

ELEC-C7110

Informaatioteknologian perusteet

Kalevi Kilkki

Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos

Radiotekniikkaa ja matkaviestintää

4.2. & 5.2.2019



Kurssin rakenne

- » 7+2 asiakokonaisuutta = jakso (viikko)
- » Viikko: 2+2 tuntia luentoja ma 14:15, TU1/1017, ti 14:15, E/Y124
2 tuntia harjoituksia ke 12.15, TU1/1017
- 1. Johdanto ma 7.1. & ti 8.1.
- 2. Tietoliikennealan palvelut ma 14.1. & ti 15.1.
- 3. Tiedonsiirto ma 21.1. & ti 22.1.
- 4. Kiinteät verkot ma 28.1. & ti 29.1.
- 5. Matkaviestintä ma 4.2. & ti 5.2.
- 6. Tietojenkäsittely ma 11.2. & ti 12.2.
(tenttiviikko – ei opetusta ma 18.2. & ti 19.2.)
- 7. Internet ma 25.2. & ti 26.2.
- 8. Kommunikaatioakustiikka ma 4.3. & ti 5.3.
- 9. Puheteknologia ma 11.3. & ti 12.3.

TENTTI 10.4.2019

Tämän viikon kysymyksiä



- » Ilmakehän ominaisuudet siirtotienä
 - › (siis radioaaltojen tapauksessa)
- » Solukoverkkojen toimintaperiaate
 - › "Selosta"
- » Solukoverkkojen kapasiteetti
 - › Miksi suurilla taajuuksilla (> 5 GHz) on vaikea toteuttaa pitkiä maanpäällisiä yhteyksiä, kun taas suhteellisen matalilla taajuuksilla (< 500 MHz) on helpompaa rakentaa maantieteellisesti kattavia verkkopalveluja? Toisaalta mitä hyötyä suurien taajuuksien käytöstä on?
- » Matkapuhelinverkkojen sukupolvet 1G:stä 5G:hen
 - › Mitkä ovat olleet tai oletetaan olevan matkapuhelinverkkojen eri sukupolvien keskeisimmät uudet ominaisuudet edelliseen sukupolveen verrattuna 1G:stä 5G:hen?
- » Langattomat lähiverkot (Wi-Fi, WLAN)
 - › Miten langattomat lähiverkot eroavat matkapuhelinverkoista teknologioiden ja palveluiden osalta?

ELEC-C7110

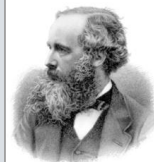
3

Historiaa...



1862: Maxwellin yhtälöt

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}\end{aligned}$$



1887:

H. Hertz: osoitti kokeellisesti että

◇ radioaaltoja voidaan lähettää ja vastaanottaa

◇ radioaalto etenevät valon nopeudella.

Hertz did not realize the practical importance of his experiments. He stated that,

"It's of no use whatsoever[...] this is just an experiment that proves Maestro Maxwell was right—we just have these mysterious electromagnetic waves that we cannot see with the naked eye. But they are there."



Asked about the ramifications of his discoveries, Hertz replied,

"Nothing, I guess."

ELEC-C7110

4

Toisaalta: Nikolai Tesla, 1926



- » When wireless is perfectly applied the whole earth will be converted into a huge **brain**, which in fact it is, all things being particles of a real and rhythmic whole.
- » We shall be able to **communicate** with one another instantly, irrespective of distance.
- » Not only this, but through television and telephony we shall see and hear one another as perfectly as though we were face to face,
 - › despite intervening distances of thousands of miles;
 - › and the instruments through which we shall be able to do his will be amazingly simple compared with our present telephone.
- » A man will be able to carry one in his vest pocket.”

https://www.huffingtonpost.com/2015/07/10/tesla-quotes_n_7771358.html

5



- » **G. Marconi**
 - › Radioyhteys Atlantin yli 1902 (epäselvä tulos v. 1901)
 - › Radion “keksijä” — ainakin patentoija ja Nobel-voittaja
- » Radioyhteys laivoihin 1904
- » Ensimmäiset kaupalliset radiolähetykset 1919
 - › Suomessa Yleisradio aloitti 1926
- » Television tekninen demonstraatio 1926
 - › Suomessa säännölliset TV-lähetykset 1956
- » Ensimmäinen ”matkapuhelinverkko” 1948 (USA)
 - › Suomessa (ARP) 1971



ELEC-C7110

6

Langaton viestintä

- Erilaisia langattomia viestimiä kehitettiin 1800-luvun lopulla
- Ensimmäinen radioasema 1897
- Marconi sai radioyhteyden Atlantin yli 1902
- Ensimmäinen yleisradioasema 1919 (Haag)
- Armeija tärkeä asiakas teknologialle (Tyypillistä!)



Englannissa valmistettu Marconin yrityksen Marconiphone v. 2 radiovastaanotin vuodelta 1922
http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Radio_receiver_05.jpg



Lorenz FUG10 Radioasema vuodelta 1937
http://www.armyradio.com/publish/Articles/William_Howard_German/Pictures/FUG10A_BAUER.jpg



Mobile data ym. tilastot

Mobile data GB/SIM (2017)

1. Finland
2. Taiwan
3. Bahrain
4. Austria
5. Estonia
6. Latvia
7. Denmark
8. South Korea
9. Sweden
10. Iceland

The world's 20 biggest coffee drinkers

- 1 Finland - 12kg per capita per year
- 2 Norway - 9.9
- 3 Iceland - 9
- 4 Denmark - 8.7
- 5 Netherlands - 8.4
- 6 Sweden - 8.2
- 7 Switzerland - 7.9
- 8 Belgium - 6.8
- 9 Luxembourg - 6.5
- 10 Canada - 6.2



Top 10 happiest countries, 2018 (2017 ranking in brackets)

1. Finland (5)
2. Norway (1)
3. Denmark (2)
4. Iceland (3)
5. Switzerland (4)
6. Netherlands (6)
7. Canada (7)
8. New Zealand (8)
9. Sweden (10)
10. Australia (9)

- » Aiheuttaako radiotekniikkaan perustuva tietoliikenne jotain uhkia käyttäjille ja/tai yhteiskunnalle?
 - › Jos kyllä, niin mitä?

3 minuutin keskustelu:
Mikä on merkittävin uhka?

ELEC-C7110

9



Aiheuttaako radiotekniikkaan perustuva tietoliikenne jotain uhkia käyttäjille ja/tai yhteiskunnalle?

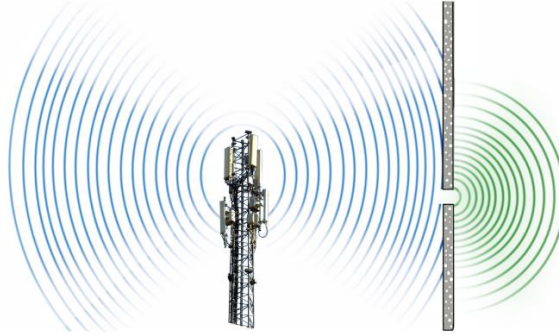
Tukiasematyyppi	Makrosolu	Mikrosolu	Pikosolu
Toimintasäde	Useita kilometrejä	100–1000 m	Alle 100 m
Lähetysteho	Enimmillään muutama sata wattia	Muutamia watteja	Alle 1 W
Käyttöalue	Taajama, maaseutu, kaupunki	Kaupunki	Tiivis kaupunkirakentaminen, rakennusten sisätilat
Antennin sijainti	Katoilla, mastoissa	Katoilla, seinillä	Sisäkatoissa, seinillä
Etäisyys, jolla altistuminen saattaa ylittää raja-arvot	Noin 10 m (antennin edessä)	Alle 30 cm (antennin edessä)	Ei edes kosketusetäisyydellä

<http://www.stuk.fi/>

ELEC-C7110

10

Periaatekuva



Kuva 62. Aaltojen eteneminen aukosta.

Kenttien etenemisen edellytyksenä on, että aukko on fyysisiltä mitoiltaan vähintään kenttien aallonpituuden suuruinen. (hmm... säteilyä vuotaa paljon pienemmistä rei'istä).

Kännykkä & Mikroaaltouuni (<http://www.stuk.fi/>)

- » Mikroaaltouunin luukun ns. mikroaaltoloukku estää tehokkaasti mikroaaltojen vuotamisen ulos (ja sisään) mikroaaltouunin toimintataajuuden 2450 MHz lähellä olevilla taajuuksilla.
- » Aaltoloukku ei toimi kännykän vastaanotto-taajuuksilla 925-960 MHz ja siksi läheisen tukiaseman signaali tunkeutuu mikroaaltouuniin ja kännykkä soi
 - › Kokeilin – toimii hyvin (myös datasiirto)
- » Vaatii **tiivin** metallipurkin, jotta yhteyden saa poikki!
 - › Alumiinifoliokin toimii suhteellisen hyvin

Mobiilipalvelut – Miksi vasta nyt?



- » Tarvitaan
 - › Kysyntä
 - › Teknologia
 - › Tuotteen valmistaja & kannattavuus
 - › Muu tarvittava infrastruktuuri & toimiva sääntely

Mobiilipalvelut

- » Kysyntä
 - › Kyllä, jos riittävän hyvä ja edullinen palvelu olisi ollut tarjolla
- » Teknologia
 - › Periaatteessa kyllä ainakin 1920-luvulta asti, mutta ...
 - Laajamittainen käyttö vaati digitaalista tekniikkaa (1980-luvun lopulta alkaen)
 - › Vaikka olisi voitu valmistaa, niin tulos olisi ollut (oli) tällainen →
 - Vain hyvin pienelle asiakaskunnalle
 - › Muu infra riittävä vasta 1980-luvun lopulla (samoin sääntely)
 - Siirto, keskuskeset ja palvelimet (vaativat myös digitaalitekniikan kehitystä)

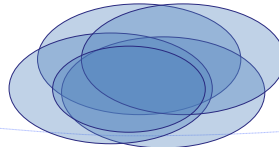


Bell System Motorola
"Deluxe" line high band (150 MHz)
"Urban" radiotelephone in 1948

ELEC-C7110

13

Termeistä



- » Mobiili (**mobile**) vrt. kiinteä (**fixed**)
 - › Käyttäjien liikkuvuus, "matka-"
- » Solukko (**cellular**) (vrt. yksisolainen?)
 - › Verkon tekninen rakenne
- » Sähkömagneettinen vrt. mekaaninen (aalto)liike
 - › Fyysinen taso
- » Radio (osa edellistä) vrt. optinen (**optical**)
 - › Siirtotekniikka
- » Langaton (**wireless**) vrt. langallinen (**wireline**)
 - › Siirtomedia

ELEC-C7110

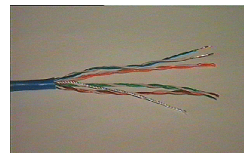
14

Radiotietoliikenne

- » Radiotietoliikenteen järjestelmän elementit
 - › Lähetin
 - joka muuttaa lähetettävän informaation radiosignaalksi
 - › Väliaine
 - jossa radiosignaali etenee (esim. sähkömagneettisina aaltoina ilmassa)
 - › Vastaanotin
 - missä radiosignaalin välittämä informaatio ilmaistaan vastaanottajalle
- » Radiotietoliikenteen järjestelmiä
 - › Mobiilitietoverkot
 - kuten GSM, 3G ja 4G (LTE)
 - › Langattomat lähiverkot (WLAN)
 - › Digitaalinen televisio ja radio

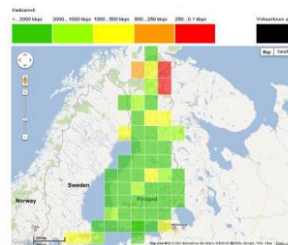
Langallinen viestintä

- Hyvää
 - Suojaus
 - Laatu, luotettavuus
 - Optisen kuidun tapauksessa erittäin suuri kapasiteetti
- Huonoa
 - Paikkaan sidottu
 - Verkon korjaaminen
 - Verkon laajentaminen
 - Kapasiteetin lisäys



Langaton viestintä

- Keskeisiä haasteita
 - Kuuluvuus (myös sen raja)us)
 - Voi olla asynkronista (tarvetta vaikea ennustaa)
 - Häiriöaltis (interferenssin hallinta)
 - Miten löytää vastaanottaja?
 - Miten ylläpitää yhteyttä liikkeessä?
 - Päätelaitteen akun kesto ja lämmön tuotto (!)
 - Tukiasemien energiatehokkuus
 - Tukiasemien suuri määrä (kustannus)
 - **7 – 10 tuhatta / operaattori (Suomi 4G)**



<http://www.nettitutka.fi/>

Radiolinkit

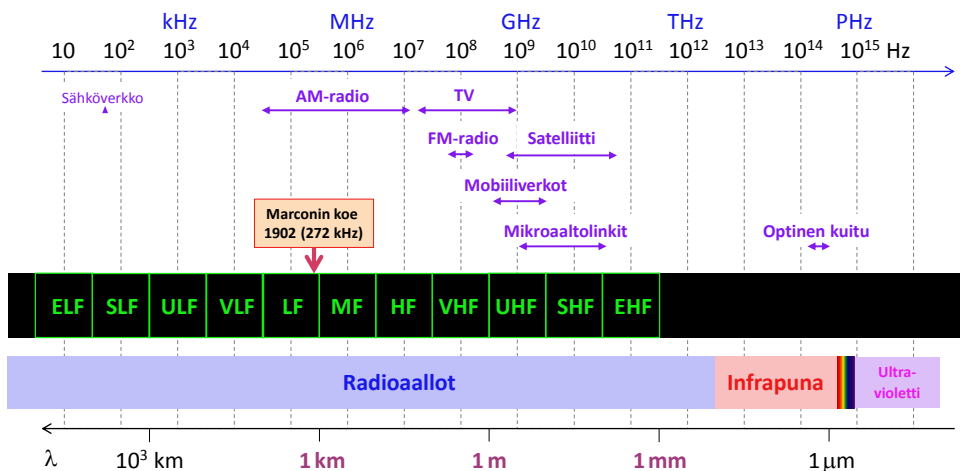


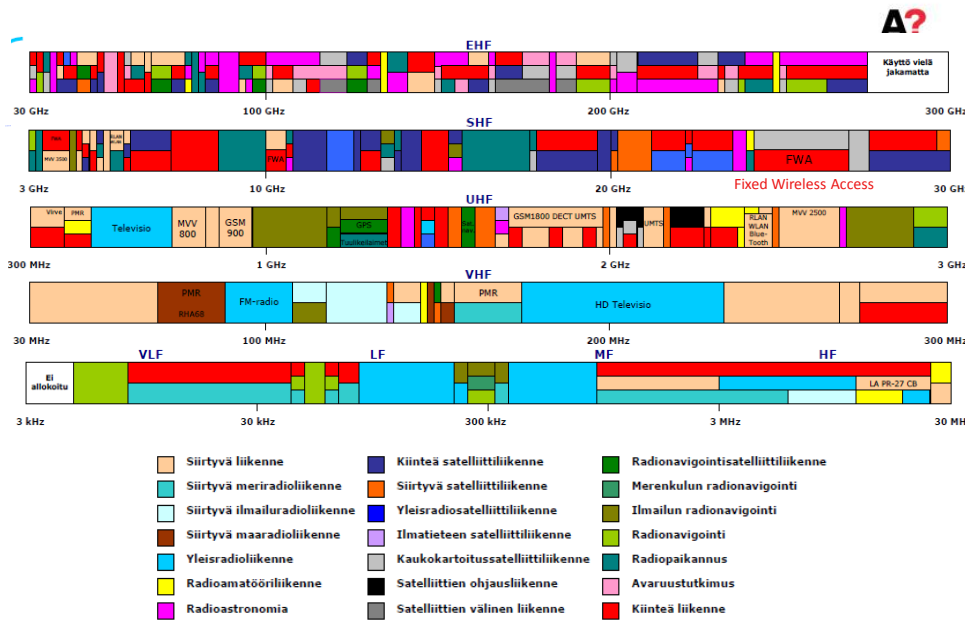
- » Vapaa tila, ilmatie, langaton siirtotie...
- » Edut
 - › "halpa" - ei johdonvetokustannuksia (tosin tukiaseman perustaminenkin on kallista)
 - › liikkuvat päätelaitteet, yhteys mahdollinen lähes missä vain
- » Rajoitukset
 - › viestin salakuuntelu ja häirintä helppoa
 - ⇒ turvallisuusongelmat ratkaistava
 - › käyttökelpoisia radiotaajuuksia rajatusti
 - ⇒ käytöstä sovittava kansainvälisesti
 - › siirto-olosuhteet vaihtelevat
 - säätömiöt, magneettiset myrskyt

Radiotietoliikenne

- » Radiotietoliikenteessä
 - › langattoman siirtotien fysiikka
 - › teknisten järjestelmien toteutus
- » OSI-mallissa (7 tasoa – muistattehan)
 - › Erityisesti kerrokset 1 (fyysinen) ja 2 (siirto)
- » Tiedonsiirtonopeutta rajoittavat käytännössä
 - › luonnonlait
 - › teknisen toteutuksen rajoitukset
 - › kustannusten asettamat rajoitteet
- » Radiotietoliikenteen tutkimus
 - › sekä käytännön järjestelmät että teoreettiset perusteet

Taajuusalueet

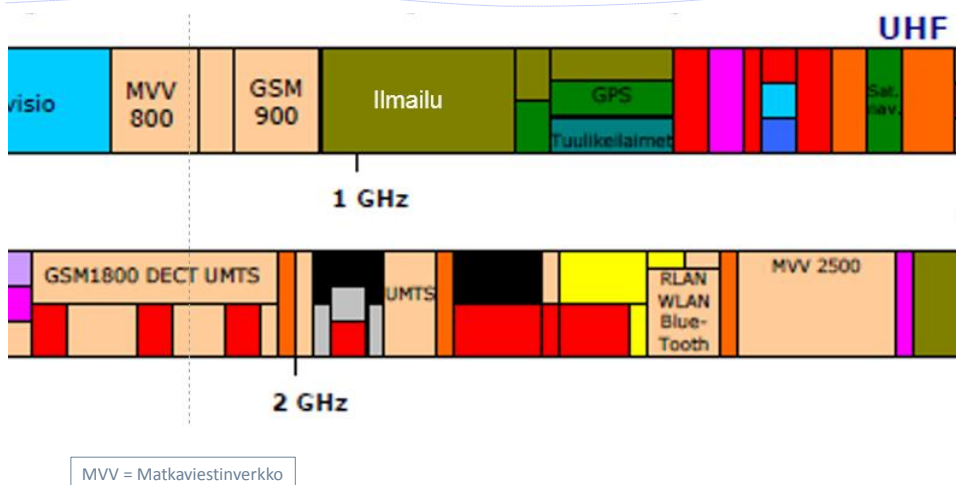




ELEC-C7110

21

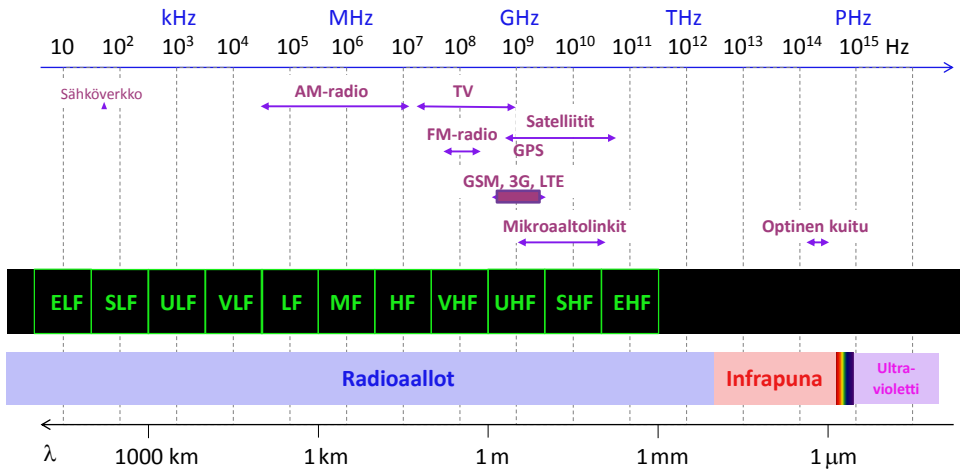
Osia UHF-alueesta (700 MHz – 3 GHz)



ELEC-C7110

22

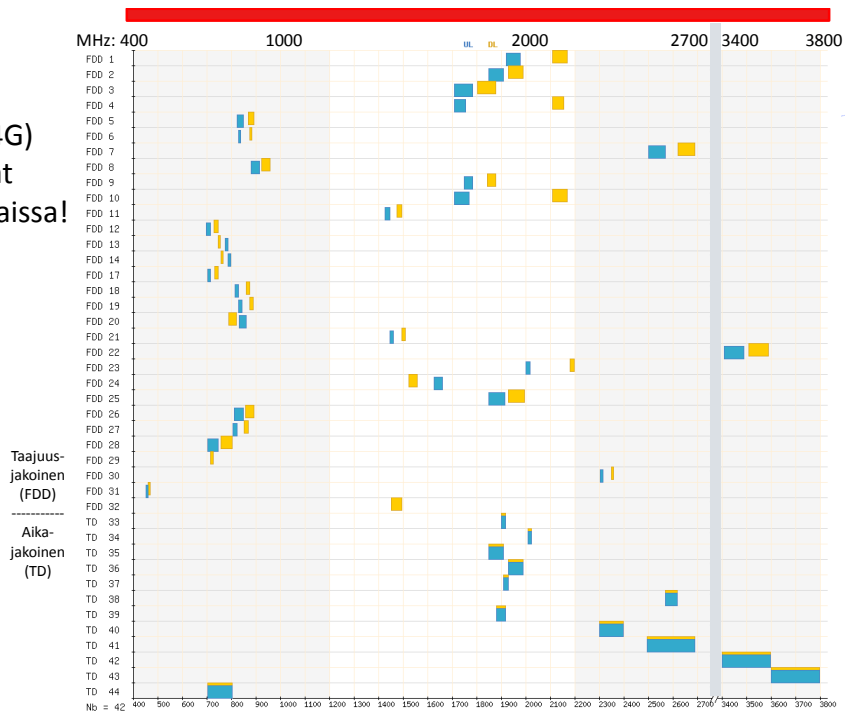
Taajuusalueet



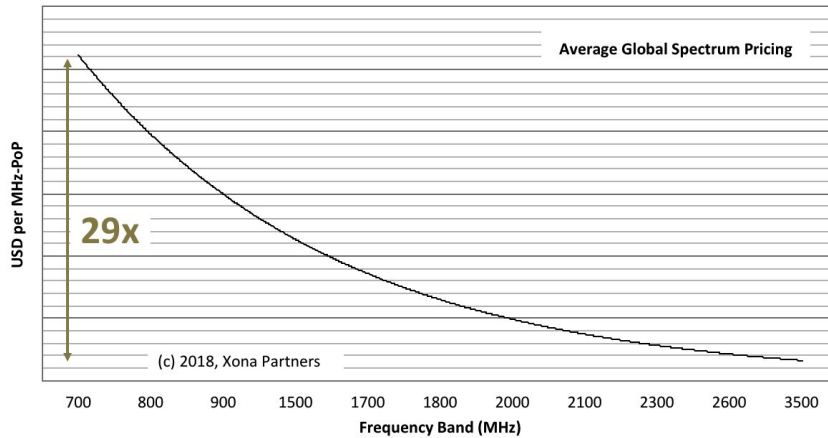
ELEC-C7110

23

LTE (4G)
kaistat
eri maissa!



Kaistan arvo! (miksi?)



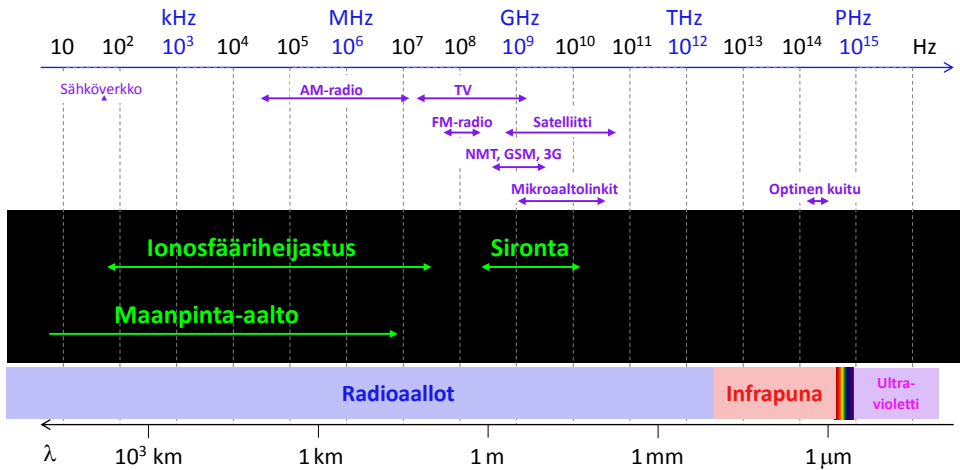
ELEC-C7110

25

Radioaaltojen eteneminen

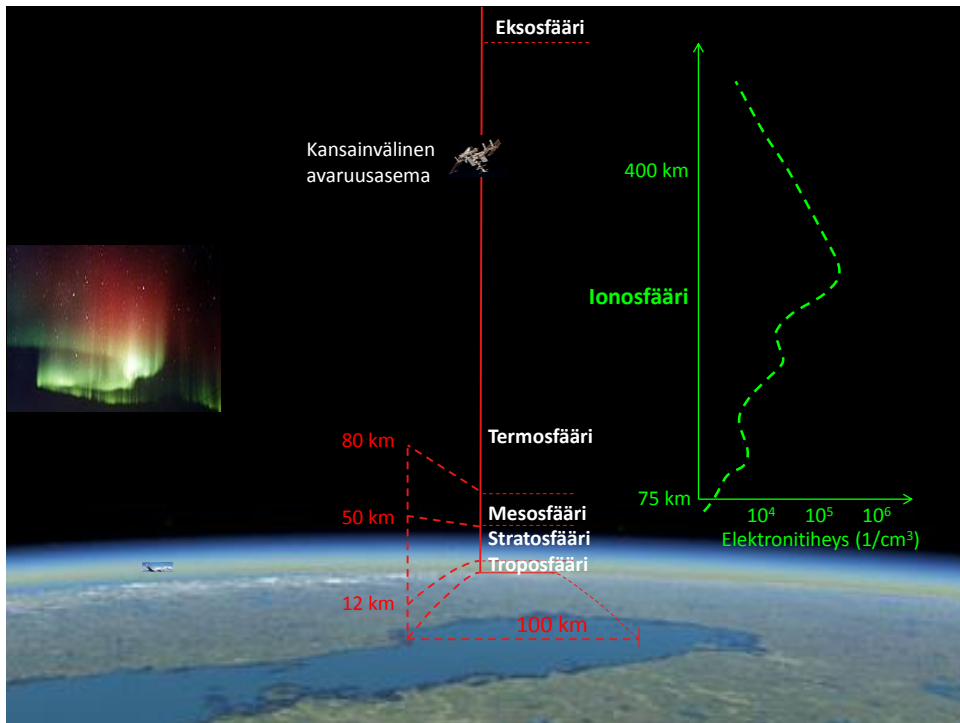
- » Suora näköyhteys
 - › Korkeatkin taajuudet (> 1 GHz)
 - › Muita luotettavampi, pääasiallinen etenemistapa tietoliikenteessä
- » Maanpinta-aalto
 - › < 10 MHz
 - › Optimiolosuhteissa tuhansia kilometrejä
- » Sironna
 - › 300 MHz – 10 GHz
 - › Jopa 2000 km
- » Heijastuminen ionosfääristä
 - › < 30 MHz
 - › Jopa maapallon ympäri, mikäli aalto heijastuu uudelleen maanpinnasta

Heijastukset ja sironta

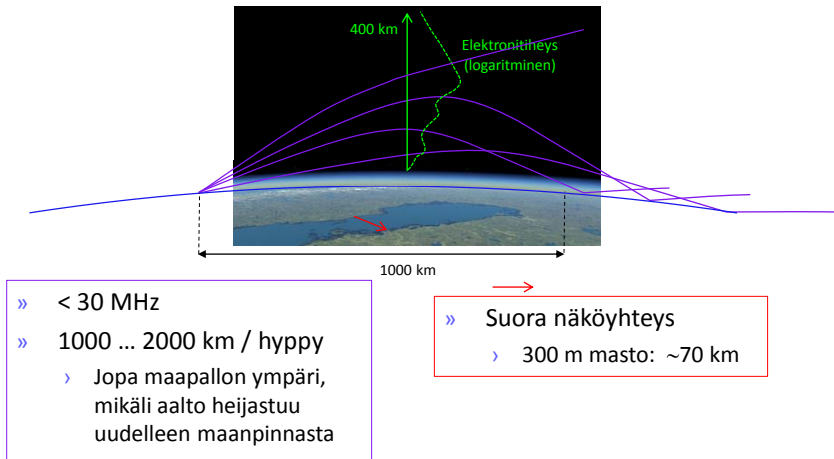


ELEC-C7110

27



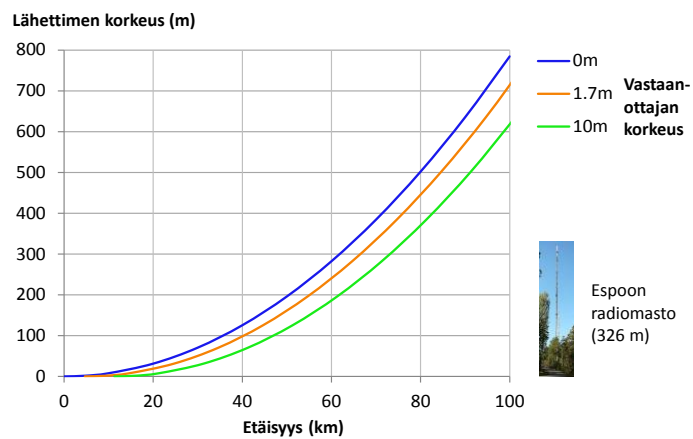
Heijastuminen ionosfääristä



ELEC-C7110

29

Suora näköyhteys



ELEC-C7110

30

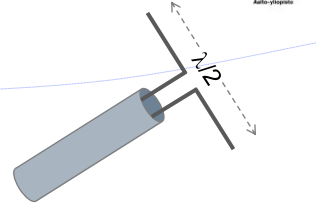
Radiosignaalin vaimennus

- » Vapaan tilan vaimennus
 - › Radiosignaali jakautuu eri suuntiin, jolloin antenni tavoittaa hyvin pienen osan lähetetystä signaalista
 - › Mitä pienempi aallonpituus (suurempi taajuus), sitä pienempi antenni ⇒ sitä suurempi vaimennus (lähetys- ja vastaanottotehojen välillä)
 - kyseessä ei ole tehon häviäminen, vaan sen jakautuminen avaruuteen
- » Väliainevaimennus
 - › Yleensä vähäinen, mutta esim. 60 GHz taajuudella happi absorboi säteilyä ja aiheuttaa huomattavaa vaimennusta
 - › Sade aiheuttaa sirontaa, jolloin vastaanotettu teho pienenee
- » Estevaimennus
 - › Näköyhteydellä tai sen lähellä olevat esteet aiheuttavat vaimennusta

Antennivahvistus (G_T , G_R)

- » Ilmaistaan desibeleinä
 - › mutta kyseessä ei ole varsinaisesti tehon vahvistuminen (samassa mielessä kuin tehovahvistimessa)
 - › lähinnä antennin suuntaavuudesta johtuva ”vahvistus” **verrattuna** ympärisäteilevän signaalin voimakkuuteen
- » Kännykällä käytännössä 0 dB
 - › Jolloin kännykkä toimii joka suuntaan!
- » Mobiiliverkkojen tukiasemissa käytetään suuntaavia antennia
- » TV-antennilla (Yagi) tyypillisesti 10 dB

Vapaan tilan vaimennus



» Peruskaava $\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$

» Vaimennus voidaan esittää dB-asteikolla:

$$L = 32,44 + 20 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) + 20 \log_{10}(r_{\text{km}}) \quad [\text{dB}]$$

» 3G: 2,4 GHz, 1 km $\Rightarrow L = 100 \text{ dB}$

› 10 W:n lähetysteho \Rightarrow Vastaanottoteho $\approx 1 \text{ nW}$ (-60 dBm)

» Marconi: 272 kHz, 6000 km

› $L = 96 \text{ dB}$, vastaanottimen teho = $2 \cdot 10^{-10}$ kertaa lähetysteho

› **Mutta: "väärä laskelma" koska kyseessä on ionosfäriheijastus!**

◦ heijastus riippuu mm. ajankohdasta, yöllä parempi kuin päivällä

ELEC-C7110

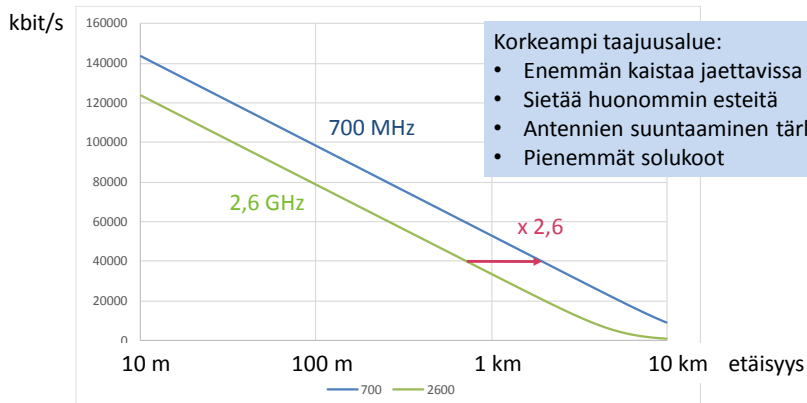
33

Taajuuden vaikutus radioverkon ominaisuuksiin



$$L^* = 46 + 26 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) + 34 \log_{10}(r_{\text{km}}) \quad [\text{dB}] \quad (5.4)$$

+ Shannonin kaava

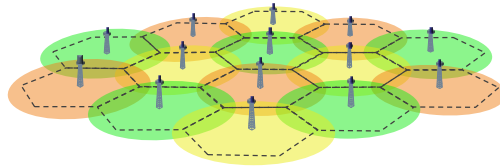


ELEC-C7110

34

Solukkoverkko

- » Solukkoverkko on vastaus - **mutta mikä on kysymys?**



ELEC-C7110

35

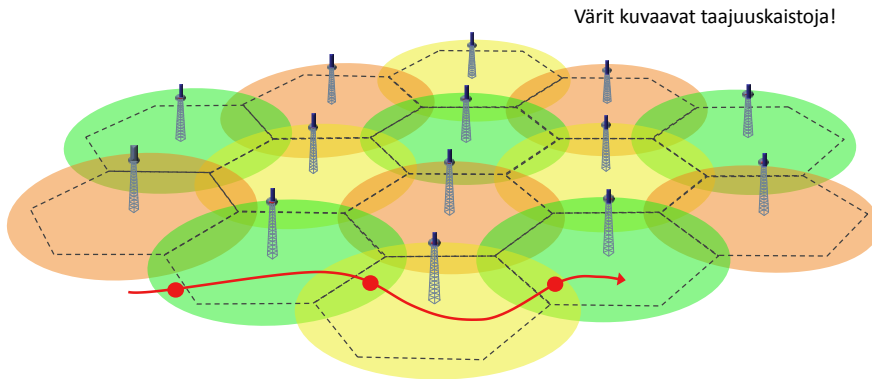
Kysymys

- » Miten voidaan tarjota (informaatio)palveluita, joiden käyttäjät voivat olla missä tahansa ja liikkua niin nopeasti kuin haluavat?
- › Tyhjiöputkiradio ja kuvaputki-TV: ei näitä voinut kannella
 - Radiosta mobiili transistoriradioiden myötä 1950-luvun lopulta lähtien
 - Eivät vaatineet solukkoverkkoa, koska yhteys oli yksisuuntainen
 - › 1980-luvulla lähes kaikki puhelimet olivat paikkaan sidottuja
 - Laajamittainen mobiilisuus vasta GSM:n myötä 1995
 - › Internet-yhteys oli paikkaan sidottu 2000-luvun alkuun saakka
 - Laajamittainen mobiilisuus vasta 4G:n ja älypuhelimien myötä n. 2010
- » ... siis kaksisuuntaisia, yksilöllisiä tietoliikennepalveluita

ELEC-C7110

36

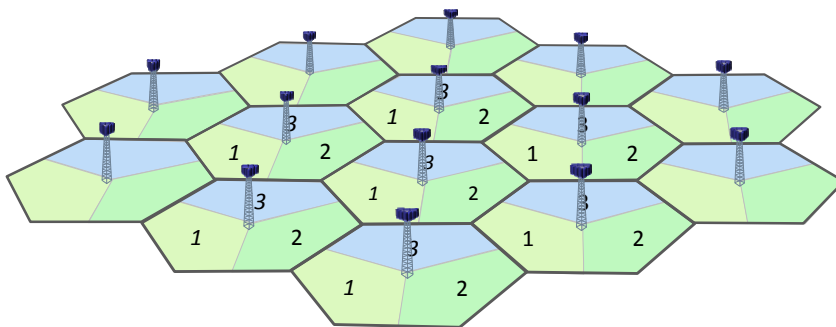
Solukkonverkon periaate



ELEC-C7110

37

Suuntaavien antennien käyttö

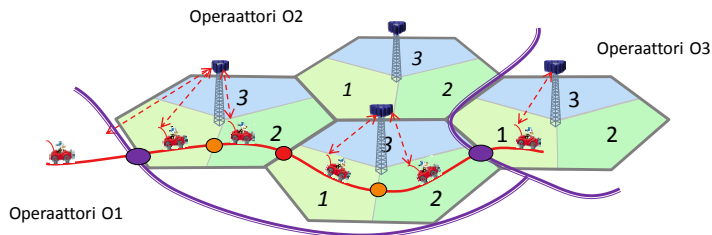


Tukiaseman rakentaminen ja/tai paikan vuokraus ja ylläpito on usein kallista!

ELEC-C7110

38

Liikkuvuuden hallinta

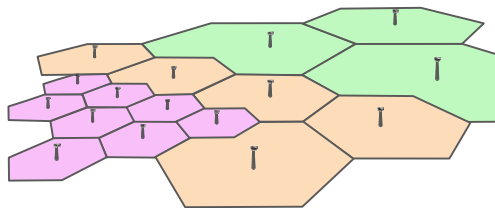


- Operaattorin vaihto (roaming, verkkovierailu)
 - Tämä on vaativaa liiketoiminnan kannalta
- Tukiaseman (solun) vaihto
 - tämä on vaativaa teknisesti, koska yhteys ei saisi katketa ja viivevaatimukset ovat kovia (alle 100 ms)
- Taajuusalueen vaihto

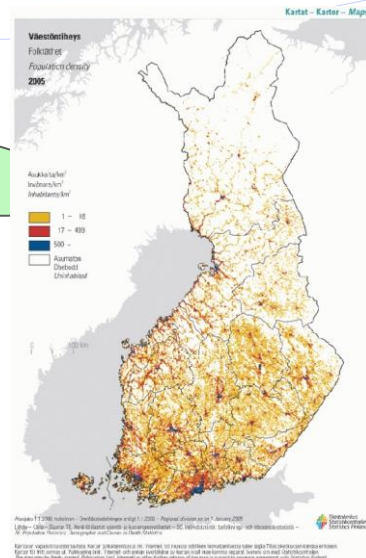
ELEC-C7110

39

Eri kokoisia soluja



Miksi?



ELEC-C7110

40

Luentotehtävä 5.2.2019



Speedtest mittaukset

Kaikki yhtä aikaa!

Mobiiliverkkomittaus (ei Wi-Fi)

1. Latausnopeus
2. Lähetysnopeus
3. Verkon viive
4. Operaattori

Wi-Fi (WLAN) mittaus (ei mobiiliverkko)

5. Latausnopeus
6. Lähetysnopeus
7. Verkon viive

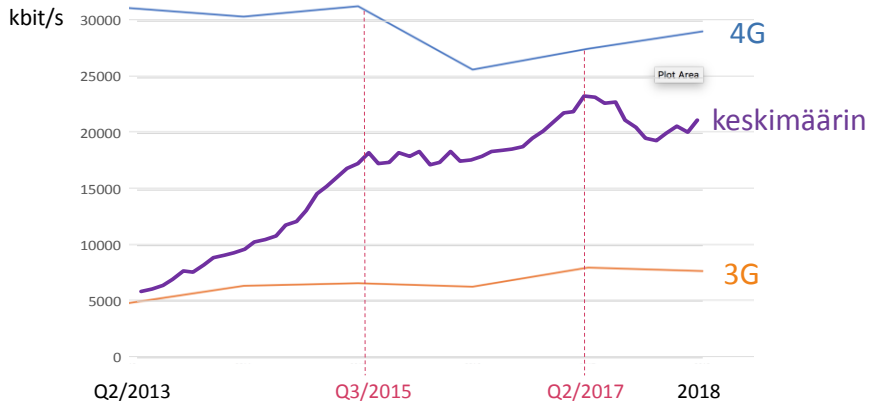
ELEC-C7110

41

Peittovelvoitteet ja niiden valvonta

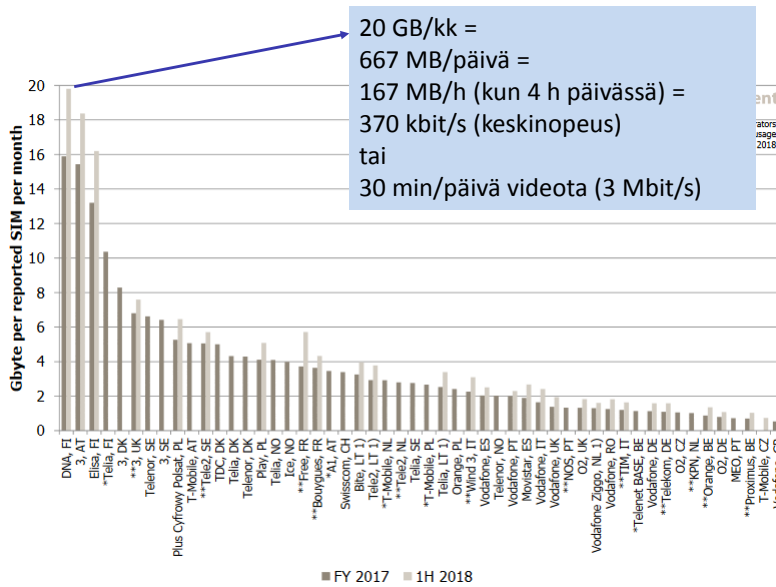
- GSM (DNA ja TeliaSonera)
 - 99 % väestöpeitto, josta 80 % oma verkko
- 800 MHz (Elisa, DNA ja TeliaSonera)
 - 95 % väestöpeitto 3 vuoden mennessä (TS)
 - 97 % / 99 % väestöpeitto 5 vuoden mennessä
 - Saa toteuttaa myös 1800 MHz ja 2,6 GHz verkoilla
 - Kohtuullinen sisätilapeitto
- Valvonta
 - Operaattorien toimittamat peittokartat
 - Viestintäviraston mittaukset
 - Selvityspyynnöt

Siis miten on oikeasti? Suomen tilastoja



ELEC-C7110

43



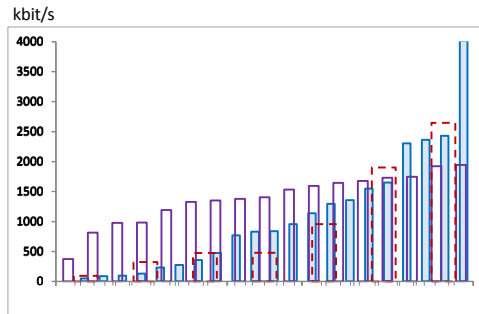
ELEC-C7110

44

Netradar mittaus 11.2.2015

Kolme operaattoria: Elisa, Sonera, DNA

Latausnopeuden jakauma:



ELEC-C7110

45

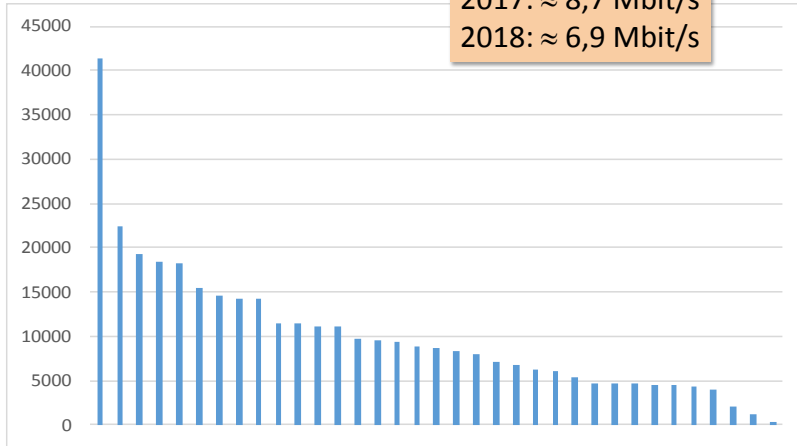
Nettitutkamittaukset 24.2.2016

11367	4567	85 iPhone 5s	Elisa	3G					
4180	1466	58 iPhone 4S	Elisa	3G	19548	21092	27 HTC One M9	DNA	4G
236	212	78 Lumia 630	Elisa	3G	2114	1275	35 Sony xperia e3	DNA	4G
221	145	463 HTC One V	Elisa	3G	7500	1822	87 iPhone 6s	DNA	HSDPA
184	144	93 Jolla	Elisa	3G	1917	715	33 iPhone 6s	DNA	HSDPA
236	132	853 Samsung Galaxy S2	Elisa	3G (256 k)	3190	311	49 HTC One M7	DNA	HSPA+
30000	3500	180 Lumia 1020	Elisa	4G	1741	1516	40 Huawei H60-L04	DNA	HSPA+
6968	2863	18 Galaxy S5	Elisa	4G	36688	5513	28 Huawei Honor 7	DNA	LTE
6885	2489	53 Sony Xperia Z3+	Elisa	4G	479	424	206 Samsung S2 plus	DNA	
6871	2567	70 LG Nexus 5x	Elisa	4G	3515	11349	60 Apple iPhone 6	DNA	wlan
1126	330	1005 Lumia 920	Elisa	HSPA	418	431	214 Sony Z2	DNA	
10739	806	35 OnePlus One	Elisa	HSPA+					
8384	2074	76 Samsung Galaxy S5	Elisa	HSPA+					
2272	530	28 Samsung Galaxy S5	Elisa	HSPA+					
1476	71	31 Samsung Galaxy S4	Elisa	HSPA+					
1100	171	256 Sony Xperia Z1	Elisa	HSPA+					
44253	11227	79 iPhone 5s	Elisa	LTE	1919	1595	69 Samsung Galaxy S4	Sonera	3G
3470	1698	87 Lumia 930	Elisa	LTE	11671	7624	79 iPad	Sonera	4G
3370	1004	93 samsung GT-I9195	Elisa	LTE	2488	1665	38 Sony Xperia Go	Sonera	HSPA
3222	6209	50 Sony E2303	Elisa	LTE	10865	1720	32 Samsung Galaxy A5	Sonera	HSPA+
3086	1338	27 HTC One	Elisa	LTE	6009	369	37 Sony xperia z2	Sonera	HSPA+
11312	2328	40 Samsung Galaxy S3	Elisa		1921	524	29 LG-D855	Sonera	HSPA+
7726	2726	52 Lumia	Elisa		45538	8511	59 LG G3	Sonera	LTE
1793	533	40 Samsung Galaxy S2	Elisa		20221	7224	77 Lumia 950	Sonera	LTE

ELEC-C7110

46

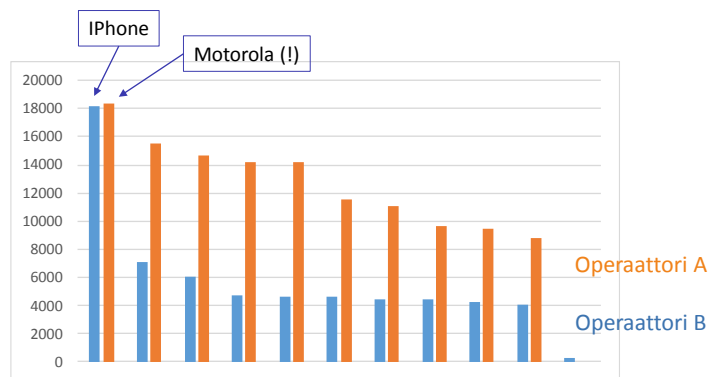
Mediaanit
 2015: ≈ 1,3 Mbit/s
 2016: ≈ 3,4 Mbit/s
 2017: ≈ 8,7 Mbit/s
 2018: ≈ 6,9 Mbit/s



ELEC-C7110

47

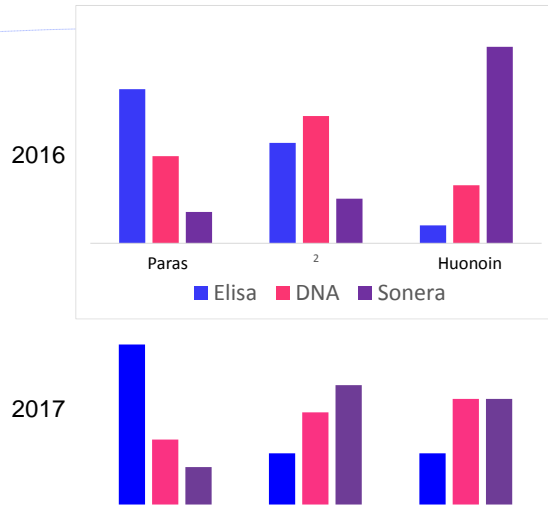
Operaattorivertailu (vain LTE)



ELEC-C7110

48

Edellisten vuosien luentotehtävä



ELEC-C7110

49

Edellisen vaihdoksen syy (3 vuoden aikana)

en ole vaihtanut liittymää	59
hinta	12
kuuluvuus	2
laskutusepäselvyydet	2
sopimusehdot	2
asiakaspalvelu	2
roaming	2
alennus laitteesta	1
hinta-laatusuhde	1
datanopeus	1
nettiliittymä	1
palvelus kaverille	1

Hinta ~ 50%

~ 30%
vaihtanut
3 vuodessa

ELEC-C7110

50

Matkapuhelinten sukupolvet: "0G": ARP

- » ARP = Autoradiopuhelin
 - › Vain Suomessa, vuodesta 1971
 - › Käsivälitteinen
 - › Päätelaitteen lähetysteho 1 – 15 W
 - soveltui vain ajoneuvoihin, korkeintaan "kannettava"
 - › Puhelimet eivät osanneet vaihtaa taajuutta kesken puhelun
 - ei tukiaseman vaihtoa
 - › 150 MHz:n alueella
 - kantomatka laaja, peitto hyvä myös Lapissa
 - vähän tukiasemia ⇒ pieni kapasiteetti
 - › Puhelimet kalliita
 - › Käyttäjiä enimmillään 35 000 v. 1986
 - › Poistui käytöstä v. 2000

ELEC-C7110

51

1G: NMT

- » NMT = Nordic Mobile Telephone
- » Analoginen, FM (puhe)
- » Taajuuskaistat
 - › 450 MHz (v. 1982 – 2002): Hyvä peitto
 - › 900 MHz (v. 1986 – 2000): Enemmän kapasiteettia
- » Solunvaihdot (handover)
- » Verkkovierailu (roaming) maiden välillä
 - › Ensimmäisenä maailmassa (?)
- » Ei salausta
 - › Suhteellisen helposti kuunneltavissa
 - › (salaus periaatteessa mahdollista, Suomessa ei käytetty)



ELEC-C7110

52

1G Yhteenveto

	NMT450	NMT900	AMPS800
käyttöönotto	1982	1986	1980-l. alkupuoli
tilanne	lopetettu 2002	lopetettu 2000	käytössä USAssa
kanavoititapa	taajuusjakoinen (FDMA)	taajuusjakoinen (FDMA)	taajuusjakoinen (FDMA)
taajuusalue	453-480 MHz	890-960 MHz	824-894 Mhz
modulaatio	analoginen taajuusmodulaatio (FM)	analoginen taajuusmodulaatio (FM)	analoginen taajuusmodulaatio (FM)
päätelaitteen lähetysteho	0,15-15 W	0,1-6 W	3 W
tukiaseman lähetysteho	1,25-20W	0,5-8 W	?
solukoko	yli 30 km		2-20 km

ELEC-C7110

53

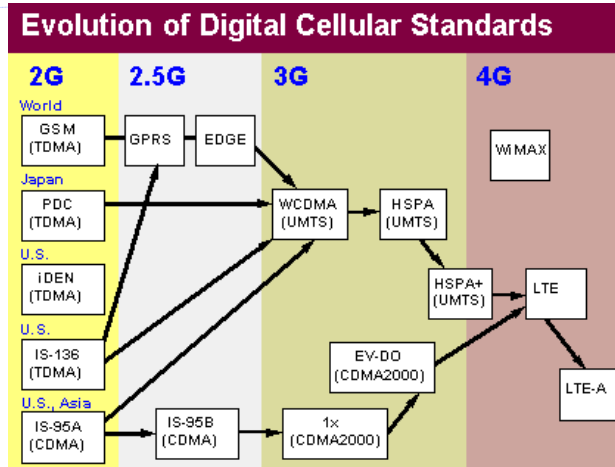
2G: GSM

- » **Groupe Speciale Mobile** ⇒
Global System for Mobile communications
 - › Eurooppalainen standardi (USA:ssa ja Japanissa eri standardit)
 - › Laaja verkkovierailumahdollisuus
 - › Toiminta alkoi 1992, korvasi analogiset muutamassa vuodessa
- » **Teknisiä ominaisuuksia**
 - › Digitaalinen, TDMA (Time Division Multiple-Access)
 - › Huomattavasti aikaisempia parempi salaus
 - › SIM-korttiin perustuva tunnistus
 - › Taajuusalueet 900 MHz & 1800 MHz
 - › Tukiaseman lähetysteho: 2,5 – 320 W
 - › Päätelaitteen lähetysteho: 0,8 – 2 W

ELEC-C7110

54

2G:stä eteenpäin (yhtenäistyminen)



<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/HSPA>

ELEC-C7110

55

3G: UMTS / WCDMA

Alkuvaiheen ominaisuudet

Taajuusalue	1700-2300 MHz, kaista 230 MHz
Solukoko	Sisätilojen mikrosoluista satelliittiyhteyksiin
Puheen koodaus	noin 8 kbit/s, viive 20-40 ms
Siirtonopeus ulkona	64-144 kbit/s
Siirtonopeus sisätilojen mikrosoluissa	2 Mbit/s
Päätelaitteen suurin liikkumisnopeus	250-500 km/h
Audiopalvelut	3,1 kHz, 7 kHz, 15 kHz

ELEC-C7110

56

4G ~ LTE (advanced)

- » LTE = Long Term Evolution
 - › Teknisellä tasolla LTE = 3G:n kehitysvaihe
 - › markkinoinnissa käytetty termiä 4G
 - Käytiin oikeutta siitä mitä voidaan kutsua 4G:ksi

- » Erityisesti mobiili-Internet
 - › Huippunopeudet (teoriassa) → 150 Mbit/s
 - Mitattuja yli 100 Mbit/s
 - Korkeimmat nopeudet tyypillisesti moka/laapari

5G

- » Tavoitteet
 - › Kapasiteetti × 1000
 - haastava tavoite, ehkä mahdollinen (mutta kustannukset = ?)

- » Keinot
 - › Tehokkaampi taajuuksien käyttö (× 2 ... 20)
 - mahdollista monimutkaisilla antennilla
 - › Taajuusalueita lisää (3,5 GHz, 26 GHz ?)
 - on tulossa, joskus....
 - › Tukiasemia lisää
 - Aina mahdollista, mutta kustannuskysymys
 - Halvimmat tukiasemat: hintataso kymmeniä Euroja

Yhteenveto 3G:stä eteenpäin

HSPA = High Speed Packet Access

	UMTS / WCDMA	HSPA	HSPA+	LTE	LTE-A	5G tavoite
3GPP release vuosi	99 2000	6 2005	7 2008	8 2009	10 2011	14 2017
Max bittinopeus alaspäin (Mbit/s)	0,384	14,4	28	42	150	10 000
Max bittinopeus ylöspäin	0,128	5,7	11	11	75	1 000
Edestakainen viive	150 ms	60 ms	35 ms	~10 ms	~10 ms	~1 ms
Kanavakoodaus	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA SC-FDMA	OFDMA SC-FDMA	

3G
4G

ELEC-C7110

59

Spektritehokkuuden kehittyminen

Parhaimmillaan

- » 3G (perus) 1,5 (bit/s)/Hz
- » HSDPA (3.5G) 2,9 (bit/s)/Hz
- » LTE (4G) 8,6 (bit/s)/Hz

- » 5G: "128-antennin" koejärjestelmällä päästy 145 (bit/s)/Hz
 - › Teoreettinen?
 - › Käytännössä ehkä 30 (bit/s)/Hz

- » Kaista ≠ Bittinopeus

ELEC-C7110

60

Muutokset 1G → 5G



- » 1G (NMT) ⇒ 2G (GSM)
 - › Analoginen ⇒ Digitaalinen
 - › Tekstiviestit & pienimuotoinen datasiirto
 - › Salaus radiotiellä & käyttäjän tunnistus (SIM)
- » 2G ⇒ 3G
 - › Koodijakoinen teknologia (tehokkaampi ja joustavampi)
 - › Merkittävä datanopeuksien kehitys (> 1 Mbit/s)
- » 3G ⇒ 4G (LTE)
 - › Suuret datanopeudet (> 100 Mbit/s) & pienempi viive
 - › Mahdollisti laajamittaisen mobiilin Internetin
- » 4G ⇒ 5G
 - › Lisää kapasiteettia (jopa x 1000) & pienempi viive (jopa 1 ms tasolle)
 - › Runsaasti piensoluja, korkeammilla taajuuksaistoilla
 - › Tarpeita (?): Virtuaalinen todellisuus, itseohjautuvat autot ja muu automaatio

ELEC-C7110

61

5G, 4.2.2018



- » Kauppalehti testasi Elisan kanssa 5G-yhteyttä
 - › laboratorion ulkopuolella (Pasila)
- » 3,5 GHz taajuusalue
- » 5G yhteydellä jopa 700 Mbit/s
 - › Teoriassa (n Laittaisivat nyt edes 4g toimimaan,
 - › Mobiilireitit häpeällistä... 43/50mbs tuli aikanaan
 - › Herkkä esim kun ensimmäisten joukossa sen
 - › alueellani hankin... nykyään tulee hädin
- » Kaupallisesti tuskin 11/150Mbs... Ei kukaan voi
 - › Päätelaitteit myydä litraa vettä jossa on puolidesiä.
 - › Verkkoja laajemmin ZUZU?

<https://www.kauppalehti.fi/>

62

Mobiiliverkon suunnittelu



Minkälaisia **menetelmiä ja periaatteita** soveltaisiin 5G-verkon suunnitteluun, erityisesti tukiasemien sijoittelun ja niissä tarvittavan kapasiteetin kannalta? (hmm... aika vaativa kysymys)

- » Ilman suurta määrää pieniä soluja 5G tavoitteet eivät ole mahdollisia
 - › Olennaisesti kustannuskysymys => mahdollisimman edullisia tukiasemia
- » Huippunopeuksia (> 150 Mbit/s) tarvitaan (vain) joskus
 - › Keskimääräinen käyttö olennaisempaa, mutta paikalliset ja ajalliset huiput huomioitava
- » Mitoituksessa huomioitava
 - › Verkko mitoitetaan (perinteisesti) kiiretunnille, jonka osuus kokonaisliikenteestä on 10 % luokkaa
- » Verkkoa ei voi mitoittaa täyteen (= 100% kiiretunnin aikana)
 - › Jos suuri osa liikenteestä on puheluita (vrt. Erlangin kaava!)
- » Kun suuri osa liikenteestä on joustavaa dataliikennettä,
 - › suuri kuormitus on hyväksyttävissä, jos samalla taataan kriittisille palveluille esteetön palvelu (puhelut ym.)

ELEC-C7110

63

Lähiverkkoteknologiat



- » Bluetooth
 - › Harald Blaaland II
 - › Edullinen, vähän energiaa kuluttava, pienehkö siirtonopeus
- » Wi-Fi [WLAN, IEEE 802.11]
 - › Yleisin langaton lähiverkkotekniikka
 - › Vapaalla taajuuskaistalla (2.4 GHz), ei tarvitse erillistä lupaa
- » WiMAX [IEEE 802.16]
 - › Oikeastaan kaupunkiverkko [MAN] erityiskäyttöön
 - › Mahdollisesti integroituu osaksi LTE-ratkaisuja

ELEC-C7110

64

Lähiverkkojen standardit

Tyyppi	Tuotenimi	IEEE standardi	Vuosi	Taajuus-alue	Max nopeus	Etäisyys sisätila
PAN	Bluetooth v3.0 + HS Smart	802.15.1a	1999	2.4 GHz	721 kbit/s	10 m
		-	2009	2.4 GHz	24 Mbit/s	
		-	2010	2.4 GHz	270 kbit/s	10 m
LAN	Wi-Fi	802.11a	1999	5.7 GHz	54 Mbit/s	35 m
		802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbit/s	35 m
		802.11g	2003	2.4 GHz	54 Mbit/s	38 m
		802.11n	2009	2.4 / 5 GHz	150 Mbit/s	70 m
		802.11ac	2013	5 GHz	3,46 Gbit/s	35 m
MAN	WiMAX WiMAX rel. 2	802.16e	2005	2 - 66 GHz	70 Mbit/s	
		802.16m	2012	1.4 -5.8 GHz	1 Gbit/s	

Tarpeita on erilaisia (nopeus, tehonkulutus, kattavuus, hinta, ...) Yksi ratkaisu ei sovi kaikkeen.

Wi-Fi vs. Solukoverkot

- » Wi-Fi toimii vapailta kaistoilla – **Operaattorit ”vuokratuilla”**
- » Wi-Fi toimii kilpavarausperiaatteella, ei keskitettyä varausmekanismia – **Operaattorit jakavat kaistan ”hallitusti”**
- » Wi-Fi:ssä ei solunvaihtoa (handover) tai roaming-sopimuksia
- » Wi-Fi:n laitteet halpoja ja operointi tarpeen mukaan
- » Wi-Fi:ssä joko ei mitään bisnes-mallia tai Wi-Fi on muun tuotteen ”oheistuote” – **Operaattoreilla on maksavia tilaajia**
- 5G:n myötä tapahtunee konvergoitumista (eli siis samankaltaistumista monilla tasoilla)