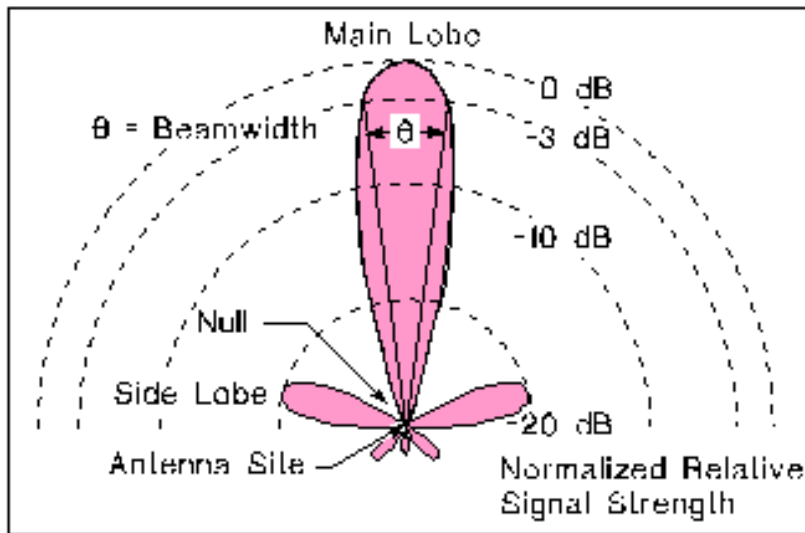


Vahvistus = Gain

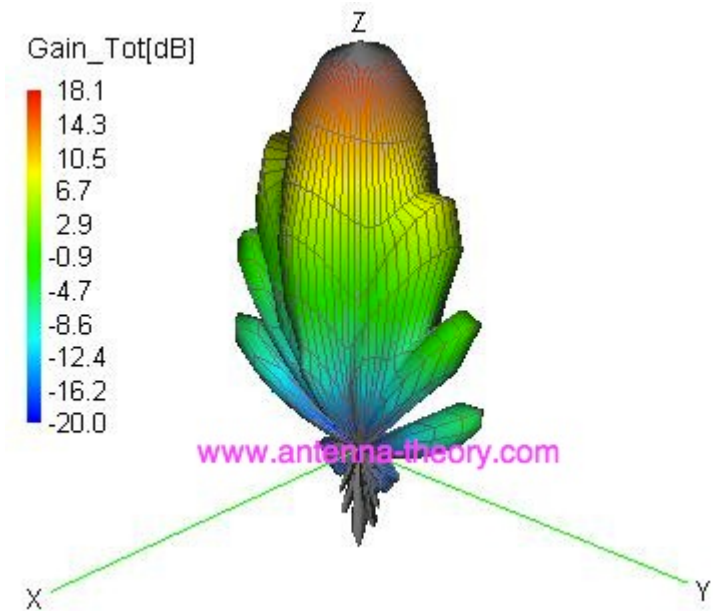
- Antenni on passiivinen komponentti → ei lisää tehoa
- Gain kuvaa suuntaavuutta verrattuna joka suuntaan tasaisesti säteilevään (isotrooppiseen) anteeniin → yksikkö dBi
 - EIRP säteilyteho, vertailukohtana isotrooppinen säteilijä
 - ERP säteilyteho, vertailukohtana dipoli 0 dBd = 2,15dBi
 - Gain voi olla myös alle 0dBi → häviöllinen
 - Gain = suuntaavuus - antennin häviöt $G_{ant} = D\eta_{rad}$
- Säteilysuunnasta ja taajuudesta riippuva
- Iso gain → paljon tehoa yhteen suuntaan ja vähemmän muualle



Suuntakuvio

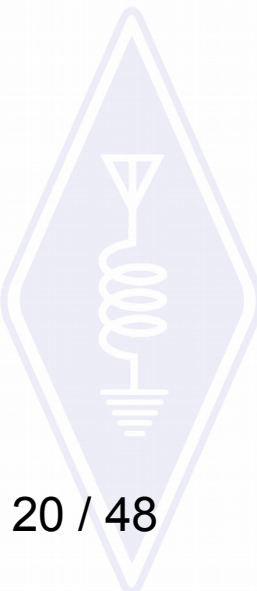
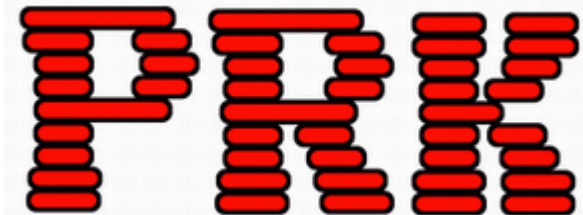


<http://trizuckr.com/radiation-pattern-of-antenna-ppt/>



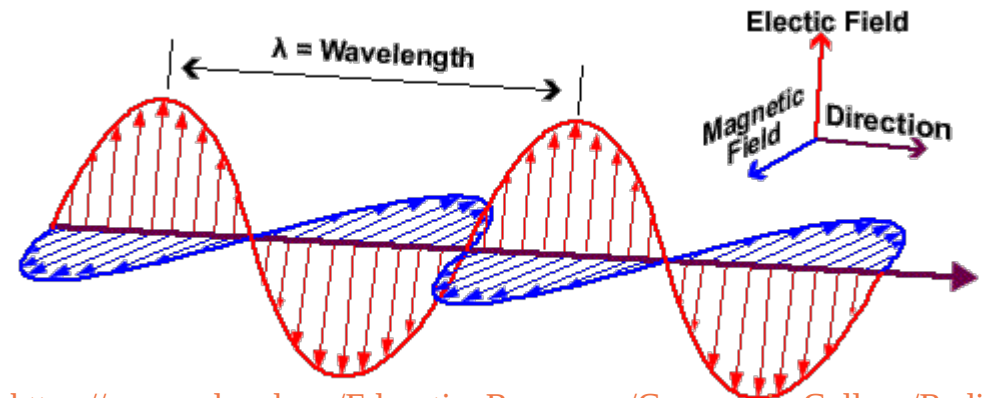
<http://www.antenna-theory.com/antennas/aperture/horn3.php>

- Keilanleveys = kulma -3dB pisteiden välillä
- Suuntaavilla antenneilla yleensä pääkeilan lisäksi myös sivukeiloja ja minimejä
- Etu-taka-suhde (F/B ratio)

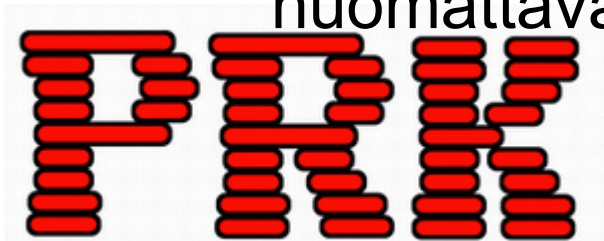
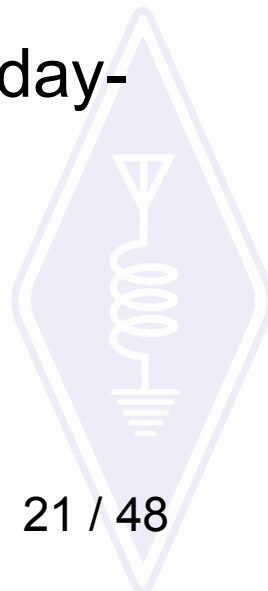


Polarisaatio

- Sähkökentän suunta (kaukana antennista) määrittää polarisaation
- Lineaarinen/ympyrä
 - Liikkuvilla asemilla ja toistinasemilla yleensä lineaarinen pystypolarisaatio
 - Kiinteillä asemilla usein vaakapolarisaatio
 - Satelliiteilla yleensä ympyrä (satelliitin asento tai faraday-kiertymä eivät vaikuta)
 - Väärän polarisaation käyttö heikentää vastaanottoa huomattavasti

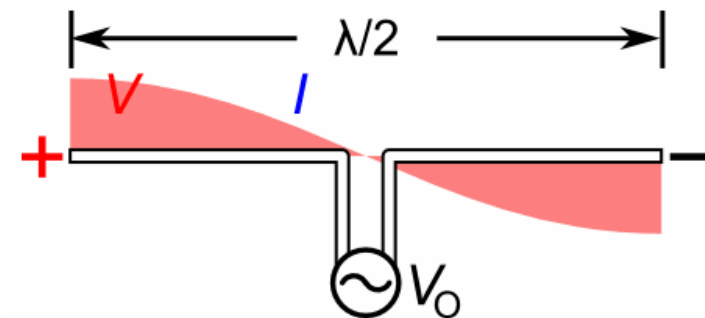


<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/theory/nature.htm>

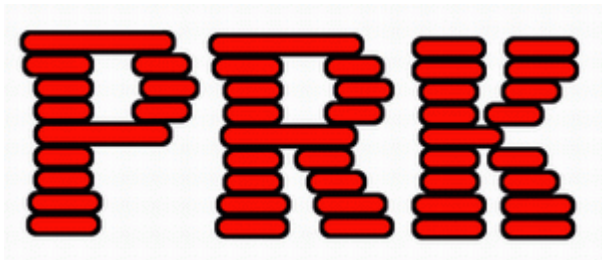


Dipoli

- Puolen aallon dipoli on yksinkertaisin antenni
 - Skaalautuu ”helposti” kaikille taajuuksille
 - Resonanssissa myös parittomilla harmoonisilla → $3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$ Suuntakuvio kuitenkin muuttuu
 - Kaistanleveys n. 10% keskitaajuudesta
 - Impedanssi $\sim 73\Omega$ → voi ajaa suoraan 50Ω :sta
 - ympärisäteilevä
- Balansoitu → tarvitsee balunin koaksiaalikaapelilla syötettäessä
- Variantteja mm. taittodipoli, OCF-dipoli, häkkidipoli

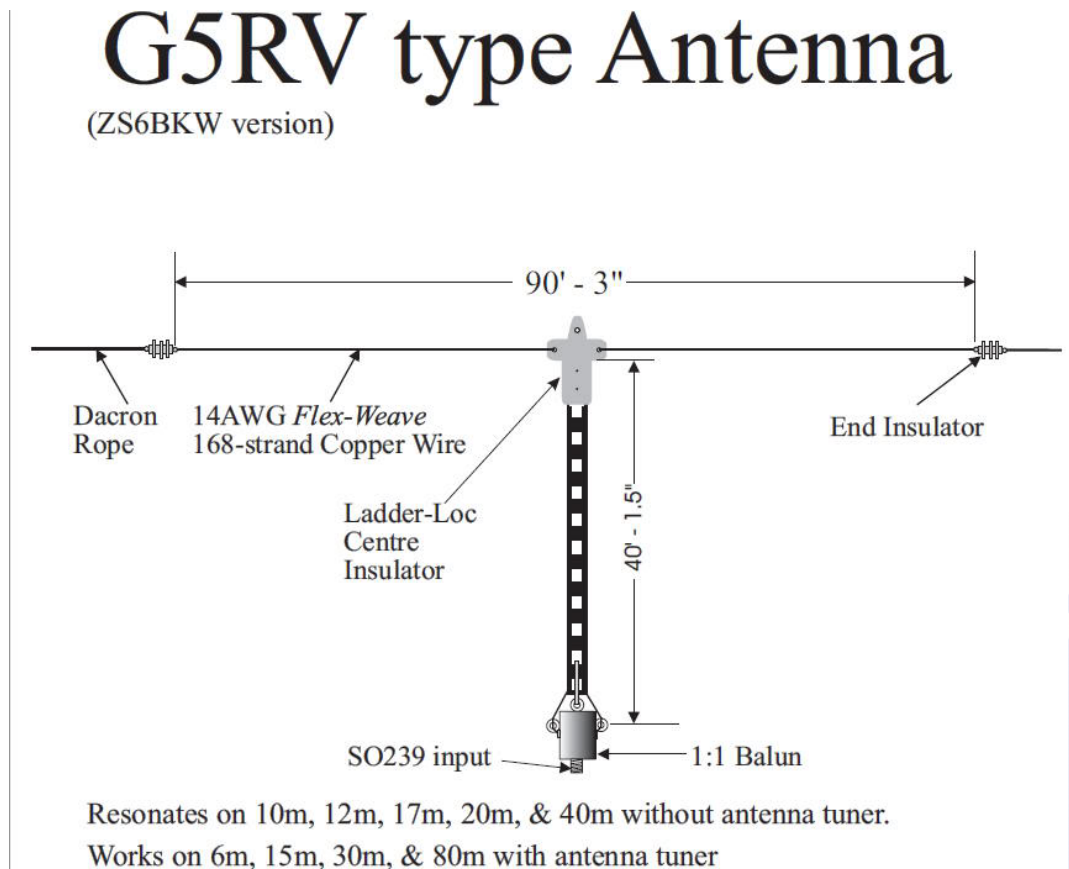


https://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna

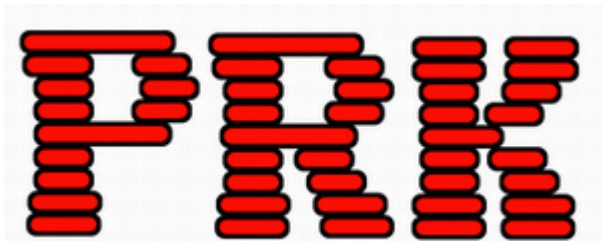


Lanka-antennit

- Yleensä laajakaistaisia ja vaativat sovituksen
- Ok yleisantenneja
- Pitkälanka-antenni
 - suuntaava
- G5RV
 - Avolinjalla sovitettu 50Ω:iin



<https://www.ar15.com/archive/topic.html?b=10&f=22&t=678615>

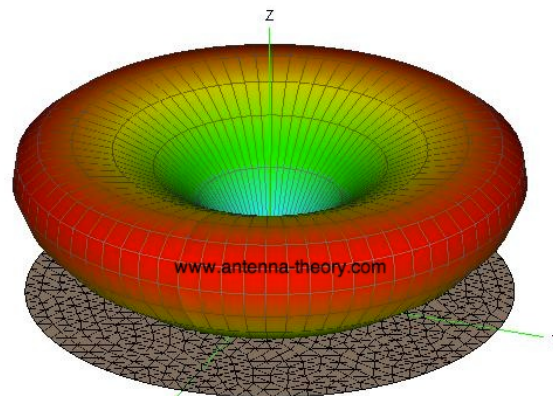


Monopoli – Ground Plane (GP)

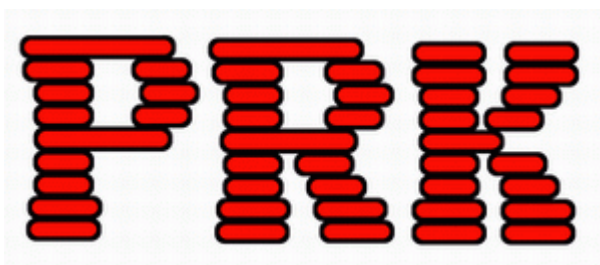
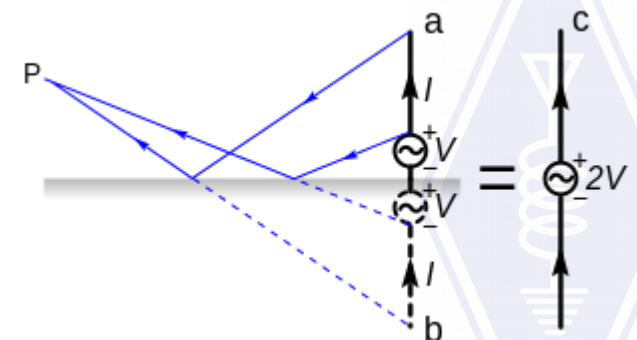
- Dipolin toinen viiksi korvataan maatasolla
- Balansoimaton → voidaan syöttää suoraan koaksiaalikaapelilla
- Yleensä pituudeltaan $\lambda/4$ tai joskus $5\lambda/8$
- Autoantennit



https://en.wikipedia.org/wiki/Monopole_antenna

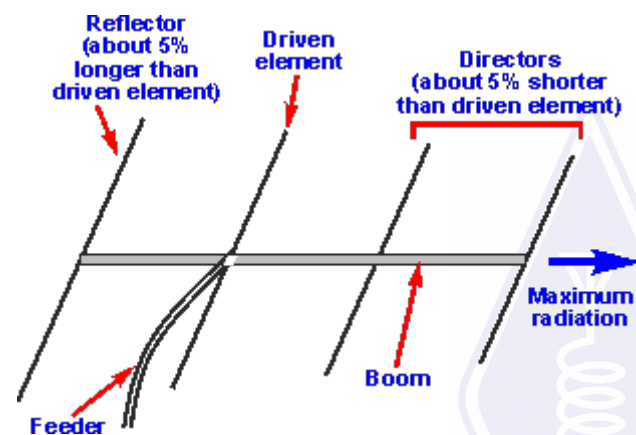


<http://www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php>

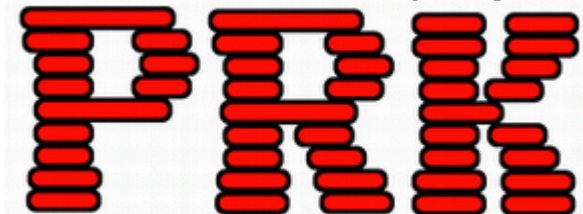


Yagi-Uda - tuttavallisemmin Yagi

- Yleinen suunta-antenni
- Yleensä dipoli säteilijänä, yksi heijastin sekä suuntaajia
- Vahvistukseen ja suuntaavuuteen vaikuttavat sekä elementtien määrä että puomin pituus
- Vahvistus yleensä 4...20+ dBi
- Usein yageista antenniryhmiä
 - Tuplaamalla antennit +3 dB
 - Ristiyagilla ympyräpolarisaatio



<http://www.radio-electronics.com/info/antennas/yagi/yagi.php>



Yageja käytännössä



FROM ARCTIC CIRCLE
NORTHERN FINLAND

RADIO X ARCALA

OH8X

<http://www.k5dhy.net/Ham/QSL/oh8x.html>

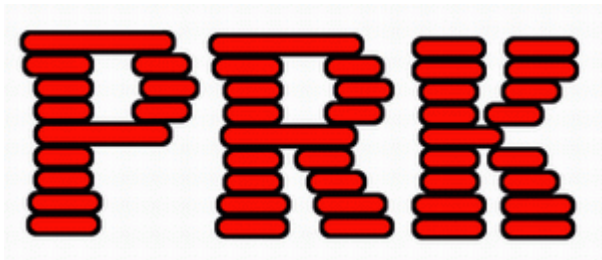


Silmukka-antennit (loop)

- Kokoaallon silmukka
 - vrt. taittodipoli levitetäisiin auki
 - Aukon suunnassa säteilymaksimi
- Magneettinen silmukka
 - Huomattavasti aallonpituutta pienempi
 - Laajakaistainen
 - Aukon suunnassa minimi
- Big wheel antenna
 - Ympärisäteilevä
 - Helposti stackattava

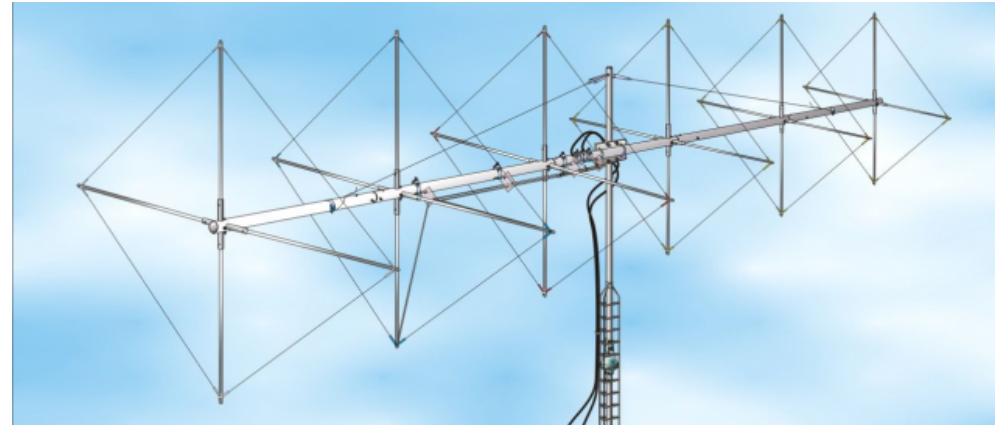


http://www.wimo.com/big-wheel-antennas_e.html

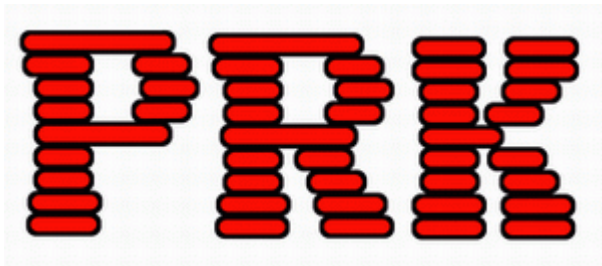


Quadit

- Melkein kuin Yagi, mutta elementit silmukoita eivätkä dipoleja
- Vahvistusta pari dB enemmän kuin vastaavalla Yagilla
- Sisäkkäiset Quadit (eri taajuuksille) eivät häiritse toisiaan.
- Lineaarinen polarisaatio
- Syöttöpiste määrittää polarisaation



<http://www.lightningantennas.com/>

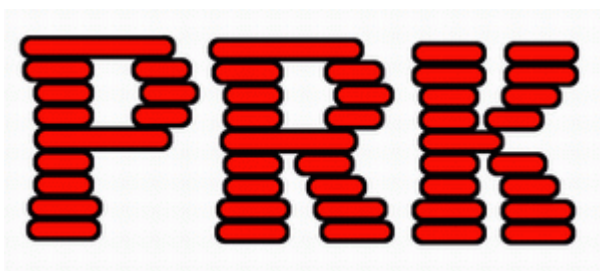


Heijastinantennit

- Halkaisija iso, mielellään vähintään 10λ
 - Lähinnä gigahertseille
- Paljon vahvistusta
- Ei juurikaan sivukeiloja
- EME-yhteydet



http://www.radio-electronics.com/info/antennas/parabolic/parabolic_reflector.php



Helix

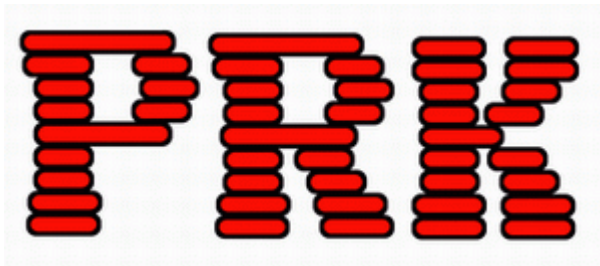
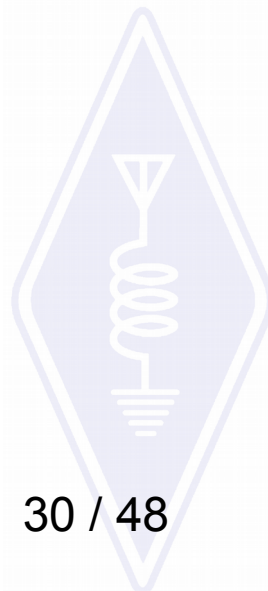
- Normaali moodi: kuin monopoli
 - $\pi D < \lambda$
 - Käsikapulat
 - Sähköisesti pidempi kuin vastaava monopoli
- Axialinen moodi: kuin ympyrä polarisoitu yagi
 - $\pi D \approx \lambda$
 - Satelliittiyhteydet
 - Polarisaation kätisyyttä ei voi vaihtaa



https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna

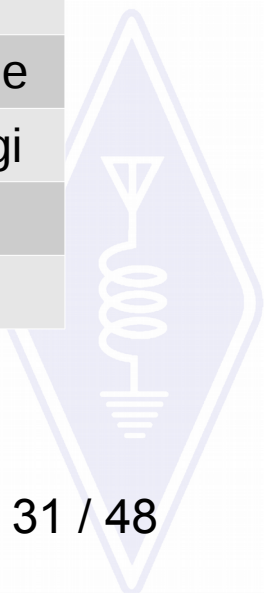
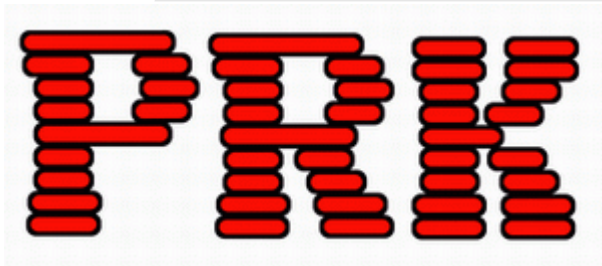


https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna

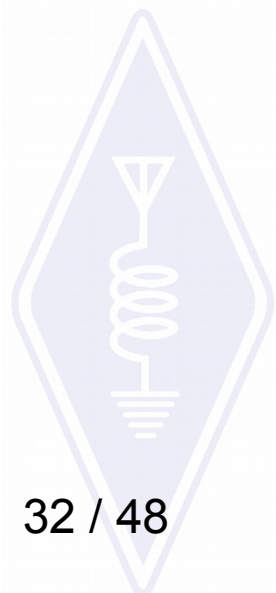
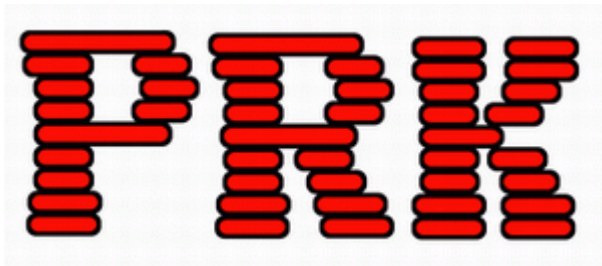


Antennien ominaisuuksia

Antenni	Impedanssi	Huomioita
Puoliaalto dipoli	73Ω	Yksinkertainen ratkaisu melkein mihin vain
Taittodipoli	300Ω	Laajempi kaista kuin puoliaaltodipolissa
Neljännesaalto monopoli	36Ω	Vaatii maatason
Helix, normaali moodi	36Ω	Hieman lyhyempi kuin neljännesaalto
Helix, axiaalinen moodi	n. $100 - 200\Omega$	Kiertopolarisaatio
Yagi	n. $20 - 50\Omega$	Hyvä suuntaavuus VHF:lle ja ylemmäs
Pitkälanka	$> 200\Omega$	Hyvä suuntaavuus HF:lle
Log-periodinen antenni	n. 200Ω	Kuin laajakaistainen yagi
Pieni silmukka	$\ll 10\Omega$	"magneettinen dipoli"
5/8 piiska	$50 - 150\Omega$	Yleinen ajoneuvoissa

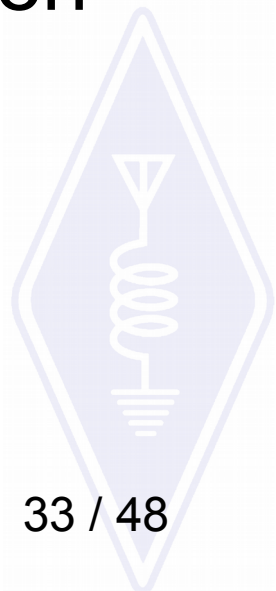
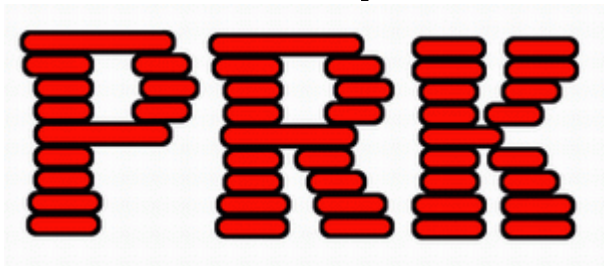


3. Radioaaltojen eteneminen



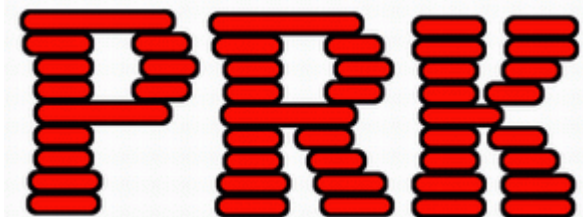
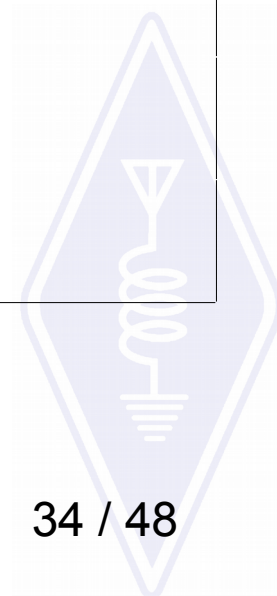
Radioaaltojen etenemisestä

- Perus etenemismenetelmä näköyhteys (LOS)
 - Toimii ns. aina kaikilla bandeilla
- Muut menetelmät riippuu taajuudesta, vuorokaudenajasta, etäisyydestä yms.
- Korkeat taajuudet vaimenevat väliaineessa nopeammin (niin ilmassa kuin kaapelissakin)
- Vastaanotettu signaali useaa reittiä saapuneen signaalin summa → polarisaatio voi kääntyä
- Short path = suorin yhteys, long path = maapallon ympäri



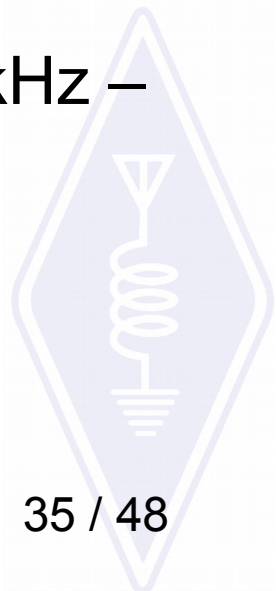
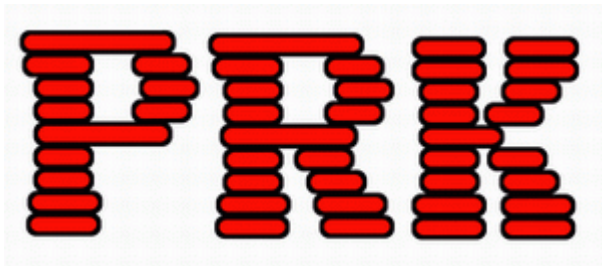
Eteneminen eri taajuuksilla

Bandi	Taajuusalue	Pääasialliset etenemismuodot
VLF	3-30 kHz	Pinta-aalto, ionosfääri
LF	30-300 kHz	Pinta-aalto, ionosfääri
MF	300-3000 kHz	Pinta-aalto, ionosfääri (E-kerros)
HF	3-30 MHz	Ionosfääri (E, F1, F2, Es)
VHF	30-300 MHz	Troposfääri, Es, meteorisirona, aurora
UHF	300-3000 MHz	Troposfääri
SHF	3-30 GHz	Troposfääri



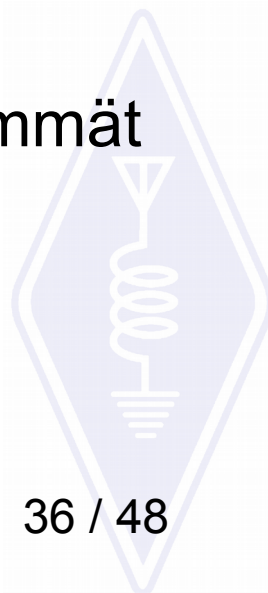
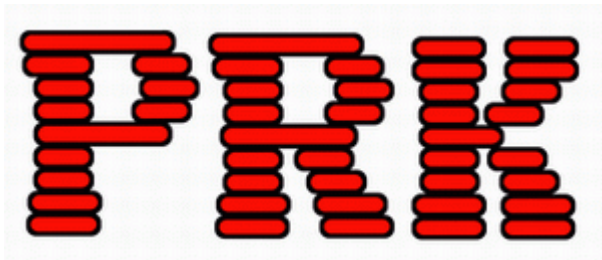
Pinta-aalto

- Matalat taajuudet sitoutuvat johtavaan maatasoon → seurailee maapalloa horisontin taakse
- Tasainen ja johtava maa (merivesi) ovat hyviä.
- Yhteys ennustettavissa
- Edellyttää pystypolarisaatiota
- Vaikutukset:
 - Dominoiva etenemistapa <150 kHz
 - Tasavertainen etenemistapa ionosfäärin kanssa 150 kHz – 1,8MHz
 - Yhteydet satoja kilometrejä



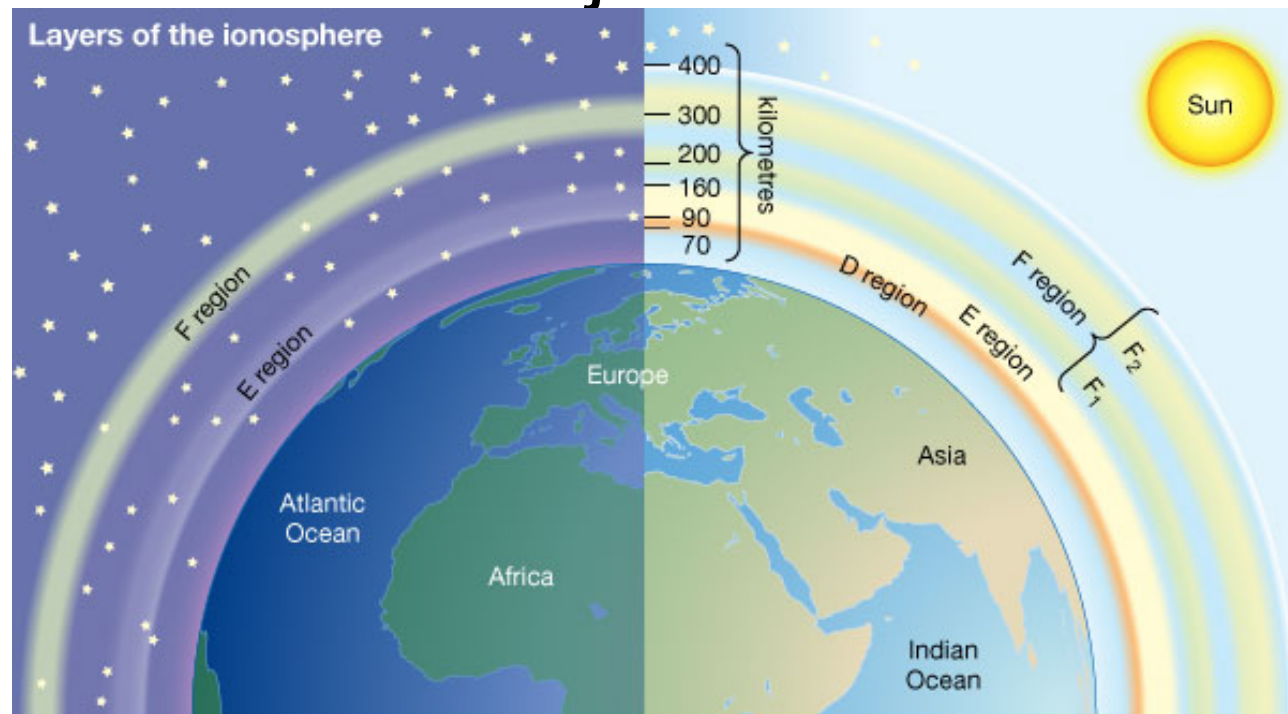
Troposfääri

- N. 9 – 17 km korkeudessa
- Sääilmiöt troposfäärissä
- Kanavoituminen: aalto taittuu tai heijastuu erilämpöisten ilmakerrosten välissä jopa useita kertoja
- Siroaminen: ”hajaantuminen” pienistä partikkeleista, vesihöyry, pilvet, sade, lentokoneiden vanat
- Vaikutukset:
 - Jatkuva radioaaltojen kaartuminen
 - Vaikeasti ennustettavat, normaalia huomattavasti pidemmät yhteydet VHF:llä, UHF:llä ja ylempänä.
 - Sateen vaimennus UHF:llä ja ylempänä

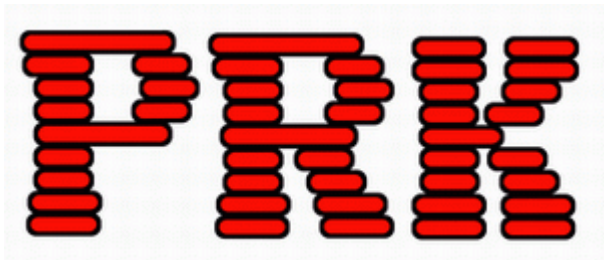


Ionosfääri

- Auringon säteily ionisoi ilman molekyylejä → johtavuus → johtava pinta heijastaa
- Auringon aktiivisuus vaikuttaa (vaihtelee 11 vuoden jaksonajalla)
- Pisimmät yhteydet ionosfääriheijastuksilla maapallon ympäri
- HF:n suosion syy
- Useita kerroksia

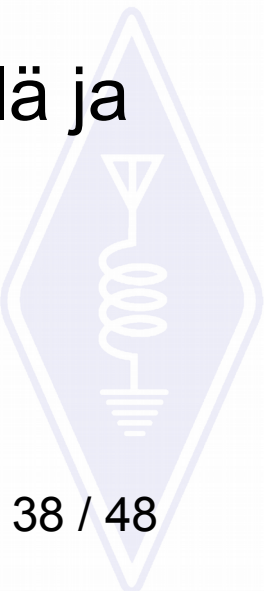
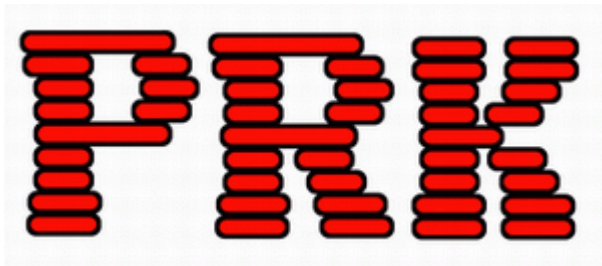


© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.



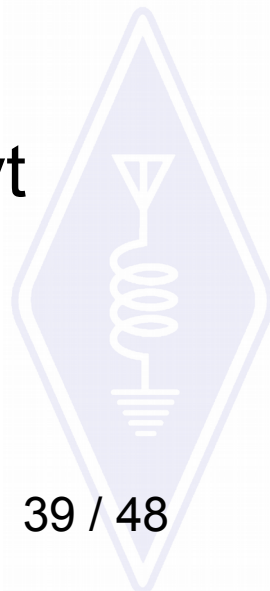
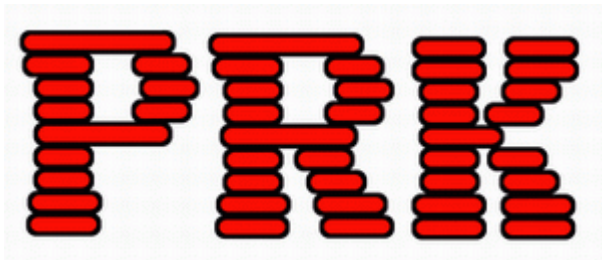
D-kerros

- 65–95 km korkeudessa
 - Ionosfäärin alin kerros
- Aktiivinen päivällä
- Vaikutukset:
 - Estää ylemmille ionosfäärin kerroksille pääsyn päivällä ala HF:llä (n. 1.8 – 10 MHz)
 - Signaalin yö/päivä-suhde luokkaa 1:1000 kesällä ja 1:10 talvella



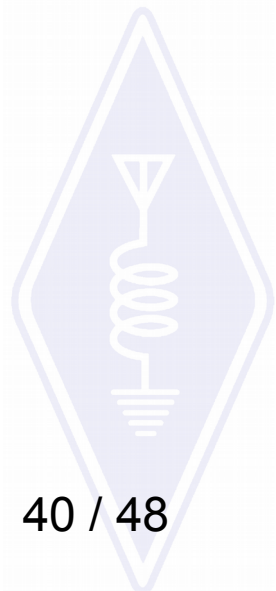
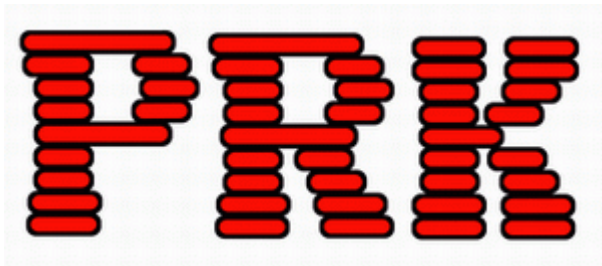
E-kerros

- 90–125 km korkeudessa
- Aktiivinen päivällä
- Heijastaa ylä HF-taajuuksia
- Skippi = hypyn pituus <2500 km
- Sporadinen E
 - Paikallinen hyvin heijastava kerros
- Aurora → VHF/UHF
 - Meteoriittien ionisoimat vanat → VHF, hyvin lyhyt yhteys



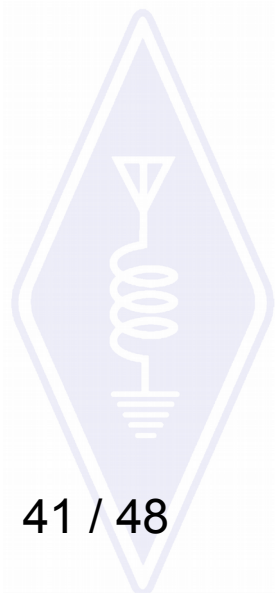
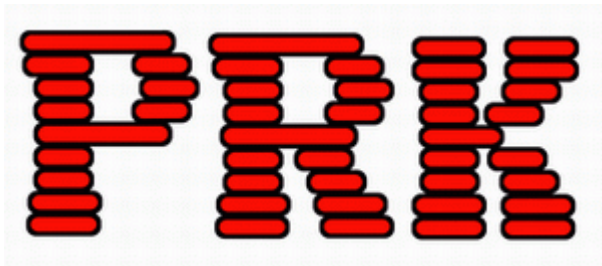
F-kerros

- Yöllä 200–400 km korkeudessa
- Päivällä eriytyy F1 ja F2 -kerroksiksi (160–180 km ja 200–400 km)
- HF:n etenemiselle tärkeä
- Aalto voi heijastua maan ja ionosfäärin välillä useastikin
- Skippi = hypyn pituus n. 1000–4000 km
 - Pieni lähtökulma → pitkä hyppy
- Kuollut alue = suoran yhteyden ja hypyn väli
- NVIS-yhteydet → kattavat Suomen, Matalalla lähtökulmalla pidempiä yhteyksiä



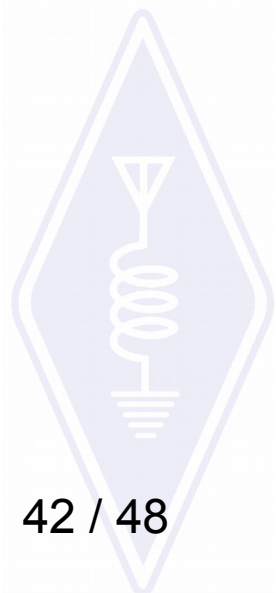
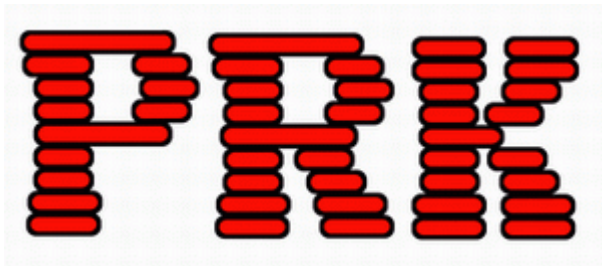
Yhteydet avaruuteen

- Radioaalto voi heijastua Kuusta (EME)
 - Isoja antennreja ja paljon tehoa.
- Satelliitit toistinasemina
 - Esim: 2m uplink / 70 cm downlink.
 - Varattu spektriä usealla bandilla
 - ks. <http://www.amsat.org/>



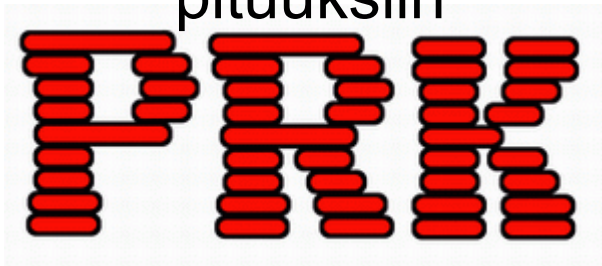
Muita etenemistapoja

- Aurora, revontulet
 - n. 30 – 70 MHz (tai jopa 430MHz), vaihtelee
 - Antenni aina pohjoista kohti
- Siroaminen terävästä huipusta
 - Yhteys vuoren taakse



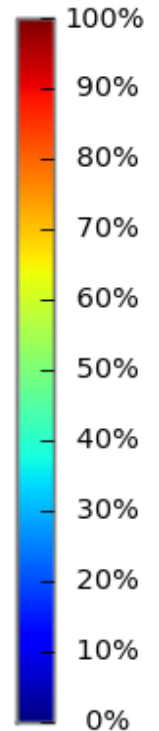
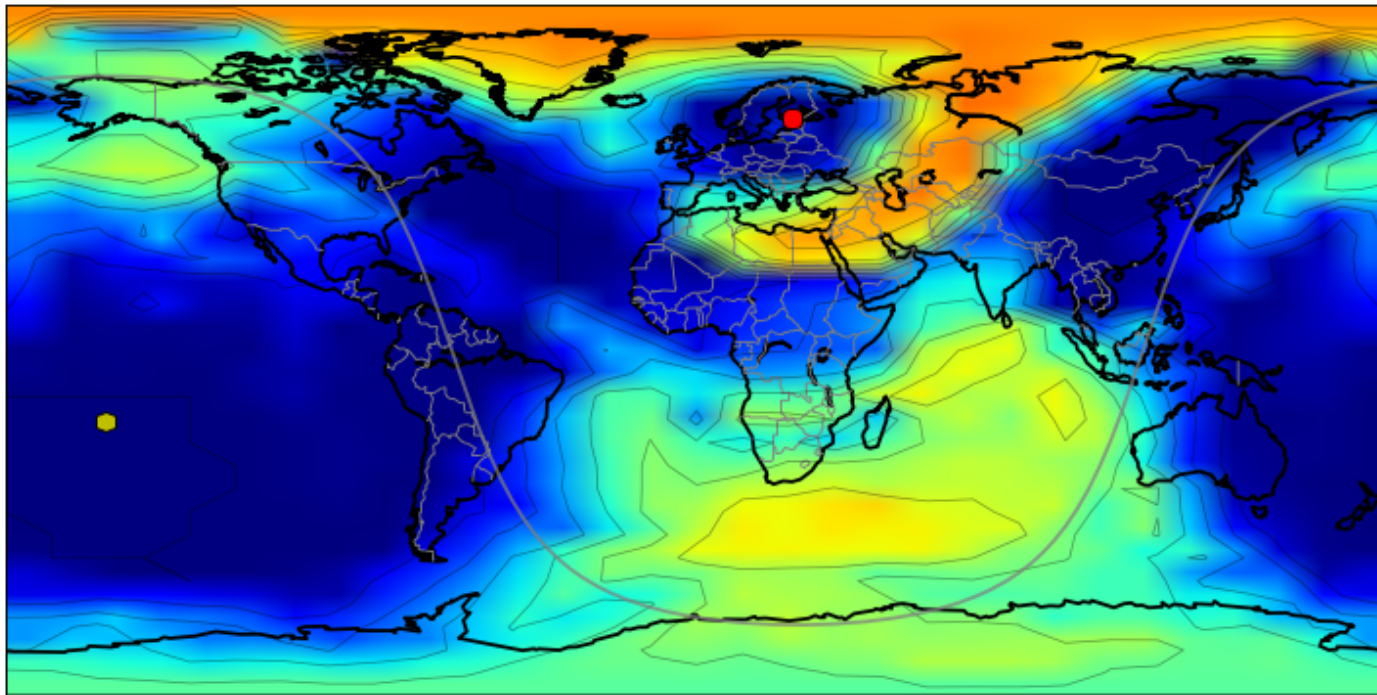
Nyrkkisääntöjä etenemisestä

- Ala-HF ”aukeaa” yöllä, ylä-HF päivällä
- Pisimmät yhteydet maailmalle 10 – 30 MHz
 - Ionosfäariheijastukset matalilla kulmilla
- Yhteydet Eurooppaan
 - Troposfäärin kanavoituminen: VHF/UHF
 - Ionosfäärillä: 3 – 30 MHz, ”lähes aina” yhteys jollakin taajuudella
- Kotimaan yhteydet
 - VHF/UHF: n. 200 km aina hyvillä antenneilla
 - 80m: 300 km aina, yöllä koko maa
 - 40m: 600 – 1500km, yöllä Pohjois-Suomi
- Huom. antenneilla ja pohjakohinalla suuri vaikutus yhteyksien pituuksiin

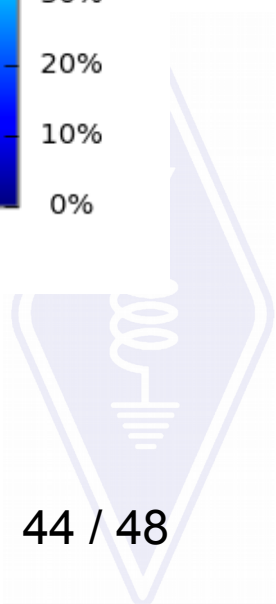


Voacap.com, 20m, 22:00 UTC

Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Nov, 22 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 78, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]

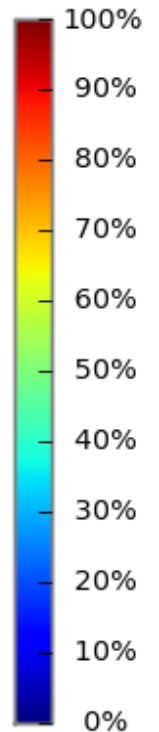
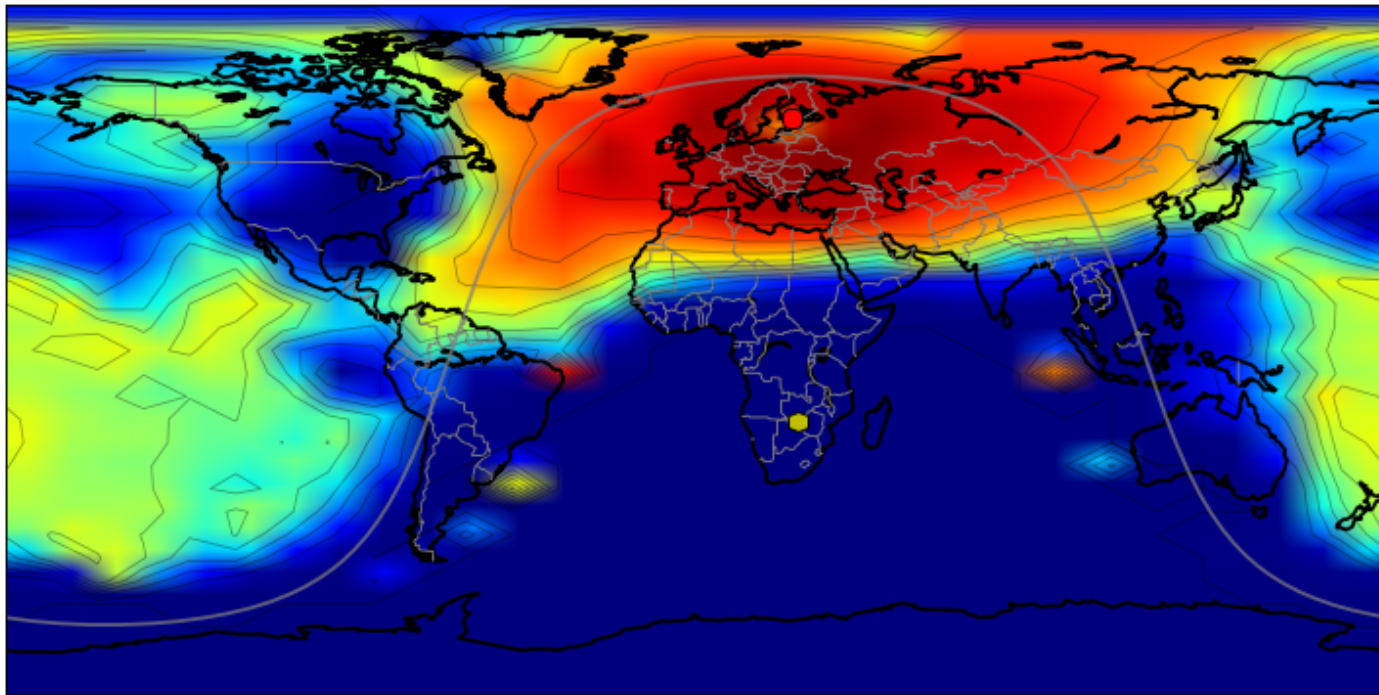


PRK

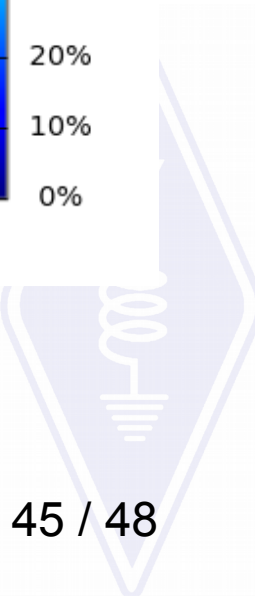


Voacap.com, 20m, 10.00 UTC

Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Nov, 10 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 78, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]

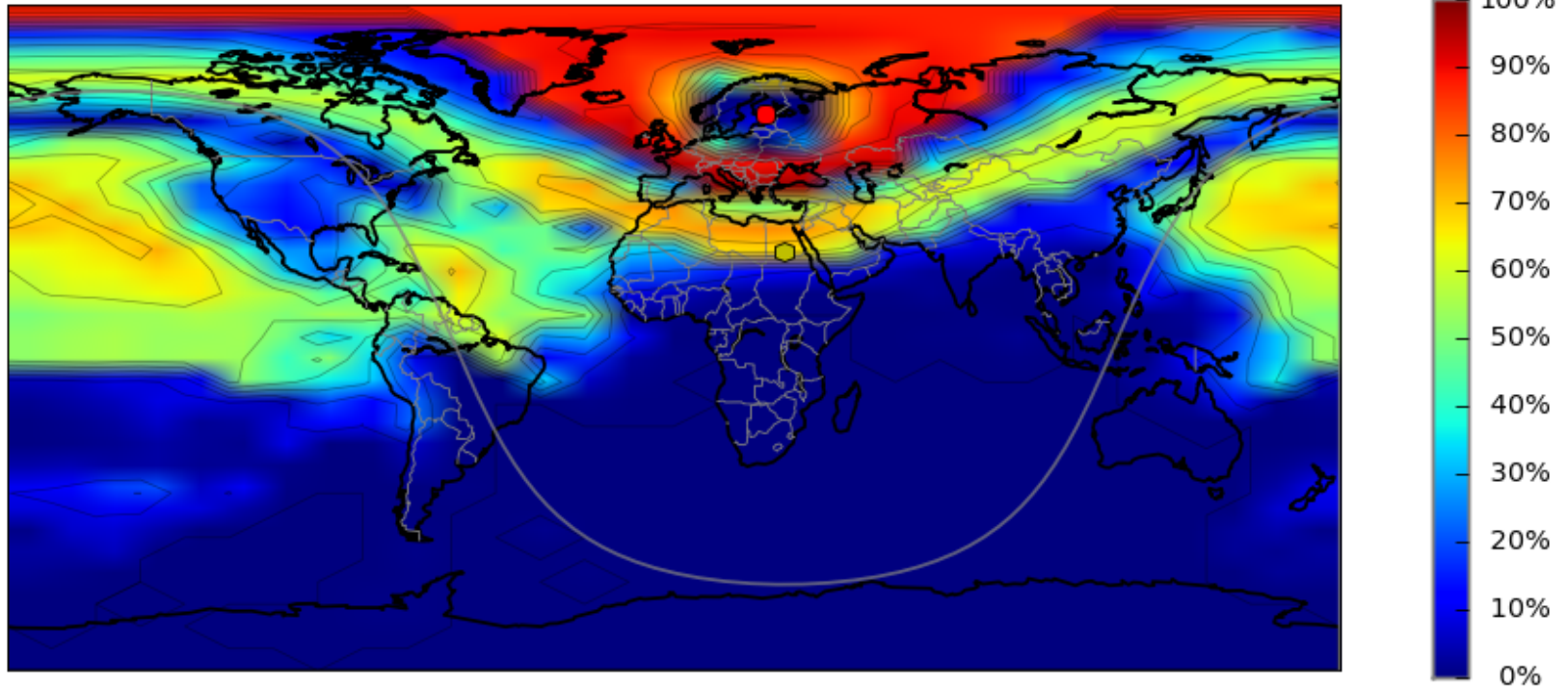


PRK

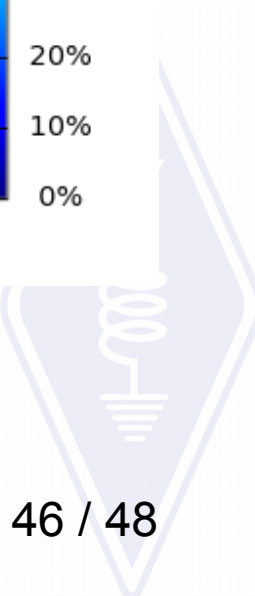


20m, kesällä, 10:00 UTC

Espoo, finland (60.40N, 24.80E), Jun, 10 UTC, 14.100 MHz, 80 W, SSN 70, Mode: CW
TX Ant: [voaant/d10m.ant], RX Ants: [voaant/d10m.ant]



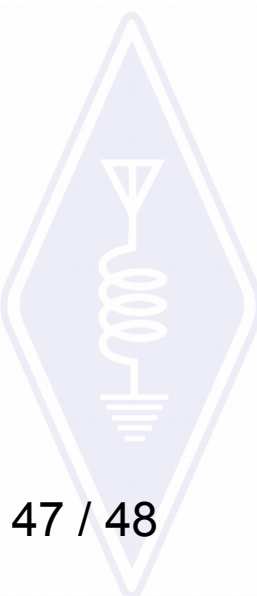
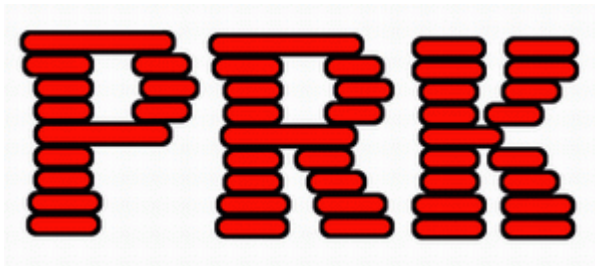
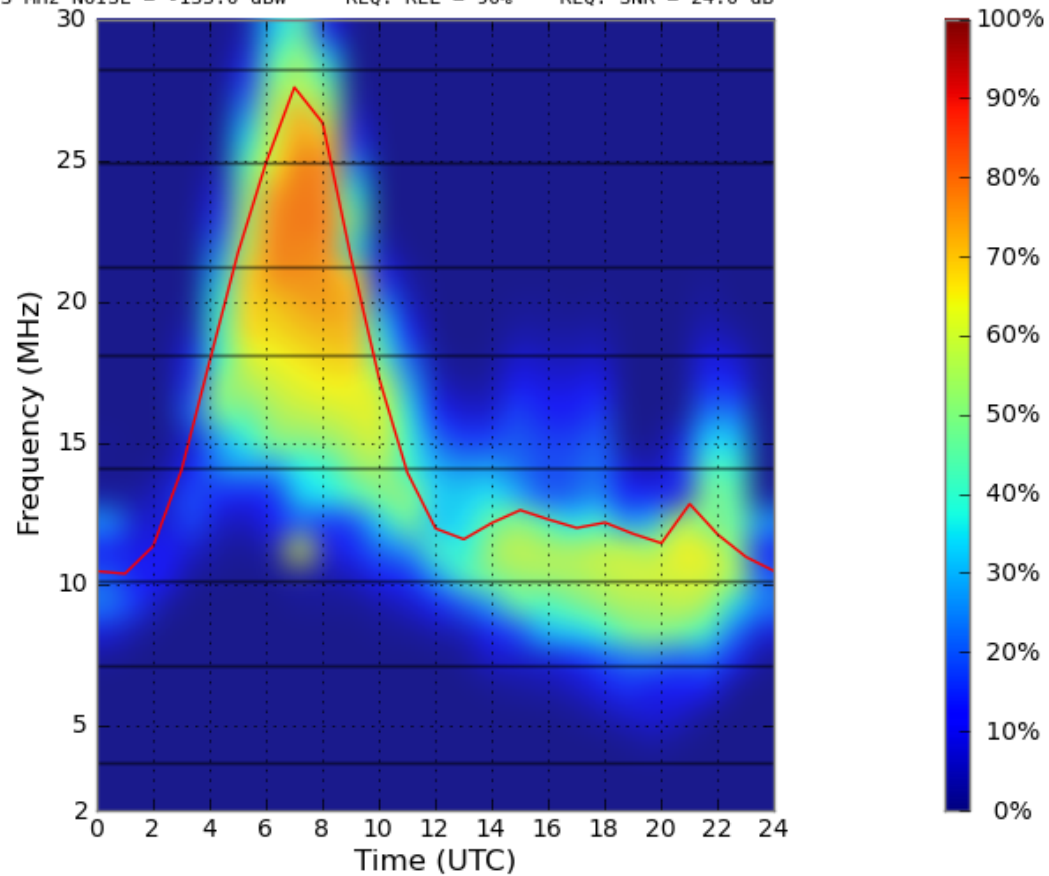
PRK



Espoo → Japani

Circuit Reliability (%)

```
Nov 2011 SSN = 80. Minimum Angle= 0.100 degrees
TX RX AZIMUTHS N. MI. KM
60.24 N 24.87 E - 38.55 N 140.98 E 49.11 331.33 4098.9 7590.6
XMTR 2-30 2-D P-to-P[voaant/d10m.ant ] Az= 0.0 OFFaz= 49.1 0.080kW
RCVR 2-30 2-D P-to-P[voaant/d10m.ant ] Az= 0.0 OFFaz=331.3
3 MHz NOISE = -155.0 dBW REQ. REL = 90% REQ. SNR = 24.0 dB
```



Lähteet / suositeltavaa luettavaa

- Kalvot pohjautuvat Juha OH2EAN:n kalvoihin
- Radiotekniikan perusteet, Antti Räisänen
 - Löytyy Aallon kirjastoista
- Radioaaltojen eteneminen, Ismo Lindell
 - Löytyy Aallon kirjastosta
- Antenna theory and design, Warren L. Stutzman & Gary A. Thiele
 - ”Saattaa löytyä netistä”
- Microwave engineering, David M. Pozar
 - ”Saattaa löytyä netistä”

