

Tämä on rinnakkaistallenne. Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Linja-aho, V. (2022). Internet – ilmastoja kuormittava sähkösyöppö vai ei?. *Skeptikko*, 3, s. 10-14.

This is an electronic reprint of the original article.
This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version:

Linja-aho, V. (2022). Internet – ilmastoja kuormittava sähkösyöppö vai ei?. *Skeptikko*, 3, pp. 10-14.

© Skepsis ry



Internet – ilmastoa kuormittava sähkösyöppö vai ei?

VESA LINJA-AHO

Sähkön hinnan Suomessa arvioidaan nousevaan ennätykseen talvella. Syynä on ennen muuta Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan ja sen seuraukset energiamarkkinoilla. Sähköä kehoitetaan säästämään. Paljonko internet vie sähköä? Entä mikä on internetin hiilijalanjälki?

ILMASTOTUTKIJAT ovat varoitelleet ilmastonmuutoksesta seurauksineen jo pitkään, mutta vasta 2010-luvulla huoli ilmastonmuutoksesta levisi ”puunhalaajien puuhastelusta” tavallisen keskiluokkaisen ihmisen kahvipöytään.

Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää monella tavalla aina lainsäädännöstä uuden teknologian käyttöönottoon. Moni arkipäiväinen asia tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä. Yksittäisen kuluttajan tekemä päästöjä vähentävä valinta vaikuttaa ihmiskunnan kokonaispäästöihin mitättömän vähän, mutta se voi toimia kimmokkeena asiasta käytävälle julkiselle keskustelulle ja sitä

kautta levitä laajemmaksi ilmiöksi ja vaikuttaa poliittisiin päätöksiin. Päätösten tueksi tarvitaan tietoa.

Yksityinen ja yleinen sekoittuvat keskustelussa helposti. Esimerkiksi ilmailusektori tuottaa vain noin 2 % koko maailman kasvihuonekaasupäästöistä, mutta yksilötasolla yksi pitkä lento voi moninkertaistaa sähkölämmitteisessä pienessä asunnossa asuvan henkilön vuosittaisen hiilijalanjäljen.

Myös tieto- ja viestintäteknikan kasvihuonepäästöistä uutisoidaan säännöllisesti. Esimerkiksi Iltalehti otsikoi 27.6.2019 repäisevästi: ”Näin tuhoat maailmaa tietämättäsi joka päivä: kissavideoiden ja nettipelien kuluttami-

nen tuottaa 'päästä huimaavia' päästöjä – mutta näin voit minimoida haitat.”

Artikkelin mukaan ”yksi Google-haku tuottaa 0,2–7 grammaa hiilidioksidia. Seitsemän gramman päästöt aiheutuvat myös vesikannullisen keittämisestä tai henkilöauton ajamisesta 16 metrin matkan”. Lisäksi artikkeli kertoo: ”Yhden sähköpostiviestin lähettäminen tuottaa noin neljä grammaa hiilidioksidia, mutta suuren liitetiedoston kanssa sitä muodostuu jopa 50 grammaa! Ylivoimaisesti eniten hiilidioksidia tuottaa kuitenkin videoiden katselu, mikä on Youtuben ja Netflixin sekä vastaavien palveluiden suosion myötä myös tietoliikenneverkon suurimpia kuormittajia.”

Artikkelissa viitataan myös Ylen uutiseen: ”Yle laskee, että 85 tuntia videoiden katselua tuottaa saman verran hiilidioksidia kuin jos ostaisi lentolipun Helsingistä Tukholmaan. Tällainen rinnastus pistää punnitsemaan vaikkapa tv-sarjan katsomisen ja ulkomaanmatkan välillä.”

Määrät kuulostavat yliammutuilta. Ylen alkuperäistä artikkelia onkin korjattu viikko sen julkaisemisen jälkeen seuraavasti:

”Jutusta on poistettu laskelma, jonka mukaan nettivideon katselu voi aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä 0,2 grammaa sekunnissa eli 720 grammaa tunnissa. Laskelman taustalla ollut arvio tiedonsiirron energiankulutuksesta on vanha, eikä se kuvaa luotettavasti nykyistä teknologiaa. Todennäköisesti käytetty laskelma tuotti todellista suuremman arvion päästöistä. Videoiden katselun päästöihin vaikuttavat monet tekijät ja sen vuoksi yleispätevää arviota päästöistä on vaikea esittää.”

720 grammaa tunnissa kuulostaakin hurjalta. Suomessa sähköntuotannon päästökerroin on 89 kg CO₂/MWh eli 89 grammaa kilowattitunnilta. 720 gramman tuntikulutus tarkoittaisi kotimaisella sähköllä siis jatkuvaa 8 kW:n tehoa ja kivihiihelläkin (ilman lämmön talteenottoa) tuotettuna (800 g/kWh) vajaata 1 kW:n tehoa. Kilowattiluokan teho nettivideoiden katselusta ei ainakaan sähköinsinööristä tunnu realistiselta. Mitä on lukeman takana?

INTERNETIN HIILIJALANJÄLKI ON MONIMUTKAISTA LASKEA

ESIMERKIKSI SAUNOMISEN HIILIJALANJÄLKI on helppo laskea: Suomessa tuotetun (ja ulkomailta ostetun) sähköön päästökerroin tiedetään melko tarkasti, samoin siirtohäviöt, jotka ovat vain muutaman prosentin suuruusluokkaa. Kiukaan kuluttamalle energialle saa helpon ylärajan kertomalla päälläoloajan kiukaan nimellisteholla.

Todellisuudessa kiukaan vastukset eivät ole päällä koko lämmityksen ja saunomisen ajan, vaan niitä ohjataan termostaattilla. Ja vaikka 6 kW:n kiuas olisi päällä kaksi tuntia ja päästöt lasketaan 89 gramman mukaan, saunasession päästöt ovat 6 kW x 89 g/kWh = 534 grammaa, todellisuudessa siis vähemmän. Ja jos talo on sähkölämmitteinen, ylimääräinen lämpö on osittain pois talon lämmityksen päästöistä.

Niin tain näin, suuruusluokka on selvä. Poltto- moottorilla toimivan henkilöauton päästöt ovat auton

koosta ja iästä riippuen vajaasta sadasta grammasta muutamiaan sataan grammaan kilometriltä, joten saunomisen päästöjen suuruusluokka vastaa autoreissua lähikauppaan.

Internetin osalta kuvio on monimutkaisempi: jokainen voi mitata oman tietokoneensa ja laajakaistamodeeminsa tehonkulutuksen, mutta taustalla olevan infrastruktuurin osalta tilanne on monimutkaisempi. Verkkovideon katsominen ulkomailla olevasta datakeskuksesta tuottaa päästöjä niin datakeskuksessa kuin tiedonsiirtotielläkin.

Lisäksi laskutapaan liittyy filosofinen haaste: tietoliikenneinfrastruktuuri kuluttaa päällä ollessaankin energiaa, vaikka kukaan ei lataisi mitään. Ongelma on samanhenkinen kuin julkisen liikenteen päästöjen laskennan kanssa: yksilötasolla ajatellen bussi kulkee joka tapauksessa, vaikka sitä ei käytettäisi. Järjestelmätasolla taas jokainen bussin käyttäjä luo yhden yksikön kysyntää. Tätä taustaa vasten selvin tapa on laskea bussireitin päästöt jakamalla bussin tuottamat päästöt jokaista kuljettua matkustajakilometriä kohden.

Samalla tavalla on mielekästä laskea tietoliikenteen päästöt siirrettyä bittiä kohden.

OMAN PÄÄN KULUTUS PIENTÄ

MOBIILILAITTEIDEN TEHONKULUTUS lasketaan muutamissa wateissa, samoin kodin sisäisen tietoliikenneinfrastruktuurin. Artikkelin kirjoittajan wlan-tuokiaseman tehokulutus on 4 wattia, joka nousee 6 wattiin, kun dataa liikkuu koko siirtokapasiteetin täydeltä. Laajakaistamodeemi kuluttaa jatkuvasti 10 wattia.

Viihdelaiteista suurikokoisen plasmatelevisioiden tehonkulutus voi olla 400 watin luokkaa, tehokas pelitietokone näyttöineen hyrrää pelatessa 300 watin teholla, kaikkein tehokkaimmat mallit vievät muutamia satoja watteja enemmän. Tunnin pelisession hiilijalanjälki on siis pahimmillaankin muutaman kymmenen gramman luokkaa, jos peli pyörii omalla koneella vaatimatta verkko-yhteyttä. Laskemiseen riittää taskulaskin ja peruskoulumatematiikka. Ja lämmityskaudella laitteen hukkalämpö menee suoraan hyötykäyttöön.

Laitteiden valmistamiselle on laskettu erilaisia hiilijalanjälkiä. Laskelmissa on hajontaa lähteistä riippuen, mutta tietokoneen valmistuksen hiilijalanjälki osuu tyypillisesti 100–200 kg:n suuruusluokkaan, älypuhelimien puolestaan 100 kg:aan tai alle. Molemmat laitteet kestävät tuhansia tunteja käyttöä. Laadukas älypuhelin tai tietokone kestää hyvin pidettynä käyttöä viisi vuotta tai pidempäänkin.

Jos pelitietokonetta käytetään kolme tuntia päivässä viiden vuoden ajan, valmistuksen hiilijalanjälkeksi käytötuntia kohti jää pahimmillaankin 200 kg / (5 x 365 x 2 h) = 37 grammaa tunnilta. 8 tuntia päivässä räähättävä työtietokone selviää vähemmällä – ja kuluttaa vähemmän sähköäkin. Toimistokäyttöön suunnitellun kannettavan tietokoneen kulutus on mallista riippuen 10–30 watin suuruusluokkaa.

Käyttötunneille jyvittämisen mielekkyys on oma keskustelunsa. Älypuhelimien tai tietokoneiden – ainakin jomankumman – omistaminen on liki pakollista nyky-yh-

teiskunnassa, tehokkaan pelitietokoneen ei. Puhelin on myös ”käytössä” koko ajan: se on valmiina ottamaan vastaan puheluja tai käden ulottuvilla hätäpuhelun soittamista varten.

TUPAKKA-ASKINKANSILASKELMIA...

LAITTEEN VALMISTUKSEN hiilijalanjäljestä on – ainakin suuruusluokaltaan – luotettavaa tietoa saatavilla, samoin sen suorasta sähkönkulutuksesta. Omalla koneella räis-kintäpeliä yksin pelaavan ei tarvitse olla huolissaan har-rastuksensa ympäristövaikutuksesta.

Mutta entä jos kyseessä on verkossa pelattava monin-peli tai suoratoistopalvelusta katsottava elokuva? Molemmat edellyttävät datan käsittelyä ja siirtoa sekä datakeskuksessa että tiedonsiirtoinfrastruktuurissa. Datakeskukset sijaitsevat tyypillisesti ulkomailla.

Tähän väliin on todettava, että koska energia ja tiedonsiirto maksaa, myös yrityksillä on motiivi pyrkiä vähentämään molempien kulutusta. Datakeskus pyritään sijoittamaan lähelle käyttäjiä ja suunnittelemaan energia-tehokkaaksi. Monen verkkosisällön jakelussa käytetään sisällönjakeluverkkoa (CDN, content delivery network), ennen kaikkea käyttäjän kokemien latausviiveiden pienentämiseksi. Näitä palvelimia sijaitsee myös Suomessa.

Itse datakeskuksen lisäksi sähköä kuluu matkan varrella: tieto liikkuu operaattoreiden valokaapeliverkoissa, ja mobiililiittymien tapauksessa vielä viimeiset metrit (tai maaseudulla kilometrit) tukiasemalta päätteelle.

Datakeskuksessa tehontarve ei kasvattane hiilijalanjäl-keä merkittävästi: yksi palvelinkone palvelee kerralla so-velluksesta riippuen kymmeniä tai useita tuhansia asiak-kaita, joten sen osuus käyttäjäkohtaisesta hiilijalanjäljestä on murto-osa käyttäjän pään kulutuksesta. Monen pe-laajan verkkopeliin liittyvä raskas laskenta vaatii enem-män tehoa kuin elokuvan tai musiikin jakelu asiakkail-le. Ja kuten sähkölämmitteisessä asuin- ja liikenteisessä, myös datakeskuksessa hukkalämpöä voidaan käyttää hyödyksi. Se, tehdäänkö näin, riippuu datakeskuksesta.

Myöskään mobiilitukiaseman kulutus ei ole päätähui-maava. Sähköliittymän koko maaseututukiasemassa, jopa 3 x 63 A (43 kW), on toki suuri, mutta se palvelee usean operaattorin laitteita. Yhden operaattorin tukiaseman kes-kimääräinen kulutus on tyypillisesti muutaman kilowatin luokkaa. Teho on suuri, mutta tukiasema palvelee satoja asiakkaita kerralla – kunhan kaikki eivät lataa videoita tai harjoita muuta dataintensiivistä toimintaa yhtä aikaa.

Enää jää jäljelle tiedonsiirto datakeskukselta tukiasemalle. Tämän arviointi tupakka-askinkansilaskelman tarkkuudella menee haastavaksi, ellei sitten ole ollut tekemisisissä näiden verkkojen rakentamisen kanssa. Yhtä kylää syöttävän valokaapelin päätelaitteiden tehonkulu-tus mitataan sadoissa wateissa, mutta koko verkon osalta kokonaisuus on monimutkaisempi.

... JA TUTKITTUA TIETOA

INTERNETISSÄ tapahtuvan datansiirron kulutusta ei tarvitse onneksi lähteä arvailemaan mutupohjalta. Vuonna

2018 julkaistussa ja paljon viitatussa tutkimusartikkelis-sa (Joshua ym.) on laskettu arvio internetin datansiirron energiankulutukselle: 0,06 kWh / gigatavu. Siirto perus-tuu pitkälti valokuituverkkoihin, joissa datanopeus on suuri ja energiankulutus pientä. Laskelma perustuu vuo-den 2015 tietoihin. Onko tilanne muuttunut suuntaan tai toiseen seitsemässä vuodessa? Entä onko laskelmissa muuta, mitä pitää ottaa huomioon?

Aalto-yliopiston vierailevana tutkijana ja Haaga-Helia-ammattikorkeakoulun yliopettajana työskentelevä tekniikan tohtori Kari Hiekkänen on perehtynyt tieto-tekniikkasektorin energiankäyttöön.

”Mobiilitukiaseman ja palvelinkeskuksen välisen tie-donsiirron valokuidussa voit laskea marginaaliseksi. Valokuituverkon energiankulutus ei hirveästi muutu siir-rettävän datan määrästä riippuen. Tuo 0,06 kWh / Gt on riittävän hyvä arvio; valokuituverkoissa ei suuria har-pauksia ole viime vuosina otettu ja teleoperaattori-infra tuolta osin uusiutuu hitaasti”, Hiekkänen kertoo.

Datakeskusten hukkalämmön hyödyntämisen varaan ei sen sijaan saa laskea liikaa. ”Palvelinkeskusten hukka-lämpöä voi hyvin hyödyntää, mutta se on poikkeus, lähinnä Suomessa. Maailmalla kun ei kaukolämpöverkko-ja juuri ole ja suurimmat palvelinsalikeskittymät sijaitse-vat sellaisissa maissa, joissa hukkalämpöä ei hyödynnetä.”

Sähköenergia on ollut perinteisesti niin halpaa, että hukkalämmön talteen kerääminen ei ole ollut kannat-tavaa. Esimerkiksi 2010-luvun alussa suljettujen CSC:n Murska ja Louhi

-supertietokoneiden hukkalämpö puhallettiin tai-vaan tuuliin toimistorakennuksen katolta Espoon Keilaniemessä. Uusin Lumi-supertietokone on toista maata: sen hukkalämpö hyödynnetään kaukolämpönä Kajaanissa.

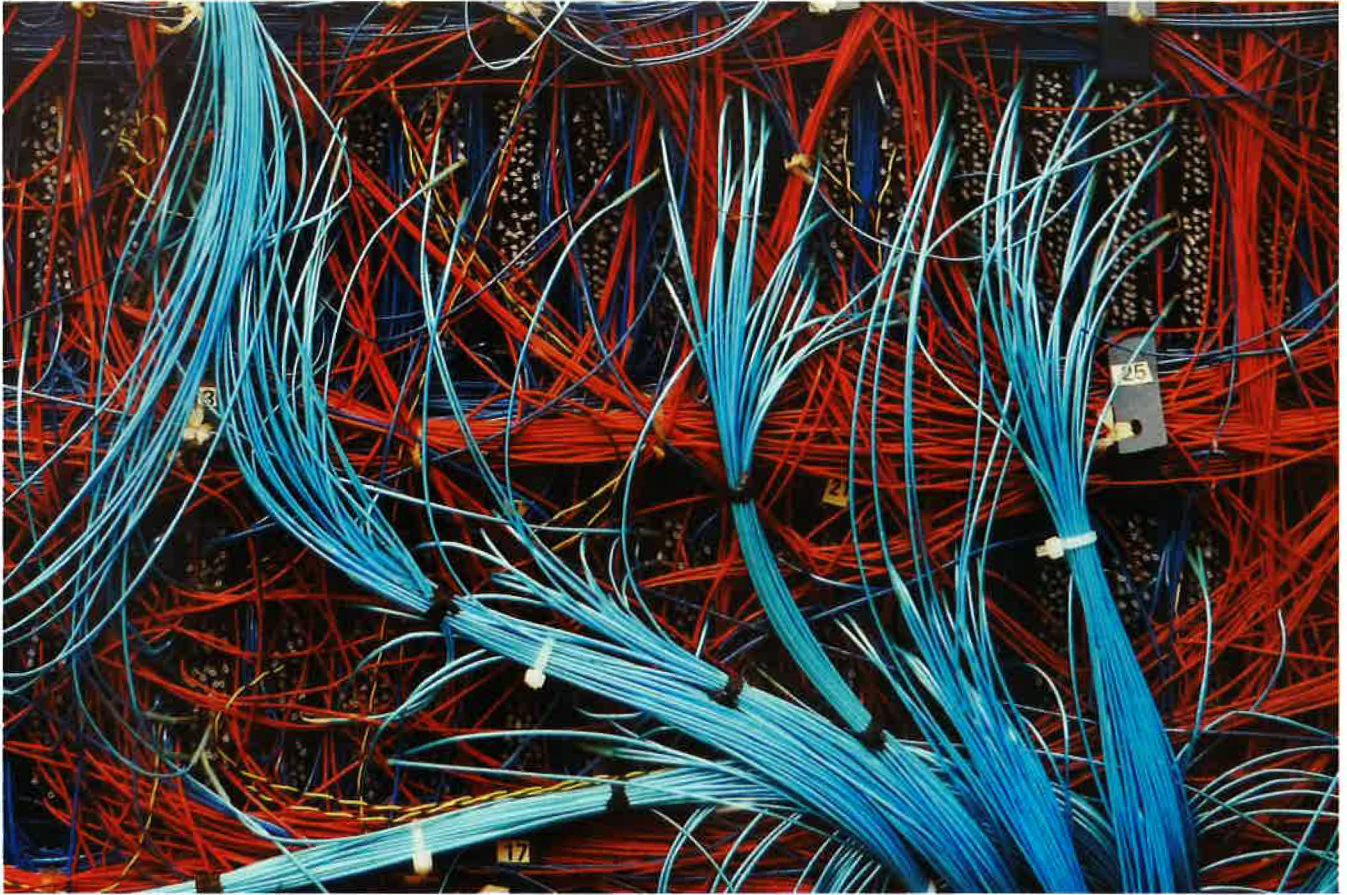
”Täytyy myös muistaa, että noissa tiiviisti pakatuissa palvelimissa jäähdytystarve lisää sähkönkulutusta palve-linkeskuksen hyötysuhteen mukaan. Moderneissa palve-linkeskuksissa nyrkkisääntö on, että 1 watti koneelle vaa-tii vielä 0,5 wattia jäähdytykseen”, Hiekkänen sanoo.

PILVIPELAAMINEN – MARGINAALINEN SÄHKÖSYÖPPÖ

PERINTEISESSÄ monen pelaajan ammuskelupelissä ras-kas laskenta suoritetaan pelaajan omalla koneella, ja pal-velin pitää lähinnä kirjata pelaajien sijainnista, mikä ei edellytä raskasta laskentaa. Lähivuosina on markkinoille tullut pilvipelaaminen (cloud gaming), joka poistaa käyt-täjältä kalliin pelikoneen tarpeen: raskas laskenta suoritetaan oman näytönohjaimen sijaan palvelinkeskuksessa, ja pelaajalle välitetään videokuva pelitilanteesta.

”Esimerkkinä vaikka NVIDIA RTX Blade Server, 10 grafiikkayksikköä ja mainoslehtisen mukaan 'average po-wei' pelatessa on 5 kilowattia. Tiedonsiirtotarve tuolle voi sitten olla samaa luokkaa kuin HD-elokuvalle, jos pe-lataan HD-resoluutiolla”, Hiekkänen kertoo. Palvelimen kulutuksen päälle tulee vielä sen vaatima jäähdytys.

Aalto-yliopiston tietoverkkotekniikan professori Jukka Manner muistuttaa suhteellisuudentajusta: kaikki ei-vät pelaa moninpelejä verkossa, pilvipelaamisesta puhu-



Noin 80 % internetissä liikkuvasta datasta on videomateriaalia.

mattakaan, mutta videoita katsovat käytännössä kaikki. ”Noin 80 % internetissä liikkuvasta datasta on videomateriaalia, ja siitä suurin osa ihan hupikäyttöä.”

MOBIILIDATA PÄÄPAHIKSENA?

JOS INTERNET-YHTEYS tulee kotiin valokuidun tai kaapelimodeemin kautta, tehonkulutus on marginaalinen. Wlan-tukiaseman kulutus on muutamia watteja, samoin kaapelimodeemin. Nettivideoiden katselu 10 wattia haukkaavalta kannettavalta ei ole energiasyöppöä. Palvelinpäissäkään ei tarvita raskasta laskentaa, koska kyse on vain valmiin datan jakelusta kuluttajalle päin.

Entä jos verkkoyhteys tulee mobiilidataverkon kautta? ”Tietoliikenteen ja tietotekniikan keskusliitto FiCom ry on kertonut mobiilidatan tehokkuudeksi keskiarvon 220 Wh / gigatavu”, Kari Hiekkänen kertoo.

Tunnin Full HD -video on kooltaan reilun gigatavun, joten voidaan sanoa, että lähes kaikki katselun päästöt syntyvät juuri mobiilidatasta. Videoiden katselu mobiiliverkon yli on siis suurempi energiasyöppö kuin pelaaminen valokuituyhteyden varassa – etenkin jos mennään suurempiin tarkkuuksiin, kuten 4K-videoon, joka haukkaa jo parikymmentä gigatavua tunnilta.

Hiekkänen muistuttaa laskelman haastavuudesta: ”Wattituntia gigatavulta -luku on vähän harhaanjohtava, koska iso osa mobiiliverkon sähkönkulutuksesta on kiinteä riippumatta siirretyn datan määrästä.”

Tästä päästään filosofiseen kysymykseen laskentata- vasta: yksittäinen nettivideon katsoja ei tavallaan aiheuta päästöjä, koska lähikorttelin tukiasema rouskuttaa muutamman kilowatin teholla riippumatta siitä, luenko paperikirjaa vai katsonko 4K-elokuvaa. Toisaalta valitsemalla elokuvan katsomisen luon kysyntää mobiilidatalle, mikä suuressa kuvassa kasvattaa tarvetta rakentaa lisää tukiasemia. Aivan samalla väärällä logiikalla voisi perustella monenlaista saastuttavaa toimintaa: lentokone lentää joka tapauksessa, vaikka minä menisin junalla, tai bussivuoro ajetaan joka tapauksessa, vaikka menisin lähikauppaan jalan.

Professori Jukka Manner muistuttaa, että bussi voi seistä yön varikolla, kun kysyntää ei ole, mutta tukiasema on päällä yölläkin. ”Keski-Euroopassa mobiilidata maksaa paljon. Ihmiset metsästävät wifi-tukiasemia ja ovat siten tavallaan pakotettuja vihreämmiksi.”

Suomessa liittymiä myydään rajattomalla mobiilidatalla, jolloin nettivideot katsotaan huoletta mobiilidatan yli. Tämä on kätevää kuluttajille, mutta huono ympäristölle. Manner vertaa asetelmaa henkilöautoon ja joukko- liikenteeseen. Ensimmäinen on individualistinen ja kätevä, mutta huono ympäristölle.

”Flatrate-hinnoittelu lisää hupikäyttöä ja ohjaa valitsemaan datansiirtotavan, jonka energiankulutus on suuruusluokaltaan tuhatkertainen vaihtoehtoon verrattuna”, Manner toteaa.

Koko yhteiskunnan tasolla mobiilidata ei ole merkittävä sähkösyöppö. Suomen sähkönkulutus vuonna 2020 oli 81,6 TWh, josta teleoperaattorit käyttivät 689 GWh



Tarkan videokuvan siirto on suurin datasyöppö ja mobiilidata taas pahin sähkösyöppö.

eli 0,84 %. Toisaalta sähkönkulutuskin koostuu pienistä puroista. ”Ilman videoita ja vastaavaa hupikäyttöä pärjästäisiin 80 % vähemmällä”, Manner muistuttaa.

LOPUKSI

INTERNETIN KÄYTÖLLE on vaikea laskea yksiselitteistä hiilijalanjälkeä. Paljon riippuu siitä, mitä internetissä tehdään. Tarkan videokuvan siirto on suurin datasyöppö ja mobiilidata taas pahin sähkösyöppö. Tavallisten nettivideoiden katselu kiinteän verkkoyhteyden yli on kulukseltaan pientä, samoin pelaaminen lämmityskaudella, koska pelikoneen hukkalämmön päästöt voi laskea suoraan pois lämmityksen päästöistä.

Jos katson HD-tarkkuista (n. 1 Gt/h) videota suomalaiselta palvelinkeskukselta tunnin omalta läppäritäni, modeemi kuluttaa 10 W, tietokone 10 W, tukiasema 4 W ja tiedoston jakelu palvelimelta pyörii pahimmillaan samassa suuruusluokassa – onhan kysymys vain olemassa olevan datan jakelusta. Esimerkiksi Netflix kertoi jo vuonna 2015, että sen datakeskusten sähkönkulutus on 0,0013 kWh striimaustuntia kohti eli jatkuvana teho on 1,3 wattia per striimaaja. Myös datansiirron sähkönkulutus jäänee alle globaalin 60 Wh/Gt keskiarvon, koska suomalainen verkkoinfra on modernia ja siirtomatka lyhyt. Tälläkin lukemalla laskettuna kulutukseksi tulee 85 Wh eli kotimaisen sähköntuotannon mukaan laskettuna 0,085 kWh x 89 g/kWh = 7,6 grammaa.

Vastaavasti 4k-videon (20 Gt/h) katselu mobiiliyhteyden yli vastaa tehonkulutukseltaan jo 20 Gt/h x 220 Wh = 4,4 kilowattia. Tähän päälle suurenkin näytön sähkönkulutus (100–200 W) on vain muutamia prosentteja. 200 W

kotikulutusella ja 60 Wh/Gt siirtokulutuksella laskettuna kokonaiskulutus tunnissa on 5,8 kWh x 89 g / kWh = 516 grammaa, mikä vastaa ”jo” muutaman kilometrin autotankkaa tai saunan lämmittämistä tunnin ajan.

Tietenkään verkon sähkönkulutus ei kasva 5,8 kilowatilla, kun elokuva laitetaan pyörimään, mutta datalle luotu kysyntä ohjaa mitoitamaan mobiiliverkkoa sellaiseksi, että moinen striimaaminen on mahdollista.

Lähteet

Air Transport Action Group: Facts & Figures <https://www.atag.org/facts-figures.html>

Iltalehti: Näin tuhoat maailmaa tietämättäsi joka päivä: kissavideoiden ja nettipelien kuluttaminen tuottaa ”päästä huimaavia” päästöjä – mutta näin voit minimoida haitat. 27.6.2019 <https://www.iltalehti.fi/digi uutiset/a/d91450c7-99cd-4b9d-90c6-0c390d2ba869>

Motiva: CO2-päästökertoimet https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiansaantia_suomessa/co2-paastokertoimet

Aslan, Joshua, ym. ”Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates: Electricity Intensity of Data Transmission”. *Journal of Industrial Ecology*, vsk. 22, nro 4, elokuuta 2018, ss. 785–98. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1111/jiec.12630>.

Ficom ry: Digiratkaisuilla energiatehokkuuteen – mutta ei ilman sähköä. 22.06.2021

<https://ficom.fi/ajankohtaista/uutiset/digiratkaisuilla-energiatehokkuuteen-mutta-ei-ilman-sahkoa/>
Netflix Technology Blog: Netflix Streaming — More Energy Efficient than Breathing. 27.5.2015. <https://netflixtechblog.com/netflix-streaming-more-energy-efficient-than-breathing-57658d47b9fd>

Kirjoittaja on sähkötekniikan ja elektroniikan diplomi-insinööri ja työskentelee ryhmä- ja viestintäpäällikkönä sähköalan standardointijärjestössä.