



Tietoverkkojen energiankulutus ja päästöt

Opinnäytetyö julkaistu osoitteessa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023122038782>

Energia- ja ympäristötekniikka

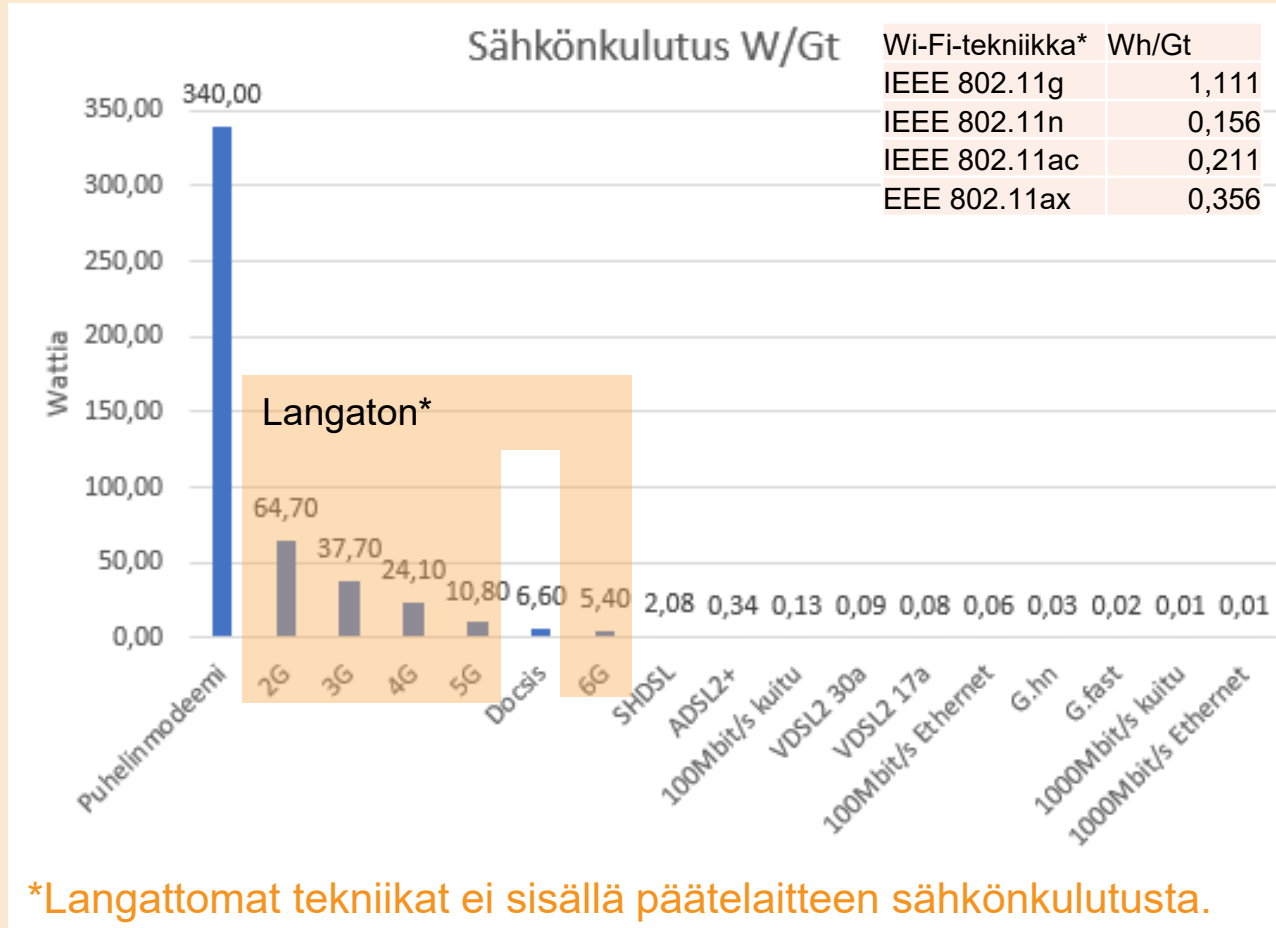
Sami Hautala, 21.4.2024

sami.hautala@iki.fi

Tietolähteet

- Kysely teleoperaattoreille.
- Omat mittaukset ja testit.
- Keskusteluja alalla työskennelleiden ja työskentelevien kanssa.
- Tulokset pohjautuvat pääasiassa Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen eli Joint Research Centren (JRC) vuoden 2021 ”Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment” –raporttiin:
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125961>
- Lukuisat muut julkiset materiaalit ja tutkimukset.

Erityyppisten ti verkkojen sähk6nkulutus



Netflix:

Datan käyttö tunnissa laitetta kohti:

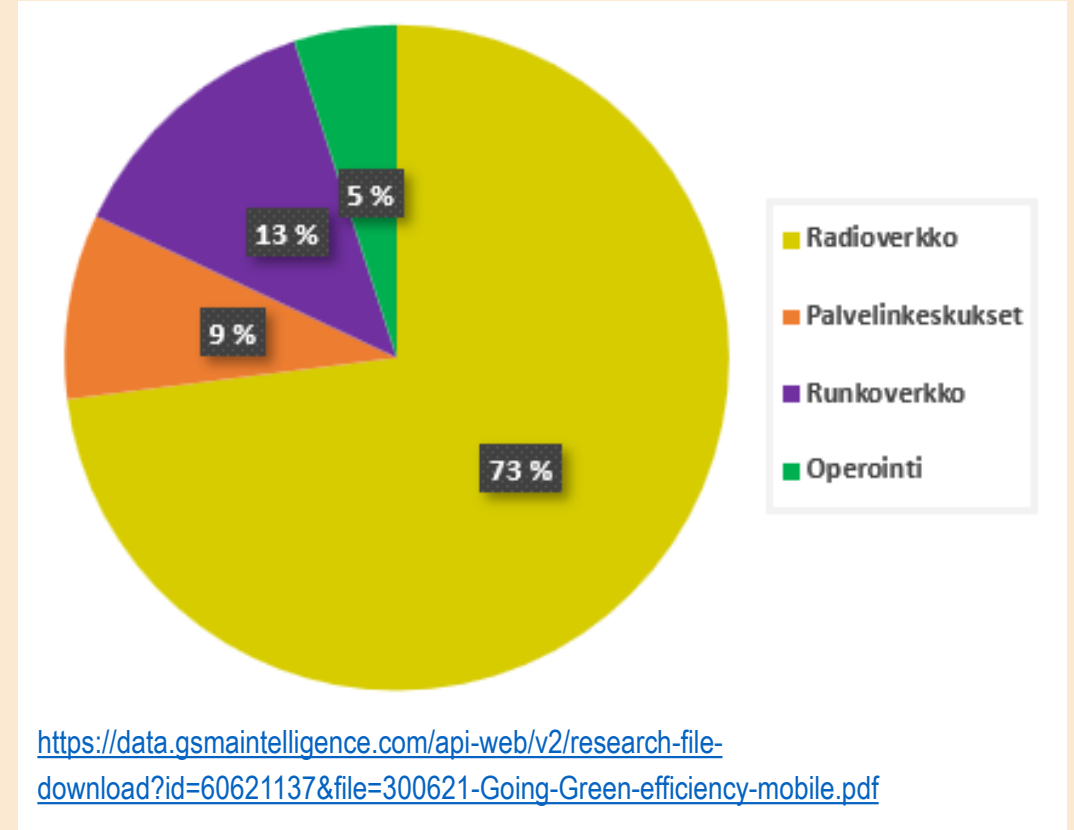
1. **Matala:** Perustason kuvanlaatu, korkeintaan 0,3 Gt
2. **Keskitaso:** Normaali kuvanlaatu, korkeintaan 0,7 Gt
3. **Korkea:** Paras kuvanlaatu:
 - Normaali kuvanlaatu: korkeintaan 1 Gt
 - Teräväpiirto: korkeintaan 3 Gt = ~7 Mbit/s
 - Ultra HD (4K): korkeintaan 7 Gt = ~16 Mbit/s (1)

Spotify:

- Normaali: 0,096 Mbit/s eli 0,04 Gt/h
- Korkea: 0,16 Mbit/s eli 0,07 Gt/h
- Paras: 0,302 Mbit/s eli 0,15 Gt/h (2)

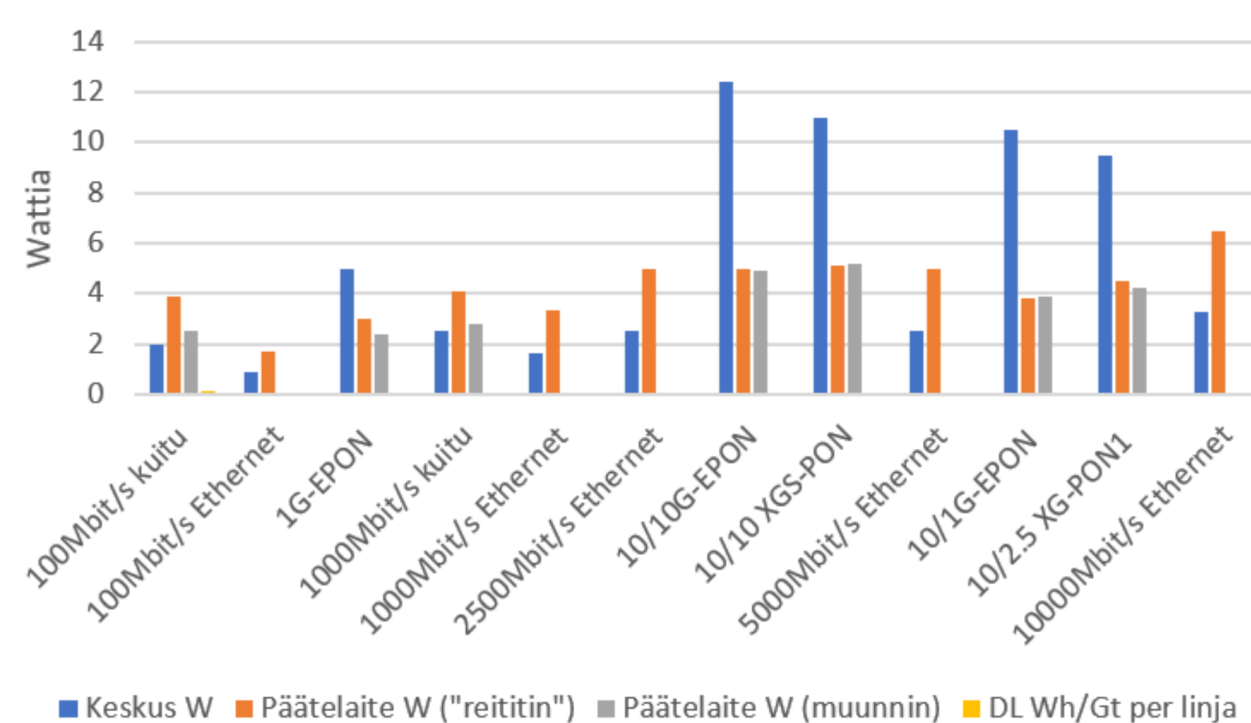
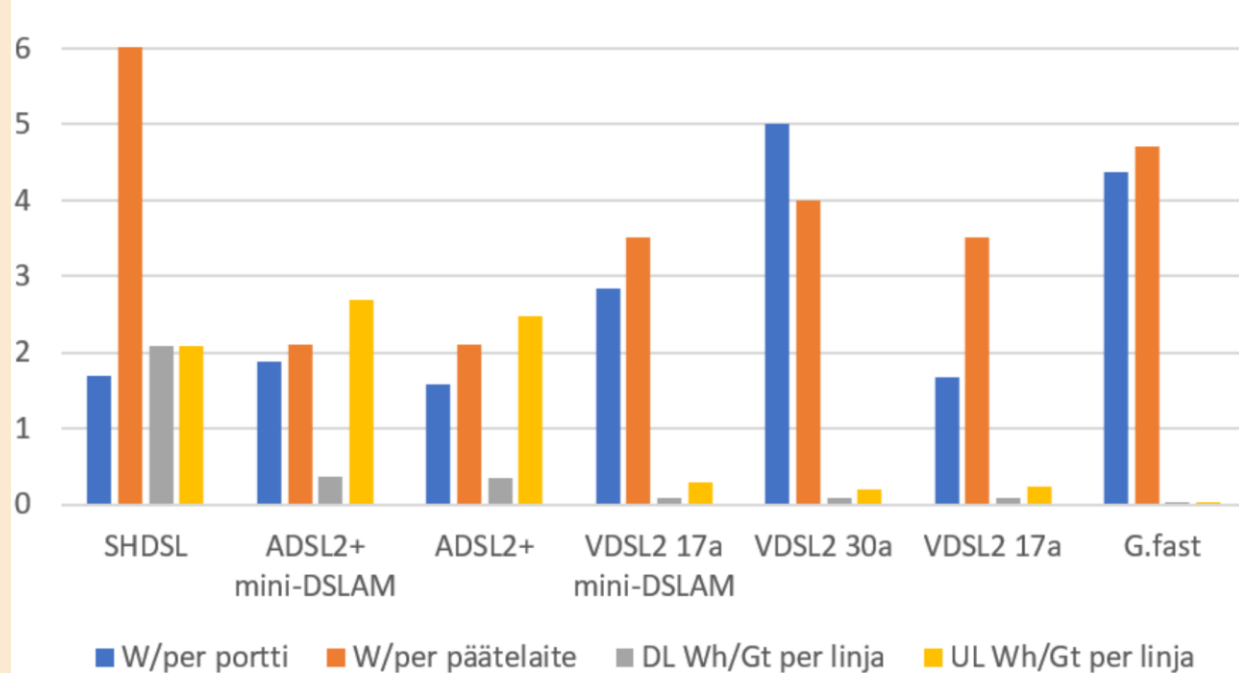
Matkapuhelin teleoperaattorin sähkönkulutus

- Erilaiset tekniikat vievät sähköä eri määrän erilaisilla kaistanleveyksillä.
- Käytettäessä isompaa kaistanleveyttä, sähkönkulutusta saadaan pienennettyä suhteessa siihen, että käytetään pienempää kaistanleveyttä ja useita lähettämiä.
- Esimerkiksi:
 - 2G-tukiasema (5 MHz) 172,4 W
 - 3G-tukiasema (5 MHz) 357,5 W
 - 4G-tukiasema (5 MHz) 390 W
 - 4G-tukiasema (20 MHz) 1000 W (1500 W)
 - 5G-tukiasema (100 MHz) 3000 W (5800 W)= Yhteensä: 4 919,9 W (8 219,9 W)
- Sähkönkulutukseen vaikuttaa suuresti käytetyt komponentit ja niiden energiatehokkuus, vanhoilla komponenteilla sähkönkulutus voi olla jopa moninkertainen. Erityisesti jos jokainen tekniikka on toteutettu omilla laitteillaan erikseen.



Kiinteän verkon laitteiden sähkönkulutuksia

xDSL tekniikat energiatehokkuus järjestyksessä



Mitä nopeampi tekniikka, sitä energiatehokkaammin data siirtyy, mutta nopeammassa tekniikassa kuluu sähköä enemmän yhteyden päällä pitämiseen.

Epäsymmetrisissä yhteyksissä korostuu hitaamman lähetysnopeuden vaikutus energiatehokkuuteen.

Kiinteän verkon laitteiden energiatehokkuus

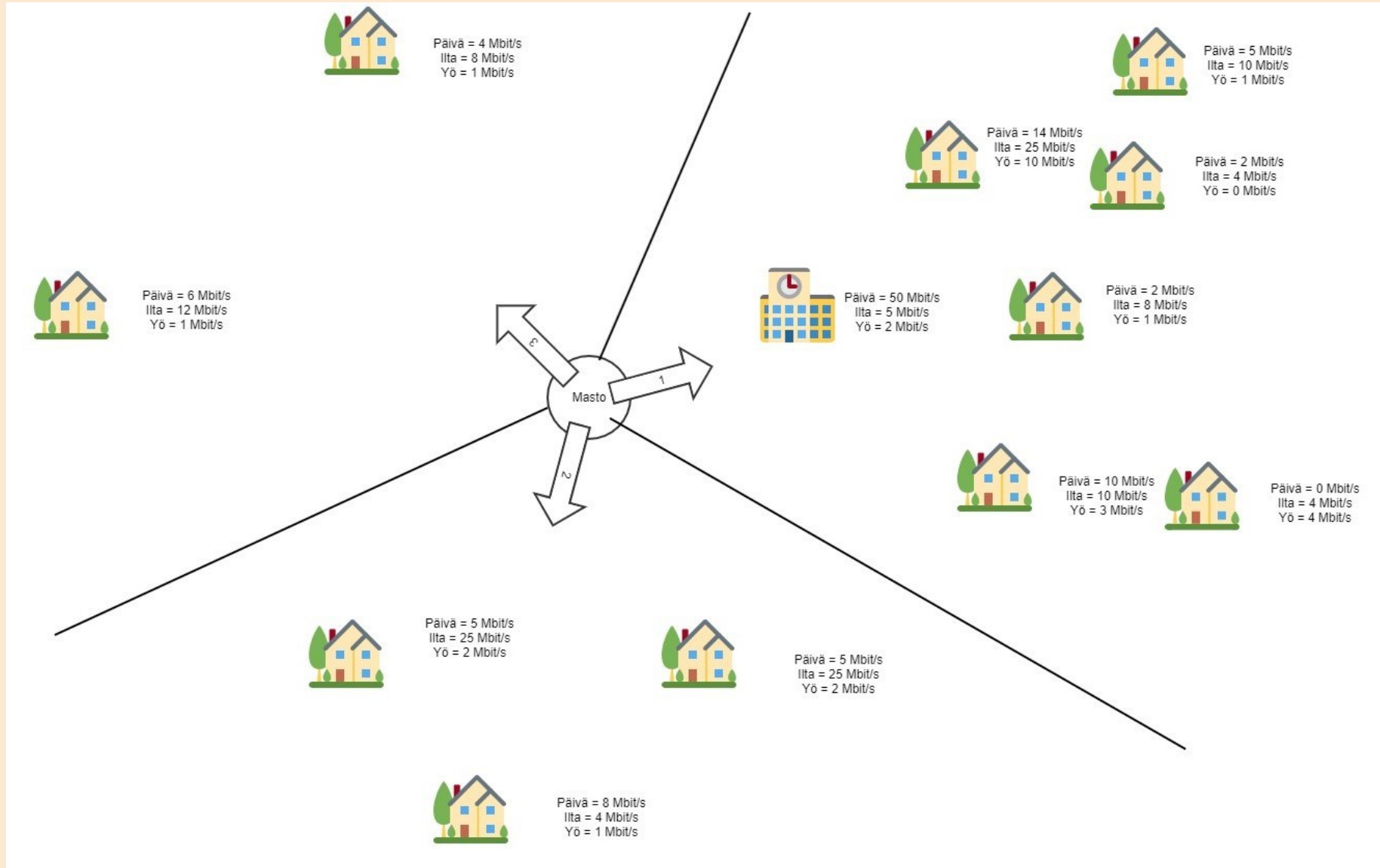
- Laitteen ikä ei kerro energiatehokkuudesta (vanha laite voi olla energiatehokas).
 - Porttimäärä (mitä enemmän portteja sen energiatehokkaampi, jos portit käytössä).
 - Ominaisuudet (kapasiteetti, POE, WLAN, jne. minimoi tarpeettomien ominaisuuksien määrä).
- Mitä nopeampi yhteys sen energiatehokkaampi, jos nopeammalle nopeudelle on tarvetta.
- Epäsymmetrinen nopeus huonontaa energiatehokkuutta etenkin lähetysnopeuden puolella, jos dataa on tarve lähettää paljon.
- Valokuitu vs kuparinen Ethernet, sähkönkulutuksessa ei suuria eroja (riippuu suuresti käytetyistä komponenteista).
- Valokuidun PON-tekniikat energiatehokkaimpia, jos niiden avulla saadaan kapasiteetti riittämään, etenkin kun paljon päätelaitteita yhden portin perässä.
- Virransäästöt mahdollistavat, että myös nopeampia yhteyksiä voi käyttää pienessä kuormassa lähes yhtä energiatehokkaasti kuin hitaampia yhteyksiä (sopiva nopeus on siltikin energiatehokkain ratkaisu, jos käytetty tekniikka on siinä nopeusluokassa energiatehokas).

Yhden 4G tukiaseman sähkönkulutuksella voidaan palvella satoja kiinteän verkon asiakkaita, sekä mahdollistaa moninkertaisen kapasiteetin.

Esimerkkilaskelmien virheet:

- **Matkapuhelinverkon leveämpien kaistanleveyksien osalta sähkönkulutus kerrottu esim.**
 - 4G-tukiasema (20 MHz): $390 \text{ W} * 4 = 1560 \text{ W}$.
 - 5G-tukiasema (100 MHz): $390 \text{ W} * 20 = 7800 \text{ W}$.
- **Ei huomioitu seuraavia asioita:**
 - Varavoimalaitteet (hyötysuhde esim. 80-98%).
 - Kiinteistötekniikkaa (jäähdytys, valaistus, ilmanvaihto).
 - Mahdollisia runkoverkon komponentteja.
 - Puhelinliikenne ja sen tuoma kuormitus muihin kuin lankapuhelin ja 2G-verkkoihin (laskennassa 2G-verkoissa kulkee suurin osa puhelusta).
 - Mahdollisia muita tekijöitä, jotka aiheuttavat nopeuksien laskua (heijastus, ylikuuluvuus, katveet jne.), ne kuitenkin osittain huomioitu yhteysnopeuden laskuna, joka kuitenkin vastaa suurempaa sähkönkulutusta nopeammalla nopeudella, sekä pyritty valitsemaan käytettävä tekniikka ja taajuusalue etäisyyden mukaan.
 - Muita teleyrityksiä (esimerkissä on vain yksi teleyritys, muiden teleyrityksien laitteita ei ole samassa teletilassa, vaikka todellisuudessa todennäköisesti tilat ja masto olisi yhteiskäytössä kahdella tai useammalla teleyrityksellä).

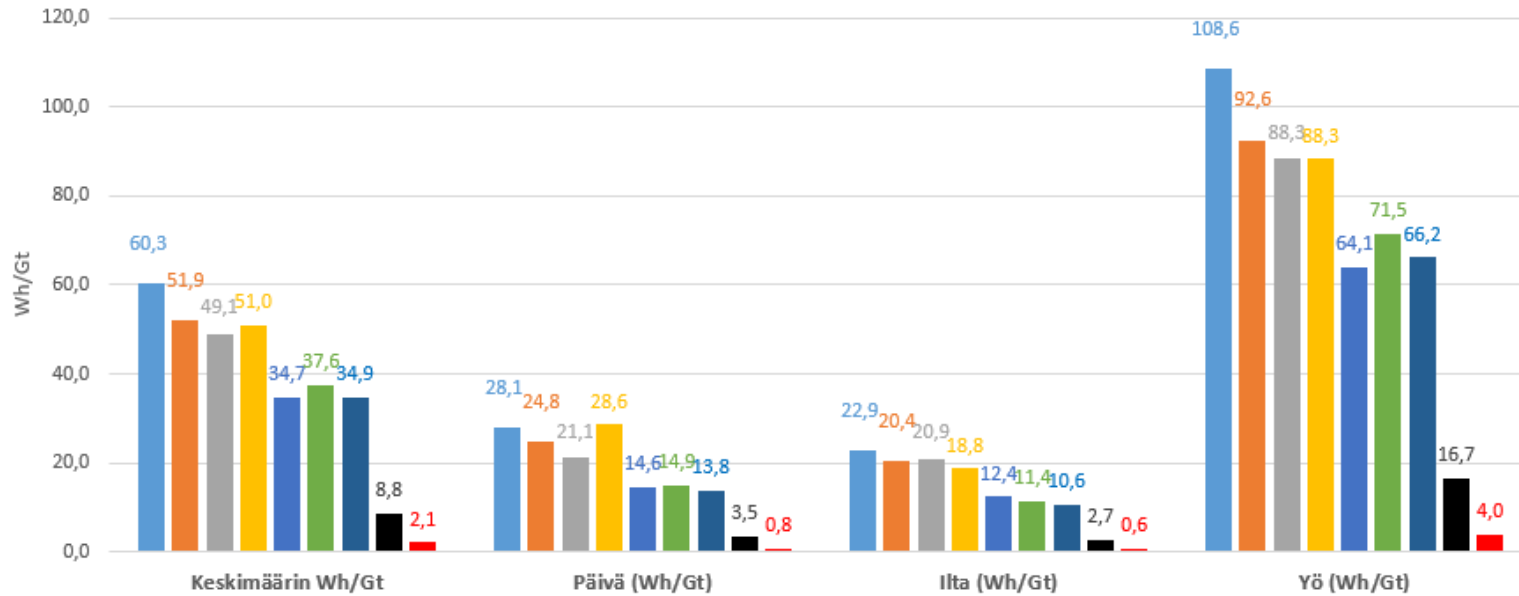
Maaseudun esimerkkilaskelma



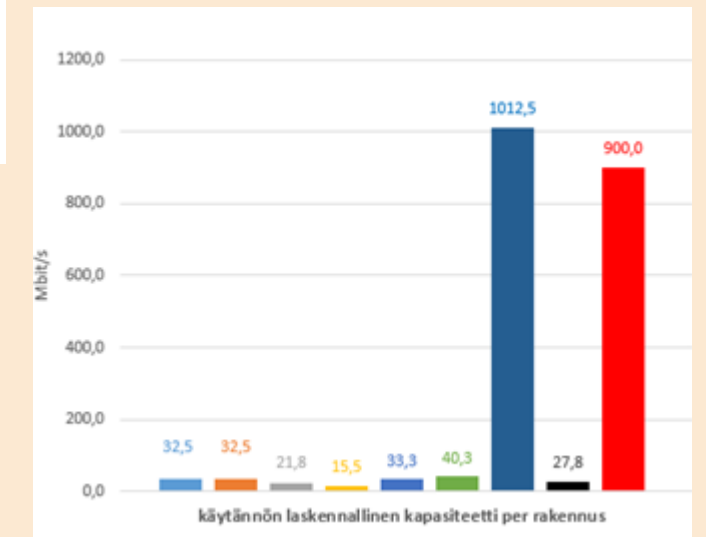
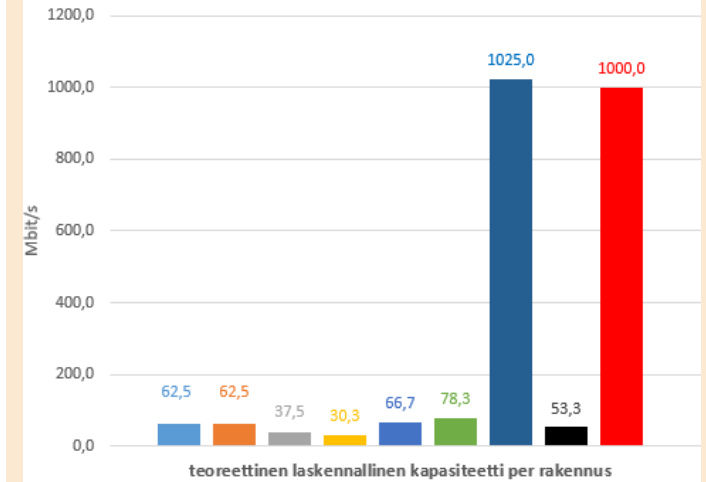
Maaseudun esimerkkilaskelma

Gigatavuja siirtyä keskimäärin: 84Gt/h.
Joten yhden watin muutos vaikuttaa
sähkönkulutukseen 84 Wh eli
vuorokaudessa noin 2 kWh.

Esimerkkilaskelma 1 harvaan asuttu maaseutu: Gigatavun siirtämiseen kuluva sähkö (tilaajayhteisissä)

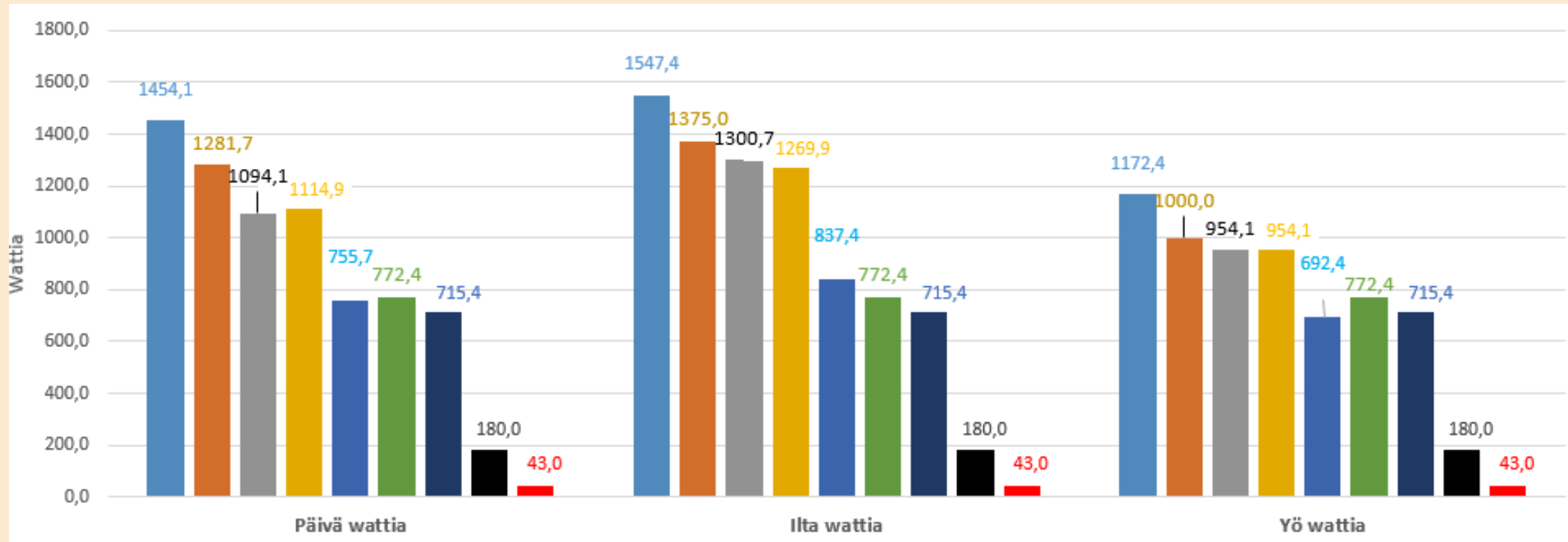


- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz)
- 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) (Sama kuin yllä, ilman 2G:tä)
- 2G (5 MHz) ja 4G (10 + 5 MHz)
- 2G (5 MHz), 3G (5 MHz) ja 4G (10 MHz) kapasiteetti loppuu kesken
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja lähimmät puhelinkaapelia pitkin
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja puhelinkaapelia pitkin netit. 4G low-load sähkönkulutus.
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja valokuitua pitkin netit. 4G low-load sähkönkulutus.
- Puhelin ja netti puhelinkaapelia pitkin. (ei matkapuhelinverkkoa)
- Netti valokuitua pitkin (puhelujen osuutta ei huomioitu). (ei matkapuhelinverkkoa)



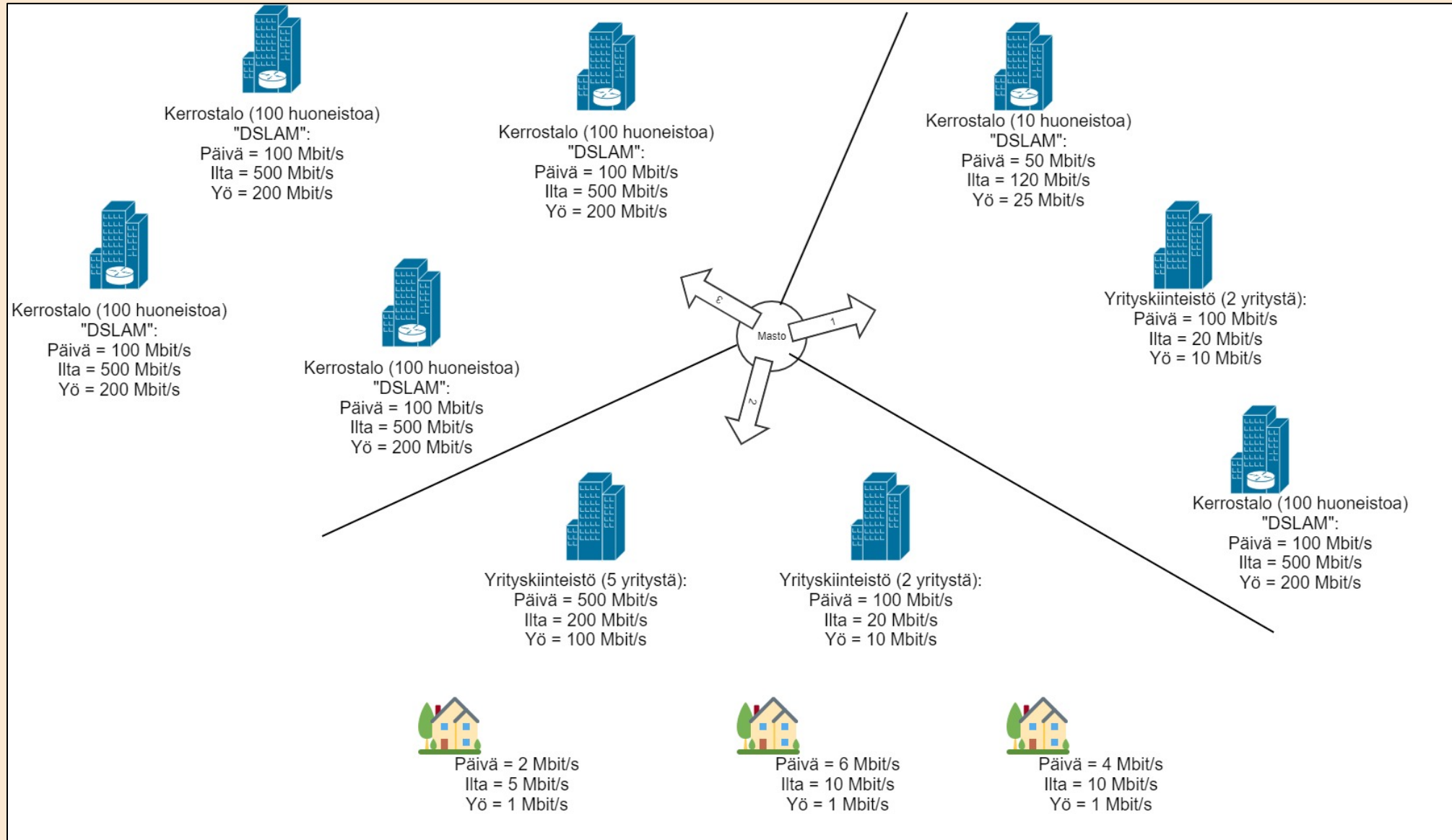
Maaseudun esimerkkilaskelma

Telelaitteiden kuluttama sähkö.
Todellinen koko teletilan sähkönkulutus
on suurempi.



- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz)
- 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) (Sama kuin yllä, ilman 2G:tä)
- 2G (5 MHz) ja 4G (10 + 5 MHz)
- 2G (5 MHz), 3G (5 MHz) ja 4G (10 MHz) kapasiteetti loppuu kesken
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja lähimmät puhelinkaapelia pitkin
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja puhelinkaapelia pitkin netit. 4G low-load sähkönkulutus.
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja valokuitua pitkin netit. 4G low-load sähkönkulutus.
- Puhelin ja netti puhelinkaapelia pitkin. (ei matkapuhelinverkkoa)
- Netti valokuitua pitkin (puhelujen osuutta ei huomioitu). (ei matkapuhelinverkkoa)

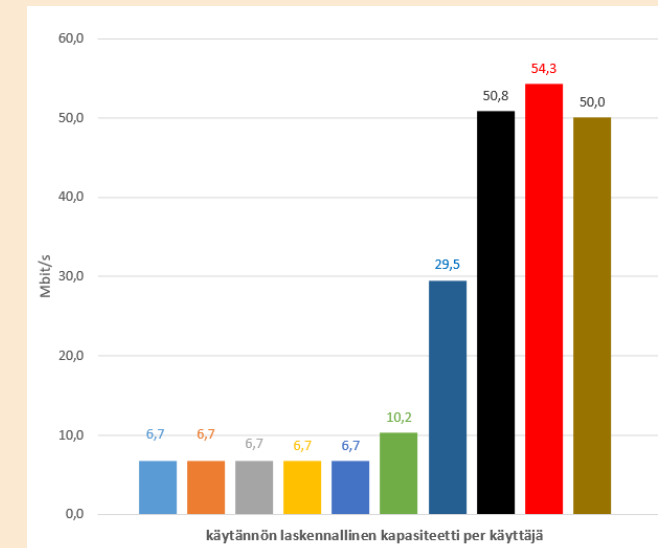
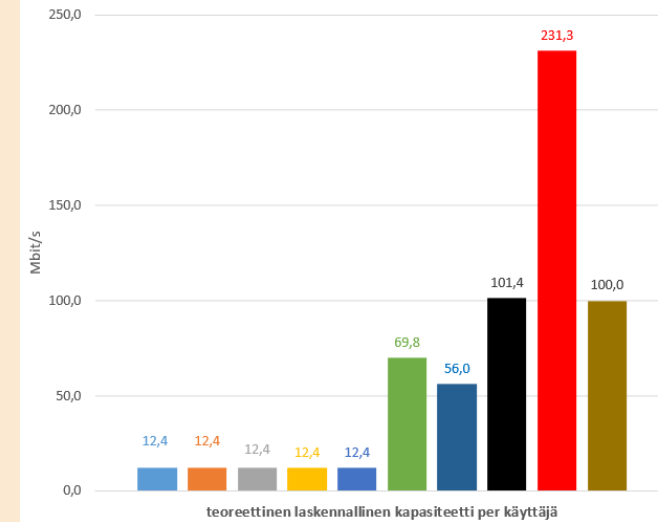
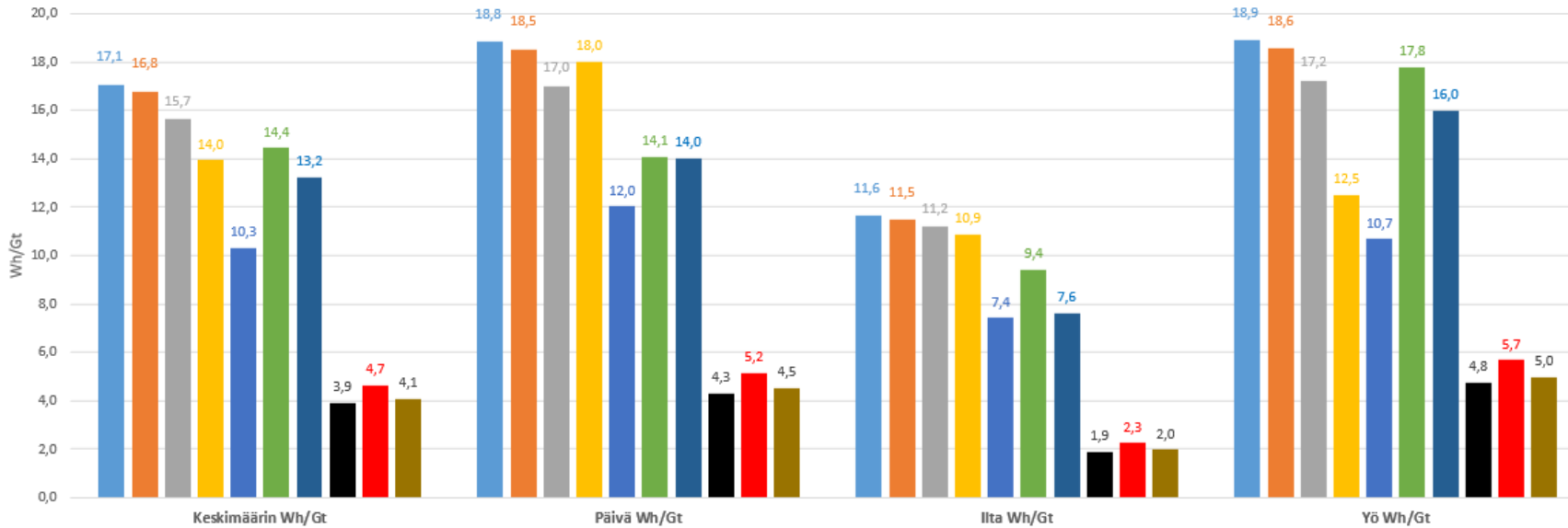
Kaupunkialue esimerkkilaskelma



Kaupunkialue esimerkkilaskelma

Gigatavuja siirtyä keskimäärin: 1620Gt/h.
Joten yhden watin muutos vaikuttaa
sähkönkulutukseen 1,62 kWh eli
vuorokaudessa noin 39 kWh

Esimerkkilaskelma 2 kaupunkialue: Gigatavun siirtämiseen kuluva sähkö tunnissa (tilaajayhteyksissä)

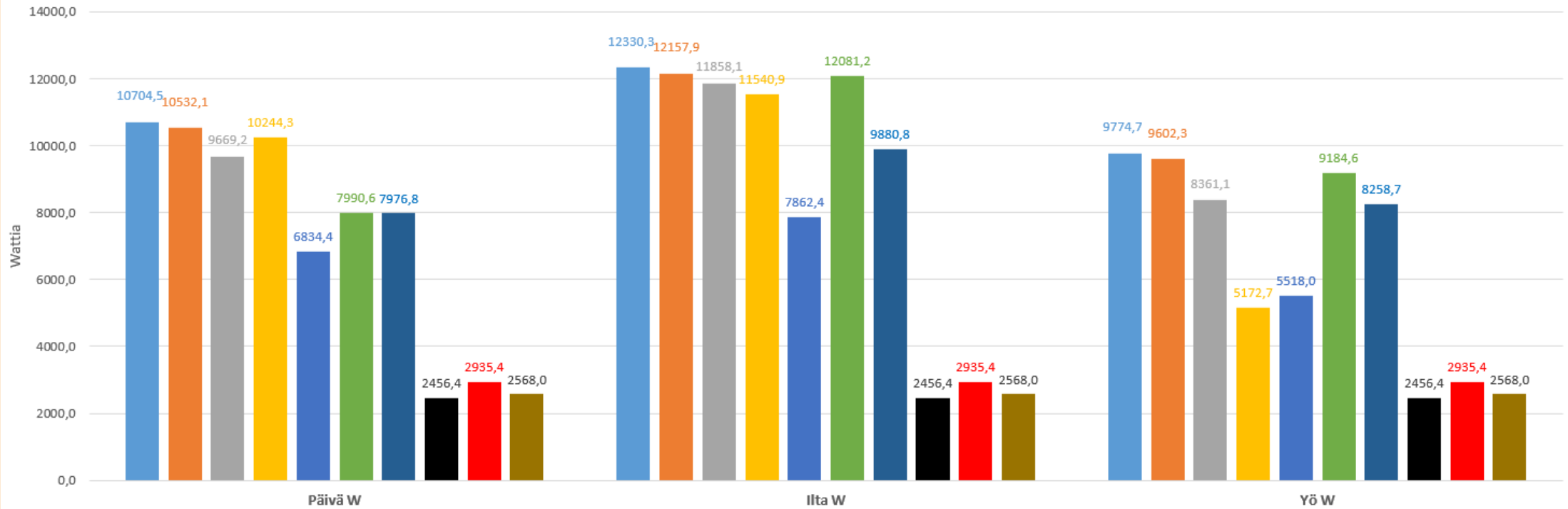


- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100 MHz)
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100 MHz) (Sama kuin yllä, ilman 2G:tä)
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20* + 20* MHz) ja 5G (10 + 100 MHz) *4G sammutus
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100* MHz) *5G sammutus
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20* + 20* MHz) ja 5G (10 + 100* MHz) *yksittäisten solujen sammutus sektorittain
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100 MHz) + kolmeen kiinteistöön kiinteä yhteys (kuitu ja tarvittaessa DSLAM)
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) + lähimpiin kiinteistöihin kiinteä yhteys (kuitu ja tarvittaessa DSLAM)
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) + puhelinkaapelia pitkin kaikkiin VDSL2
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) + kuitu + kuudessa kiinteistössä DSLAM
- Ei matkapuhelinverkkoa ja puhelinkaapelia pitkin netti + puhelin.

Kaupunkialue esimerkkilaskelma

Telelaitteiden kuluttama sähkö.
Todellinen koko teletilan sähkönkulutus on suurempi.

Esimerkkilaskelma 2 kaupunkialue: Telelaitteiden sähkönkulutus



- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100 MHz)
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100 MHz) (Sama kuin yllä, ilman 2G:tä)
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20* + 20* MHz) ja 5G (10 + 100 MHz) *4G sammutus
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100* MHz) *5G sammutus
- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20* + 20* MHz) ja 5G (10 + 100* MHz) *yksittäisten solujen sammutus sektorittain

- 2G (5 MHz), 4G (10 + 20 + 20 + 20 MHz) ja 5G (10 + 100 MHz) + kolmeen kiinteistöön kiinteä yhteys (kuitu ja tarvittaessa DSLAM)
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) + lähimpiin kiinteistöihin kiinteä yhteys (kuitu ja tarvittaessa DSLAM)
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) + puhelinkaapelia pitkin kaikkiin VDSL2
- 2G (5 MHz), 4G (10 MHz) ja 5G (10 MHz) + kuitu + kuudessa kiinteistössä DSLAM
- Ei matkapuhelinverkkoa ja puhelinkaapelia pitkin netti + puhelin.

Esimerkkilaskelmien johtopäätökset

- **Kiinteän verkon käyttö säästää sähköä.**
 - **Valokuitu ensisijaisesti, koska se on energiatehokkain ja mahdollistaa myös tulevaisuuden nopeudet.**
 - **Toissijaisesti kupariverkko (puhelinverkko) alle kilometrin pituuksilla.**
 - G.hn tekniikan avulla kupariverkosta saa noin 100Mbit/s nopeudet kilometrin linjapituudella kahta paria käyttämällä. Ilmakaapeleilla testattu saatavan noin 250/200Mbit/s 800metrin matkalla.
 - Pitemmillä etäisyyksillä kupariverkon hyödyntäminen dataliikenteeseen on nykyään kyseenalaista. Vaihtoehdoiksi jää ADSL2+ tai SHDSL eli nopeudet jäävät alle 20Mbit/s ellei käytetä useita pareja ja esim. kuormantasausta kahden yhteyden välille, toki ADSL2+:an 10Mbit/s riittää vielä Full HD (1080p) kuvan katsomiseen joka useimmille riittää.
 - **Puhelinverkon korjausvelka ja vanhat paperi/lanka eristeiset kaapelit voivat tehdä yhteydestä käyttökelvottoman.**
 - **Koaksiaalikaapelia pitkin pitemmät matkat tai kohteet joissa ei puhelinverkon laatu/kapasiteetti riitä.**
 - Jos on tarvetta TV-kanaville koaksiaalikaapelia kannattaa suosia puhelinverkon sijasta.
- **Matkapuhelinverkko ensisijaisesti puheluille ja liikkuvaan käyttöön.**
 - Toissijaisesti Internet-liikennettä varten, jos ei kiinteän verkon kautta mahdollista toteuttaa riittävän nopeaa yhteyttä tai etäisyys keskukseseen on pitkä (yli kilometri).

Esimerkkilaskelmien johtopäätökset

- Matkapuhelinverkossa vaikea taata riittävää kapasiteettia ja laatua käyttäjille, ilman tiheää tukiasemaverkostoa. Näissä esimerkkilaskuissa osassa tapauksissa matkapuhelinverkon kapasiteetti loppuu kesken. Vielä kun huomioidaan puhelut ja muut matkapuhelinverkossa olevat laitteet todennäköisesti kapasiteetti loppuu entistä pahemmin kesken ja yhteys on siten käyttökelvoton.
- Olemassa oleville käyttäjiä ei saa unohtaa, heille on oltava mahdollisuus saada vähintään vastaavanlaatuinen yhteys, voiko matkapuhelinverkko kyetä siihen? Teknisiä haasteita on esimerkiksi kapasiteetin, viiveen ja IP-osoitteiden kanssa.

EU:n direktiivi 2018/1972. 81 artikla: *”Siirtyminen aikaisemmasta infrastruktuurista”*

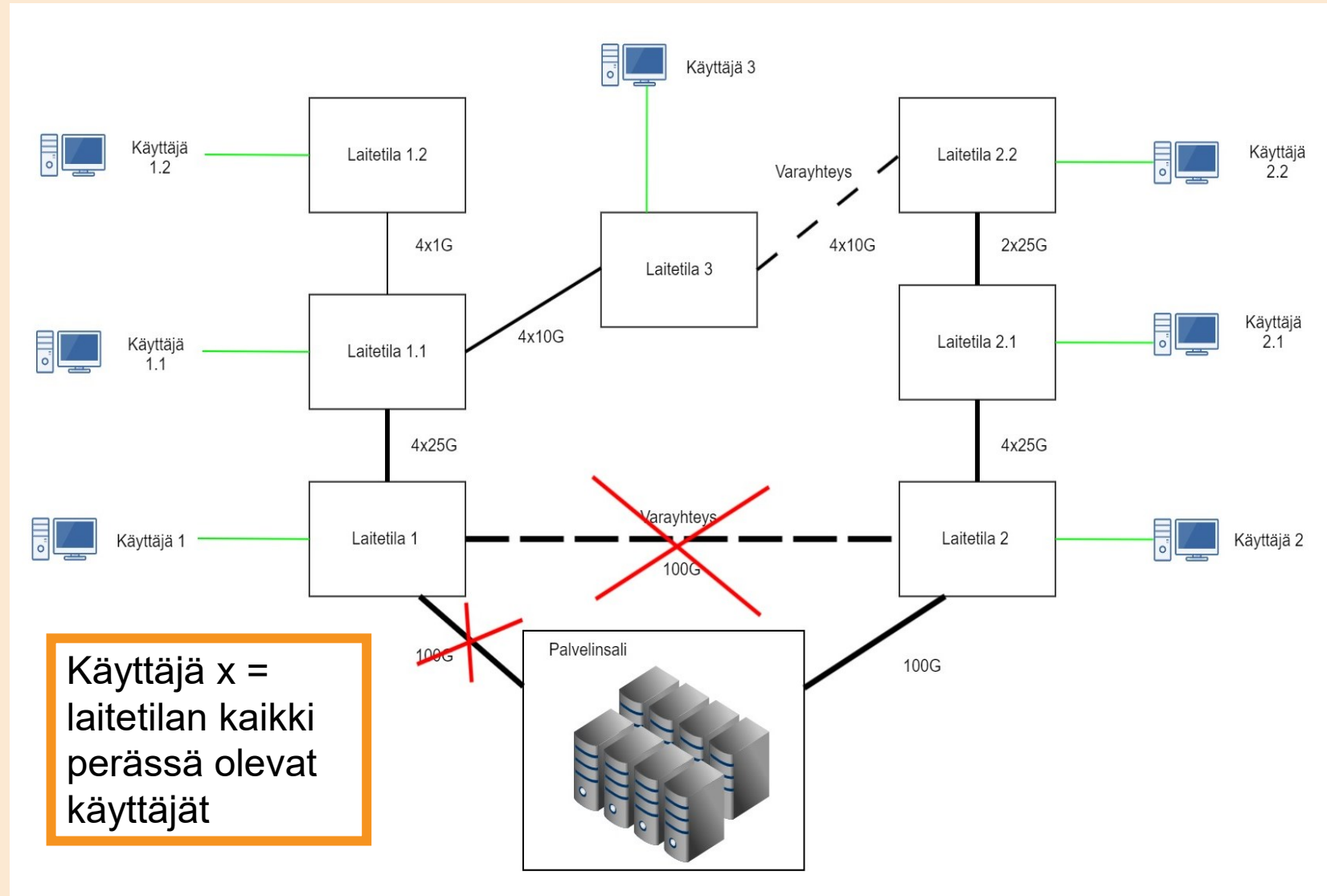
”asianmukaista irtisanomis- ja siirtymäaikaa, ja varmistetaan sellaisten vähintään vastaavanlaatuisten vaihtoehtoisten tuotteiden saatavuus”

” asettamalla saataville vähintään vastaavanlaatuisen vaihtoehtoisen käyttöoikeustuotteen, joka mahdollistaa samojen loppukäyttäjien saavuttamisen kuin olemassa olevassa infrastruktuurissa”

Jos edellytykset ei täyty, valvova viranomainen voi estää verkon purun tai korvaamisen. (Valvontaan ei resursseja (valistuneet kansalaiset valvoo)).

Runkoverkon esimerkkilaskelma

- Lasketaan kuinka verkon kuorma vaikuttaa sähkönkulutukseen, kun voidaan sammuttaa tai laittaa päälle valokuitu yhteyksiä tarpeen mukaan.
- Lasketaan kuinka sähkönkulutus muuttuu, jos (punaisella merkattu) pää ja varayhteys vioittuu.

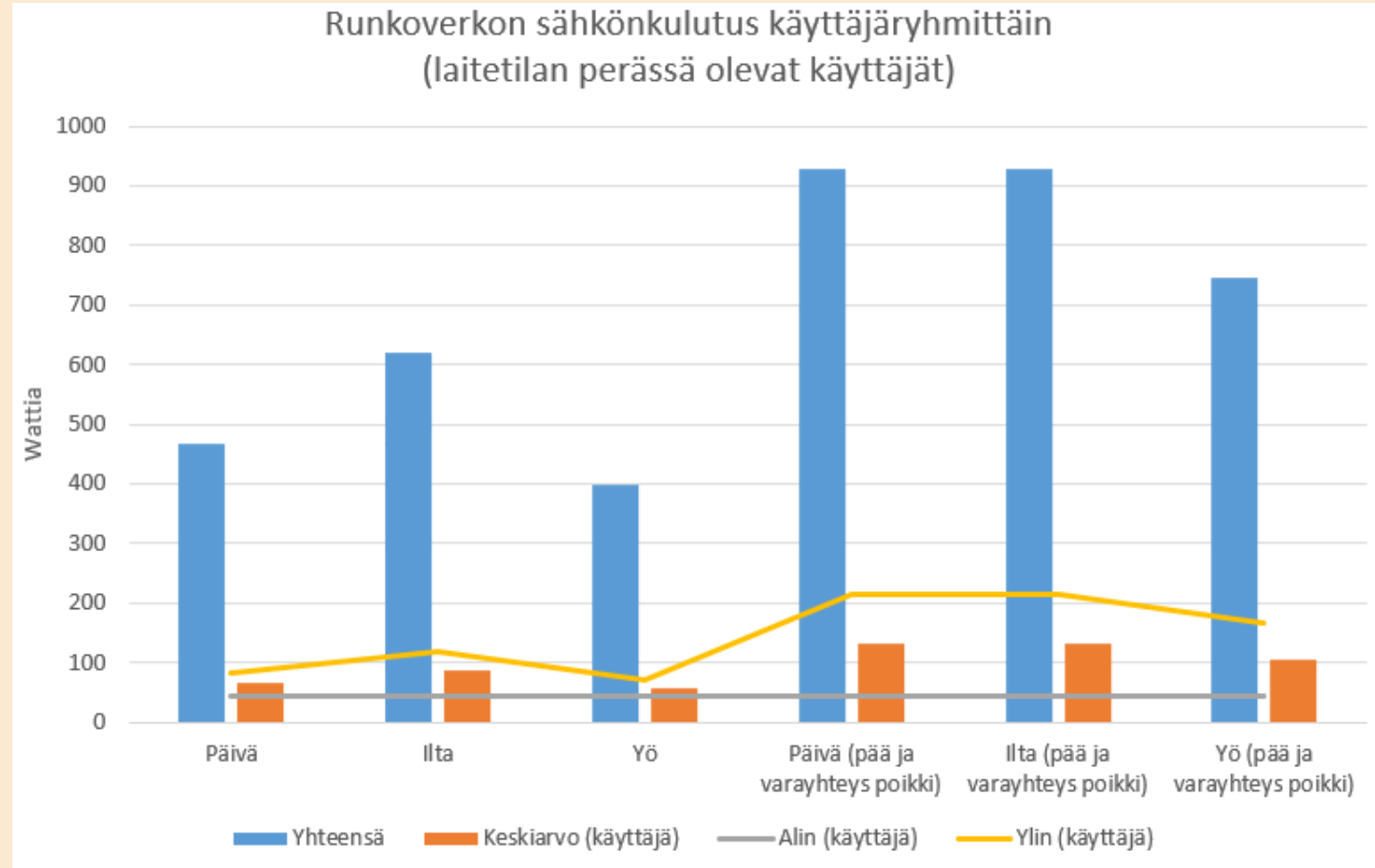


Runkoverkon esimerkkilaskelma

- Usean pienemmällä nopeudella olevan valokuitulinkin avulla voidaan säästää sähköä sammuttamalla osa linkeistä verkon kuormitusasteen mukaan.
- Mitä nopeampi valokuitulinkki, sitä energiatehokkaampi, mutta sitä suurempi sähkönkulutus matalalla kuormitusasteella.
- Sähkönkulutus kasvaa jos yhteys kiertää useamman solmupisteen läpi.

Kuormitusasteet:

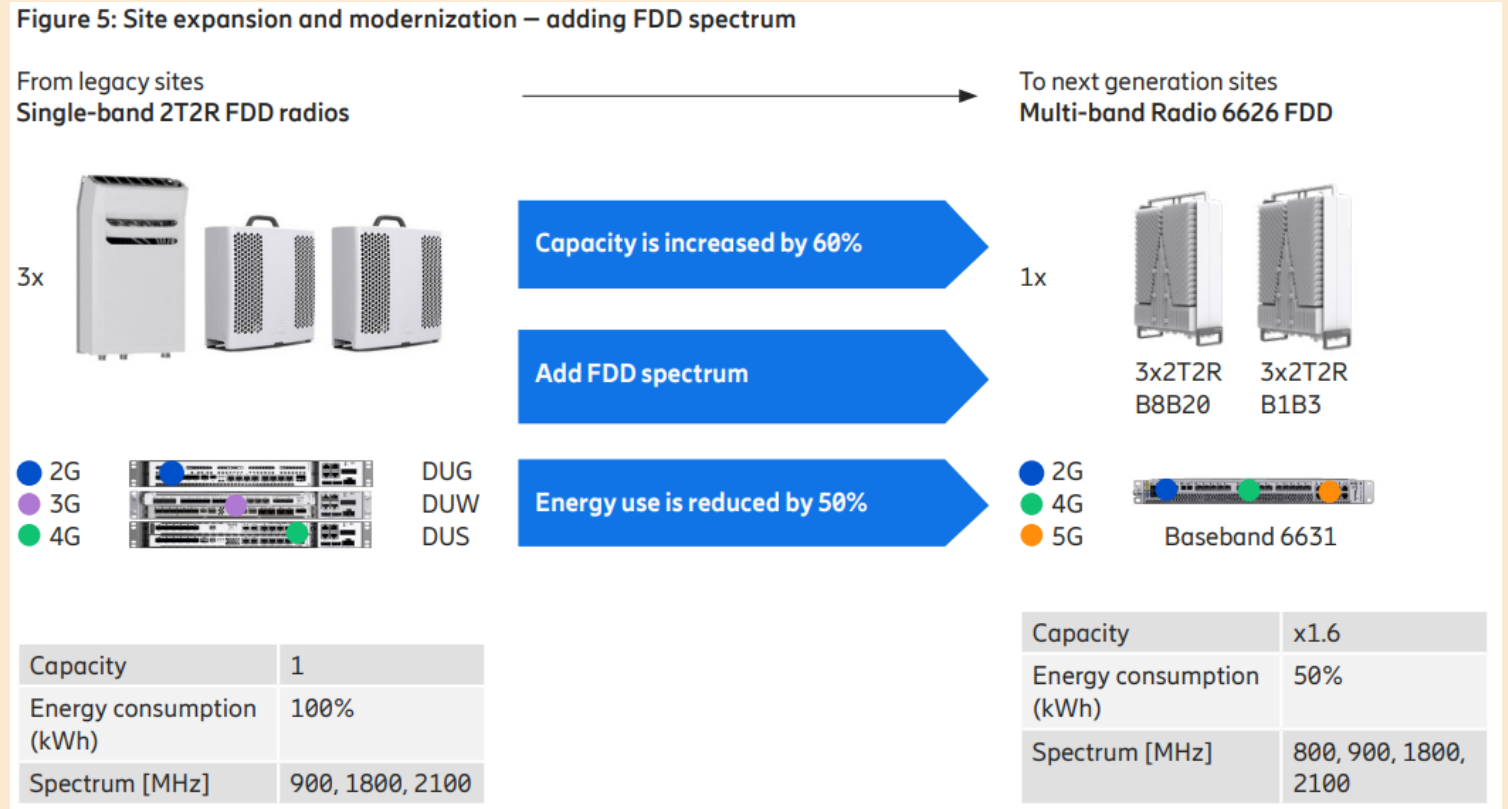
- Päivä 50%
- Ilta 80%
- Yö 20%



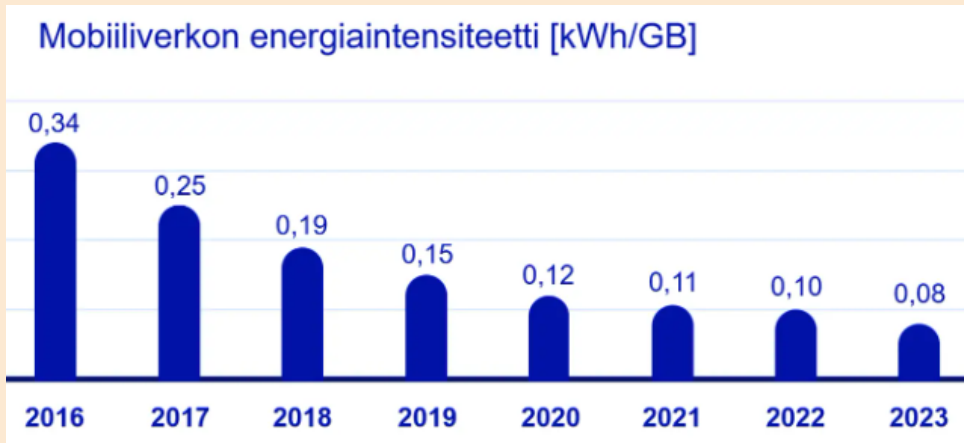
Matkapuhelinverkkojen sähkönkulutuksen kehitys

Sähkönkulutus on laskenut energiatehokkaampien matkapuhelinverkon komponenttien avulla. Etenkin radioiden hyötysuhde on kasvanut ja samalla sähkönkulutus on laskenut paljon. **Radiot vie eniten matkapuhelinverkon komponenteista sähköä.**

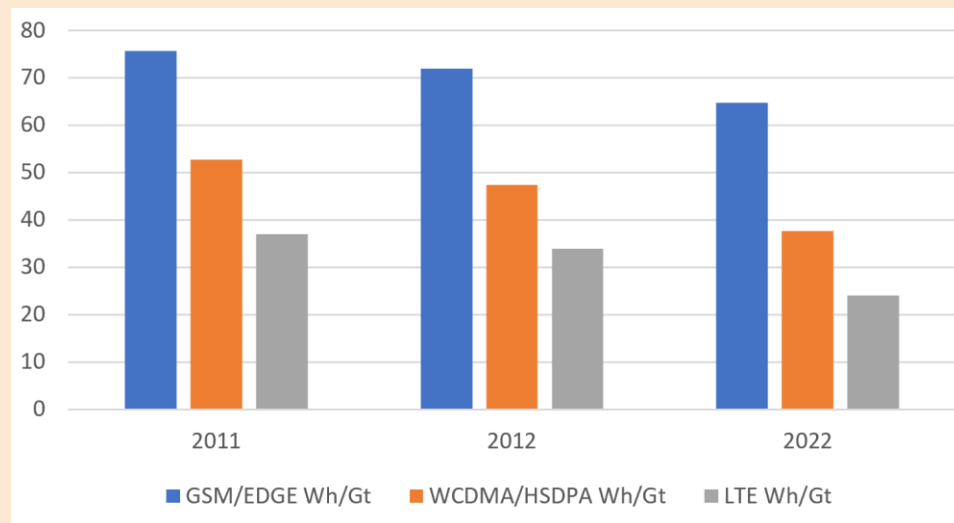
Multi-band radioiden avulla voidaan saavuttaa merkittävä energiansäästö, sekä tarjota energiatehokkaasti myös useita eri matkapuhelinverkkojen sukupolvia.



Matkapuhelinverkkojen sähkönkulutuksen kehitys



(1)

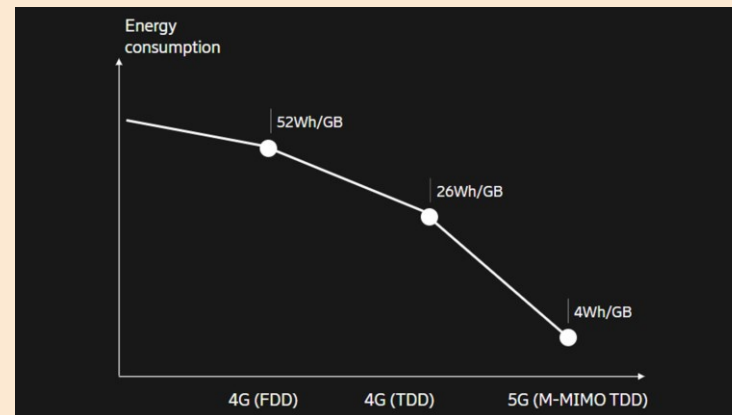


(3)

Telia (Suomi) 2022 arviolta (ei mukana matalia taajuuksia):
 4G: 0,117 kWh/Gt
 5G: 0,501 kWh/Gt

(2)

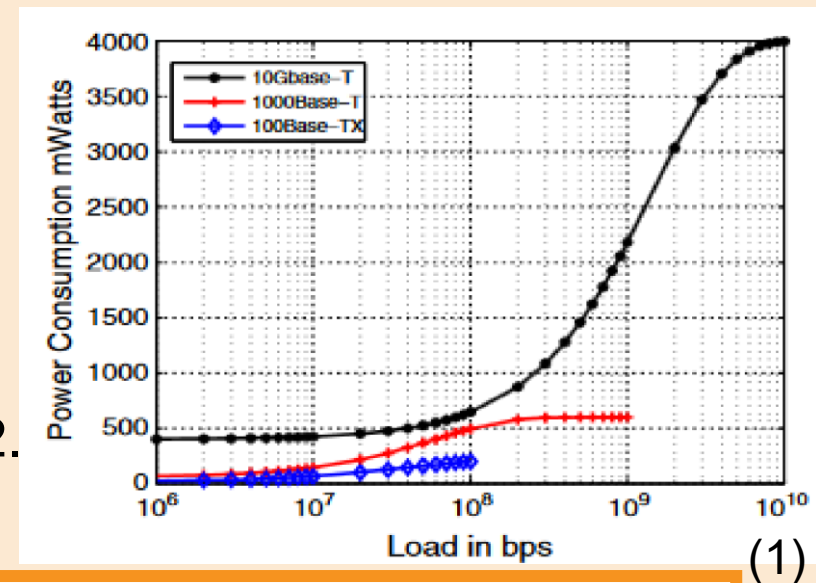
Vasta rakennettu matkapuhelinverkko on vajaakäytöllä ja sen energiatehokkuus on todella huono. Paras energiatehokkuus saavutetaan käyttämällä koko verkon kapasiteetti, sulkemalla verkko tai viivästyttämällä rakentamista (saadaan verkolle todellinen tarve).



(4)

Kiinteän verkon sähkönkulutuksen kehitys

- Nopeudet kasvaneet, samalla energiamäärällä siirtyy suurempi määrä dataa.
- Sopivat porttimäärät ja laitteiden modulaarisuus.
- Virransäästö toiminnot (alhaisen kuormituksen tilanteissa).
 - Energy Efficient Ethernet (EEE) ja mukautuva linkkinopeus ks. kuva ->
 - Muiden tekniikoiden virransäästö toiminnot esim. VDSL2.



Ilman virransäästö ominaisuuksia, nopeampien porttejen/tekniikoiden kautta pienellä nopeudella tehty tiedonsiirto kuluttaa paljon enemmän sähköä kuin hitaammilla porteilla/tekniikoilla ero on siltikin merkittävä.

Tietoliikenteen päästöerot

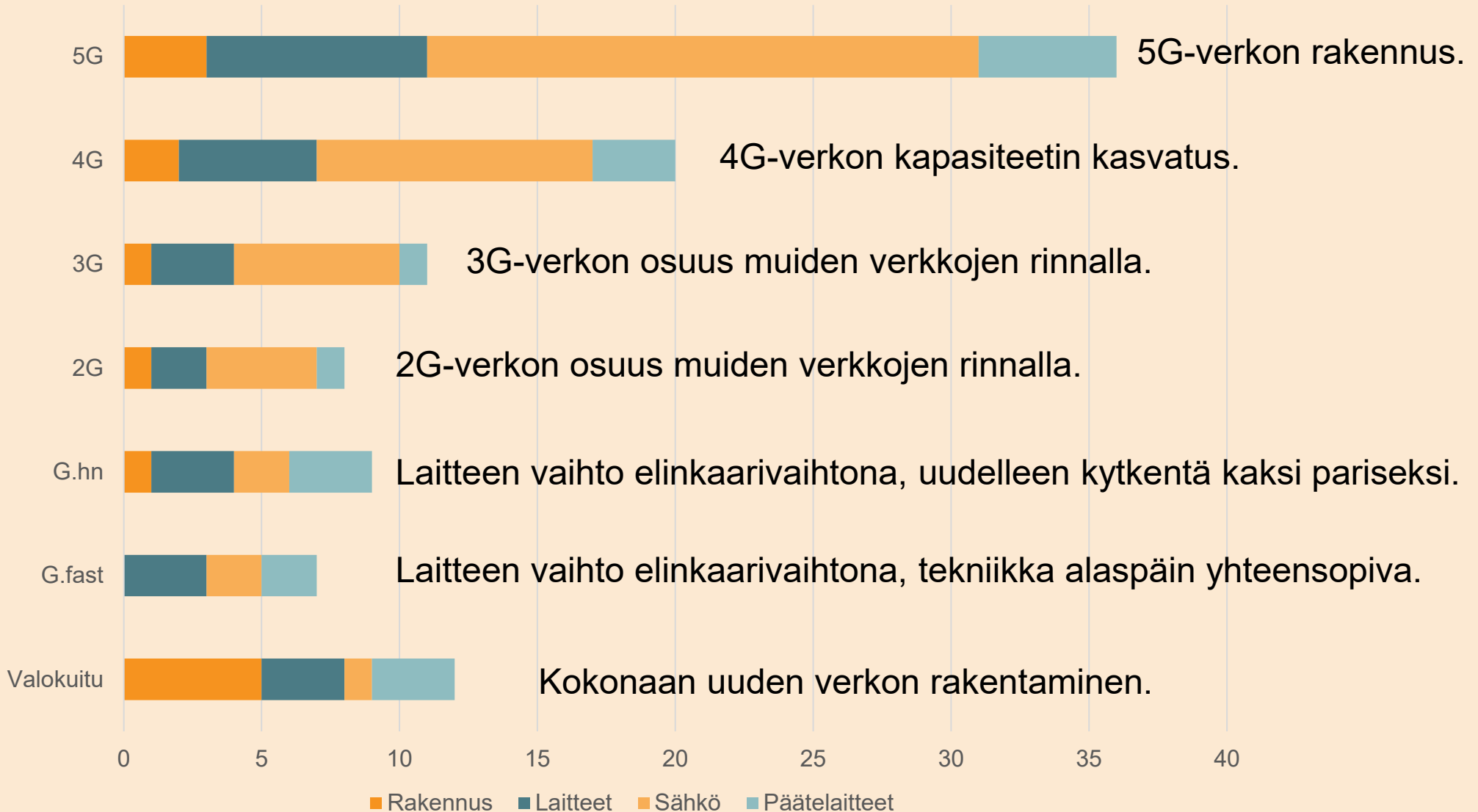
Kiinteä verkko:

- + Pitkä elinkaari verkolla +50 vuotta
- + Pitkä elinkaari laitteilla 10-25 vuotta
- + Matala sähkönkulutus
- Verkon rakennus
- Kiinteä (ei voi ottaa mukaan)
- Vianselvitys ja korjaus
- Useat eri tekniikat, jotka ei ole alaspäin yhteensopivia
- Verkon purkaminen (maakaapelit)

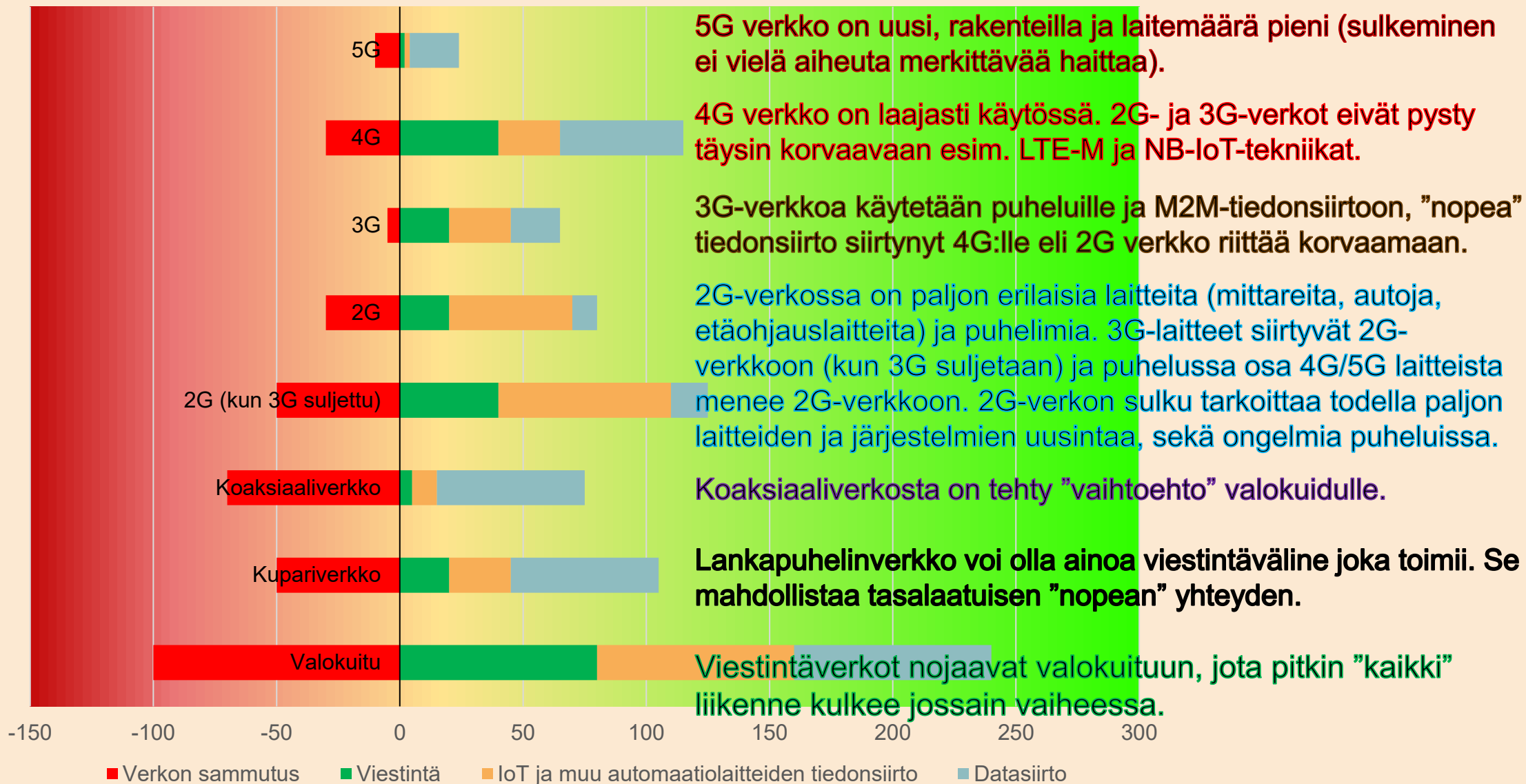
Matkapuhelin verkko:

- + Liikkuva (voi ottaa mukaan)
- + 2G-verkolla erittäin kattava laitetuki (uudet laitteet alaspäin yhteensopivia)
- + Pitkä elinkaari 2G verkolla +30 vuotta
- Lyhyt elinkaari laitteilla 4-10 vuotta
- Korkea sähkönkulutus
- Verkon rakennus
- Vianselvitys ja korjaus
- Uudet tekniikat ei yhteensopivia vanhojen laitteiden kanssa

Tietoliikenteen päästöjen osuus eri tekniikoissa (arvio)




Tietoliikenteen kädenjälki (arvio)



Miten hävittää käytöstä poistuvan verkon komponentit kestävästi?

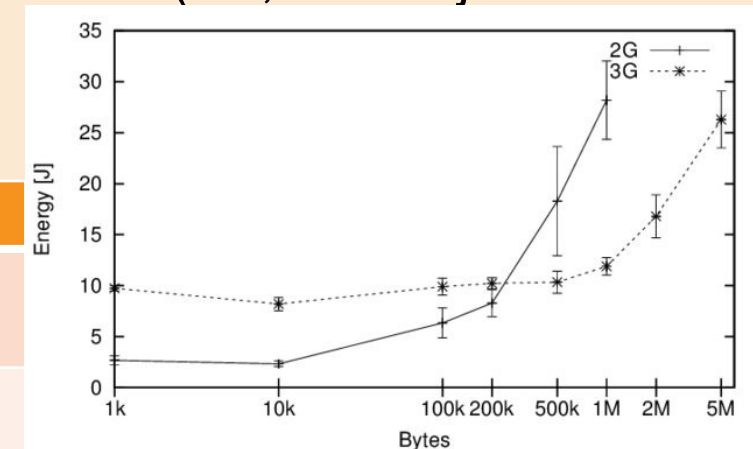
- Jättämällä varayhteydeksi, mahdollisen kriisitilanteen varalle.
- Antamalla eteenpäin (hyödyntäminen sellaisenaan tai uuteen käyttötarkoitukseen)
Esimerkiksi: kyläverkko, automaatioyhteydet, -ohjaukset ja syöttämään pienellä teholla laitteita (esim. verkkolaitteet, valaistus, vahvistimet jne.) Erilaisia uusia sovelluksia voisi olla valokuitumodeemille sähkönsyöttö sähköverkon vikaantuessa, valaistus (roskakatokselle, kujalle tai postilaatikolle) tai älypostilaatikko.
- Luovuttamalla museolle.
- Hyödyntäminen osina tai muussa käytössä esim. myymällä (puhelinkaapeli soveltuu esim. IoT-käyttötarkoituksiin, samoin kotelot, kaapit jne.).
- Viimeinen vaihtoehto kierrätys materiaalina (raaka-aineeksi), energiana tai loppusijoitukseen (Jätelaki 8§ 646/2011).

Matkapuhelinverkon päätelaitteiden sähkönkulutus (esim. älypuhelin)

- Matkapuhelinverkon päätelaitteet kuluttavat noin 10% sähköä verrattuna tukiasemien kulutukseen. (1)
- Pienten datamäärien siirto on energiatehokkaampaa hitaassa verkossa (2G, LTE-M ja NB-IoT). Katso kuva 

Matkapuhelimen kulutuksia (mitattu):

| Tekniikka | Huawei Honor 8 (4G) | Samsung Flip 5 (5G) |
|---|---------------------------------|--|
| Data pois IDLE 2G / 3G / 4G / 5G (NSA) mA (12,4 V) | 11-14mA / 12-13mA / 13-20mA / - | 12-15mA / 12mA / 12-17mA / - |
| Data päällä IDLE 2G / 3G / 4G / 5G (NSA) mA (12,4 V) | Ei testattu | 19-25mA (harvoin piikkejä) / - / 20-40mA (usein piikkejä) / ~39mA (usein piikkejä) (piikit: 120-300mA) |
| Puhelu (kuuntelu) 2G / 3G / 4G / 5G (NSA) mA (12,4 V) | 38mA / 63-65mA / - / - | 48-50mA / 56mA / 42-43mA / - |
| Puhelu (lähetys) 2G / 3G / 4G / 5G (NSA) mA (12,4 V) | ~120mA / 63mA / - / - | 150-160mA / 120mA / 41-50mA / - |



(1)

Miten pienentää omaa osuutta sähkönkulutuksesta

- Suosi kiinteitä yhteyksiä (tai kiinteän yhteyden kautta olevaa Wi-Fi yhteyttä)
- Sammuta päätelaitteet (esim. Reititin, modeemi) kun et tarvitse niitä

Kiinteä verkko:

- Käytä energiatehokkaita laitteita.
- Valitse tarpeitasi vastaava yhteysnopeus ja tekniikka.
- Vältä kaapelimodeemia, jos muita sopivan nopeuksisia kiinteänverkon tekniikoita saatavilla.

Matkapuhelin verkko:

- Siirrä dataa parhaassa signaalin voimakkuudessa mahdollisimman nopeasti.
- Valitse sopivin verkkosukupolvi käyttötarpeita nähden esim.
 - 2G pieniin datamääriin (pikaviestimet, sähköposti)
 - 5G isojen tiedostojen lataaminen