

Eetu Rutanen

Sähköisten liikkumisvälineiden rooli matkaketjussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

29.4.2016

Tekijä(t) Otsikko	Eetu Rutanen Sähköisten liikkumisvälineiden rooli matkaketjussa
Sivumäärä Aika	44 sivua 29.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Toimitusjohtaja Taina Haapamäki, Suomen Liikkumisoperaattori Oy Osaamisaluepäällikkö Pekka Hautala
<p>Tässä insinööriyössä oli tavoitteena selvittää kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden ominaisuuksia ja pohtia niiden roolia liikennejärjestelmässä sekä matkaketjuissa. Työn tilasi Suomen Liikkumisoperaattori Oy.</p> <p>Työ on kirjallisuuskatsaus, jossa selvitetään aluksi Suomessa 1.1.2016 voimaan astunut säädösmuutos, joka mahdollistaa uudenlaisien kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden käyttämisen tieliikenteessä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi sähköpotkulaudat sekä Segway-tyyliset tasapainoskootterit. Säädösmuutoksen pohjalta tutkitaan säädöksen piiriin lukeutuvien laitteiden ominaisuuksia, kuten toimintasädetä, mittoja ja maksiminopeutta. Kustakin laitekategoriasta esitellään niiden erityispiirteitä sekä kootaan viisi laitetta, joiden ominaisuudet taulukoidaan. Tämän jälkeen kaikki eri laitekategoriat kerätään yhteen taulukkoon, jonka pohjalta selvitetään laitteiden ominaisuuksia muun muassa energiankulutuksen, päästöjen sekä liikenteellisten ominaisuuksien osalta. Tutkimalla suomalaisten matkustuskäyttäytymistä tarkastellaan selvitettyjen ominaisuuksien perusteella laitteiden roolia liikennejärjestelmässä.</p> <p>Työstä selviää, että sähköiset liikkumisvälineet vastaavat toiminnallisuudeltaan ja käyttövoiltaan pitkälti tavallista polkupyörää, mutta liikkuminen niillä on kuitenkin joiltakin osin vaivattomampaa. Vaikka sähköiset liikkumisvälineet soveltuvat korvaamaan myös henkilöautolla tehtäviä matkoja, on niiden osa liikennejärjestelmässä todennäköisesti enimmäkseen korvata lyhyitä matkoja, jotka tehdään pääosin jalan ja pyörällä. Sähköisen liikkumisvälineen valintaa henkilöauton sijasta jokaisella matkalla tukevat kuitenkin kaikki tekijät, jotka liittyvät tehokkaamman ja ympäristöystävällisemmän liikennejärjestelmän kehittämiseen sekä ihmisten hyvinvointiin. Liikkumisratkaisuihin, joissa liikkuminen ostetaan kokonaispalveluna, kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden rooli voisi olla kulkumuodosta toiseen vaihtamista sujuvoittavana, lyhyet liityntämatkat tehokkaasti suorittavana kulkuneuvona.</p>	
Avainsanat	Liikennejärjestelmä, liikkumisväline, sähköpyörä

Author(s) Title	Eetu Rutanen The Role of Electrical Mobility Equipment in Mobile Chain
Number of Pages Date	44 pages 29 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Taina Haapamäki, Managing Director Pekka Hautala, Head of Department
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to examine the features of light electric mobility equipment and to discuss their role in the transport system as well as in mobile chains. The thesis was commissioned by Suomen liikkumisoperaattori Oy.</p> <p>The thesis is a review of the literature which first explains a legislative change, which entered into force in January 2016 in Finland. The legislative act allows the use of a new kind of light electric mobility equipment in road transport. Such devices are for example electric scooters and Segway-styled self-balancing scooters. On the basis of the legislative change, features such as range, dimensions and maximum speed are examined in these devices. Special features of each device category are described and five devices of each device category are collated and tabulated. To find out properties such as energy consumption, emissions and characteristics in traffic use, all the different device categories are then presented in a single table. The role of these devices in the transport system is discussed after studying the Finnish travel behavior and characteristics of the devices.</p> <p>The thesis shows that the functionality and the mode of operation of the electric mobility equipment is largely similar to an ordinary bike but transport with them is in some respects easier. Although electric mobility equipment can be used on personal trips instead of driving by car, its role in the transport system is likely to be used mostly on short distances, which are mainly done on foot and by bike. However, the choice of electric mobility equipment instead of a passenger car on every trip is supported by all of the elements related to the development of more efficient and environmentally friendly transport system, as well as people's well-being. In mobility solutions, where mobility is bought as a comprehensive service, the electric mobility equipment could make the change from one mode of transport to another easier and more effective.</p>	
Keywords	Transport system, mobility equipment, electric bike

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kevyitä sähköisiä liikkumisvälineitä koskeva säädösmuutos	2
2.1	Kevyet sähköajoneuvot	2
2.2	Jalankulkua avustavat tai korvaavat liikkumisvälineet	2
2.3	Sähköavusteiset polkupyörät	3
2.4	Moottorilla varustetut polkupyörät	3
2.5	Jalankulkua avustavien tai korvaavien liikkumisvälineiden ja kevyiden sähköajoneuvojen eroista	4
3	Kevyet sähköiset liikkumisvälineet	5
3.1	Sähkökäyttöiset henkilökuljettimet	5
3.1.1	Sähköpotkulauta	5
3.1.2	Gyropyöra	8
3.1.3	Sähköinen tasapainolauta	11
3.1.4	Tasapainoskooteri	13
3.2	Sähköpyöra	16
3.2.1	Sähköavusteinen polkupyöra	18
3.2.2	Moottorilla varustettu polkupyöra	20
3.3	Yhteenveto ominaisuuksista	21
3.3.1	Liikenteelliset ominaisuudet	21
3.3.2	Energiankulutus ja päästöt	24
3.3.3	Lataaminen	28
4	Sähköiset liikkumisvälineet osana liikennejärjestelmää	29
4.1	Liikennejärjestelmä	29
4.2	Infrastruktuuri	31
4.2.1	Yleistä	31
4.2.2	Pysäköinti	32
4.2.3	Väyläkapasiteetti	34
4.3	Turvallisuusvaikutukset	36
4.4	Terveysvaikutukset	40
5	Johtopäätökset	43
	Lähteet	45

1 Johdanto

Nykyisin henkilöauto on edelleen suosittu liikkumisväline varsinkin kehittyneissä maissa. Erityisesti kaupunkialueilla, yksityisellä henkilöautolla ajaminen ei ole kuitenkaan tehokas eikä kestävä vaihtoehto muun muassa paikallisten päästöjen (polttomootorikäyttöinen henkilöauto), ruuhkien sekä meluhaittojen vuoksi. Henkilöauton rinnalle pitäisi etsiä muita liikkumisvälineitä ja liikkumISRatkaisuja.

Suomessa 1.1.2016 voimaan astunut säädösmuutos mahdollistaa uudenlaisien kevyiden sähköisien liikkumisvälineiden käyttämisen tieliikenteessä – pääosin jalkakäytävillä ja pyöriteillä [1]. Tällaisia liikkumisvälineitä ovat sähköpotkulaudat, sähköavusteiset polkupyörät, moottorilla varustetut polkupyörät sekä tasapainotetut yksi- tai useampi-pyöräiset henkilökuljettimet [2; 3, s. 1, taulukko 1]. Nämä liikkumisvälineet kulkevat paikallisesti päästöttömästi, lähes äänettömästi ja vievät vähemmän tilaa kuin henkilöautot.

Uusien sähköisien liikkumisvälineiden käyttämistä tieliikenteessä tukee osaltaan myös Suomessa havaittu, niin kutsuttu Tukholma-ilmiö, jossa yhä harvempi hankkii ajokortin 18-vuotiaana. Vaikka koko Suomessa henkilöautokortteja suoritetaan vielä suunnilleen saman verran kuin edellisinäkin vuosina – noin 60 000 – näkyy muutos etenkin 18–20-vuotiaiden asiakkaiden vähenemisenä. [4.] Ilmiötä ei yksin selitä ajokortin suorittamisen hintojen nousu. On mahdollista, että ilmiö liittyy myös kaupungistumiseen ja nuorten asenteisiin henkilöautoa kohtaan.

Joukkoliikenne on tiheästi asutuilla seuduilla tehokas kulkumuoto. Harvaan asutuilla seuduilla, se ei kuitenkaan kykene tarjoamaan henkilöauton rinnalle kilpailukykyistä vaihtoehtoa. Suomessa yli kahden kilometrin matkoista useammat kuin puolet tehdään henkilöautolla [5, s. 4]. Yli kahta kilometriä pidemmät ja toisaalta myös lyhyemmät matkat voisi olla mahdollista korvata muunlaisilla liikkumISRatkaisuilla – joko sähköisillä liikkumisvälineillä tai yhdistelemällä näitä älykkäästi ja saumattomasti eri liikkumismuotojen kanssa.

Tässä insinööriyössä on tavoitteena selvittää kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden ominaisuuksia ja pohtia niiden roolia liikennejärjestelmässä sekä matkaketjuissa.

Työn tilasi Suomen Liikkumisoperaattori Oy. Työ on osa Liikkuminen palveluna- aiheista tutkimushanketta, joka on osa Tekesin Fiksu kaupunki -ohjelmaa.

2 Kevyitä sähköisiä liikkumisvälineitä koskeva säädösmuutos

Vuoden 2016 alussa voimaan astunut säädösmuutos sallii uusien kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden käytön Suomen tieliikenteessä sekä täsmentää sähköpolkupyörien ominaisuuksia. Nämä sähköiset liikkumisvälineet voidaan jakaa neljään eri ryhmään: kevyisiin sähköajoneuvoihin, jalankulkua avustaviin tai korvaaviin liikkumisvälineisiin, sähköavusteisiin polkupyöriin ja moottorilla varustettuihin polkupyöriin. [1; 6.]

2.1 Kevyet sähköajoneuvot

Kevyisiin sähköajoneuvoihin voidaan luokitella ajoneuvot, jotka kulkevat maksimissaan 25 km/h, ovat teholtaan enintään 1 kW sekä leveydeltään 80 cm tai alle. Tällaisia laitteita ovat tasapainotetut yksi- tai useampipyöräiset henkilökuljettimet, sähköpotkulaudat, senioriskootterit sekä sähköpyörätuolit. Näillä laitteilla ajetaan pääsääntöisesti pyörätiellä ja noudatetaan polkupyöräilijän liikennesääntöjä. Sähköpotkulautoja, joiden suurin rakenteellinen nopeus on 15 km/h, ja laitteita, jotka pysyvät tasapainossa silloin, kun ajoneuvo ei liiku tai siinä ei ole kuljettajaa, voidaan käyttää myös jalkakäytävällä, kun liikutaan kävelynopeutta (max. 15 km/h). Tällöin noudatetaan jalankulkijan liikennesääntöjä ja kuljettajan on annettava jalankulkijalle esteetön kulku. Laitteissa on oltava ajoneuvolain mukaisesti äänimerkinantolaitte, punainen heijastin takana ja etuvalo, mutta myös henkilöön kiinnitettävät valaisimet, kuten otsalamput, ovat sallittuja. Ajattaessa kevyillä sähköajoneuvoilla sekä sähköpyörillä, tulisi ajajan käyttää lisäksi kypärää. [6; 7; 8, 45 a §.]

2.2 Jalankulkua avustavat tai korvaavat liikkumisvälineet

Jalankulkua avustavat tai korvaavat liikkumisvälineet ovat kevyitä sähköajoneuvoja, joiden suurin rakenteellinen nopeus voi olla rajoitettu 15 kilometriin tunnissa. Niitä kuljetetaan pääsääntöisesti kävelynopeudella. Tällöin sovelletaan jalankulkijan liikennesääntöjä ja kuljetaan jalkakäytävällä. Mikäli tällaisella liikkumisvälineellä on mahdollista kulkea – ja kuljetaan nopeammin kuin 15 km/h, on sovellettava polkupyöräilijän liikennesääntöjä.

nesääntöjä sekä kuljettava pyöräteillä. Laitteen teho saa olla maksimissaan 1 kW. [6; 7; 8, 45 §.]

2.3 Sähköavusteiset polkupyörät

Sähköavusteisessa polkupyörässä avustavan moottorin teho saa olla enintään 250 W ja avustus saa toimia vain poljettaessa sekä sen on kytkeydyttävä pois päältä, kun nopeus saavuttaa 25 km/h. Sähköavusteisiin polkupyöriin sovelletaan polkupyörän teknisiä vaatimuksia: siinä on oltava äänimerkinantolaitte, etuvalo, heijastimet edessä, takana ja sivulla, mutta myös henkilöön kiinnitettävät valaisimet ovat sallittuja. Sähköavusteisella polkupyörällä noudatetaan polkupyöräilijän liikennesääntöjä, ja sillä saa ajaa ainoastaan pyöräteillä. [6; 7.]

2.4 Moottorilla varustetut polkupyörät

Moottoreilla varustetuissa polkupyörissä, jotka eivät täytä sähköavusteisen polkupyörän ehtoja, moottorin teho saa olla maksimissaan 1 kW. Samoin kuin sähköavusteisilla polkupyörillä, moottorilla varustetussa polkupyörässä moottori saa avustaa pyöräilyä, kunnes nopeus on 25 km/h. Moottorilla varustettuihin polkupyöriin on otettava liikennevakuutus, mutta niitä ei siitä huolimatta tarvitse rekisteröidä. Kevyistä sähköajoneuvoista poiketen, moottorilla varustettujen polkupyörien leveys saa olla enintään 1 m. [2; 6; 7.]

Taulukkoon 1 on ryhmitelty nopeuden mukaan esimerkkejä sähköisistä liikkumisvälineistä. Taulukko on tehty ennen säädösmuutoksen voimaantulusta, joten alimmassa sarakkeessa lause: ”Nykyisin yleisessä liikenteessä sallitut”, tarkoittaa siis ennen 1.1.2016 yleisessä liikenteessä sallittuja liikkumisvälineitä.

Taulukko 1. Jalankulun tai pyöräilyn sääntöjä noudattavat sähkömoottorilla varustetut liikumisvälineet säädösmuutoksen mukaan [3, s. 1].

	Jalankulkua avustavat tai korvaavat liikumisvälineet	Polkupyörät ja niihin rinnastettavat kevyet sähköajoneuvot
Suurin rakenteellinen nopeus sähkömoottoria käytettäessä Moottorin maksimiteho	15 km/h 1 kilowatti	25 km/h 1 kilowatti
Esimerkkejä	Senioriskootteri Sähkörollaattori Sähköpotkulauta (jos suurin nopeus enintään 15 km/h)	Sähköavusteinen polkupyörä Moottorilla varustettu polkupyörä Segway (suurin nopeus nykyään 20 km/h) Sähköpotkulauta (jos suurin nopeus 16–25 km/h)
Liikennesäännöt	Jalankulkijan liikennesäännöt kun liikutaan kävelynopeudella. Suuremmalla nopeudella pyöräilijän liikennesäännöt.	Pyöräilijän liikennesäännöt. Tasapainottuva kevyt sähköajoneuvo saa käyttää myös jalkakäytävää kävelynopeudella.
Nykyisin yleisessä liikenteessä sallitut	Vain vammaisen henkilön apuväline kuten sähköinen pyörätuoli	Sähköavusteinen polkupyörä (≤250 w, sähköavustus vain poljettaessa)

2.5 Jalankulkua avustavien tai korvaavien liikumisvälineiden ja kevyiden sähköajoneuvojen eroista

Vaikka laissa on eritelty jalankulkua avustavat tai korvaavat liikennevälineet ja kevyet sähköajoneuvot toisistaan, ovat ne käytännössä samoja kulkuneuvoja, sillä osalla molempiin luokkiin ryhmitellyillä ajoneuvoilla voidaan ajaa joko jalkakäytävillä tai pyöräteillä ajonopeudesta riippuen. Jalankulkua avustavat tai korvaavat liikennevälineet eroavat kevyistä sähköajoneuvoista siinä, että niiden suurin rakenteellinen nopeus voi olla rajoitettu 15 kilometriin tunnissa. Kun jalankulkua avustavalla tai korvaavalla liikumisvälineellä on mahdollista ajaa myös yli 15 km/h, on epäselvää, milloin on syytä puhua kevyestä sähköajoneuvosta. Tiettyjen laitteiden kohdalla päältäpäin on käytännössä mahdotonta todeta, onko kyseessä jalankulkua avustava tai korvaava liikumisväline vai kevyt sähköajoneuvo. Näiden liikumisvälineiden lisääntyessä katukuvassa, väärinkäytösten valvominen juuri nopeuksien ja oikeiden ajoväylien osalta tulee olemaan haastavaa. Tässä insinööriyössä lajittelu on kuitenkin selkeää, sillä seuraavissa luvuissa myöhemmin esiteltävän sähköisen tasapainolaudan huippunopeudet rajoittuvat valmistajien mukaan tyypillisesti juuri 15 km/h, joten ne voidaan lähes yksiselitteisesti luokitella jalankulkua avustaviksi tai korvaaviksi liikumisvälineiksi.

3 Kevyet sähköiset liikkumisvälineet

3.1 Sähkökäyttöiset henkilökuljettimet

Sähkökäyttöiset henkilökuljettimet ovat verrattain uusi ilmiö etenkin Suomessa ja erityyppisille kuljettimille ei ole vielä vakiintuneita nimityksiä, eikä niiden luokittelu muutenkaan ole täysin eksplisiittistä. Tässä työssä laitteelle on annettu nimi, joka työn tekijän mielestä parhaiten kuvaa kyseistä laitetta. Sähkökäyttöiset henkilökuljettimet ovat siis sähköpotkulautoja, niin kutsuttuja gyropyöriä, tasapainolautoja sekä tasapainokoottereita. Aikaisemmin näitä laitteita on saanut Suomessa ajaa vain sisällä ja suljetuilla alueilla, mutta säädösmuutoksen myötä niillä on nykyään mahdollista ajaa myös tieliikenteessä. Olennaista näiden liikkumisvälineiden käytössä Suomen tieliikenteessä onkin se, että ne vastaavat korkeintaan edellä mainitun kevyen sähköajoneuvon ominaisuuksia. Työssä ei oteta kantaa niin kutsuttuihin senioriskoottereihin, sähkörollaattoreihin sekä sähköpyörätuoleihin, jotka siis nykyisin ovat sallittuja tieliikenteessä muillekin kuin liikuntarajoitteisille.

Sähkökäyttöisten henkilökuljettimien tarjonta on viime vuosina kasvanut huomattavasti, ja niiden ominaisuudet vaihtelevat valmistajien ja hintojen mukaan. Seuraavissa alaluvuissa esitellään erityyppisiä sähkökäyttöisiä henkilökuljettimia ja niiden ominaisuuksia. Osa esitellyistä laitteista ei välttämättä ole myynnissä Suomessa tai edes saatavilla Suomeen, mutta tulevaisuudessa näiden laitteiden markkinat oletettavasti kasvavat, joten vastaavia laitteita voidaan olettaa tulevan enemmän myyntiin myös Suomen jälleenmyyjille. Kun sähköisiä henkilökuljettimia ajatellaan monikäyttöisinä kulkuneuvoina, ei ominaisuuksia ole tarkasteltu kantavuudeltaan alle 100 kg:n painoisista – ja täten myös yleensä halvimmista laitteista. Kun tietoa laitteiden ominaisuuksista kerättiin pääosin valmistajien sekä jälleenmyyjien internet-sivuilta, on niiden luotettavuudessa tiettyjä epävarmuustekijöitä.

3.1.1 Sähköpotkulauta

Sähköpotkulauta (kuva 1) vastaa ulkoiselta olemukseltaan jo useita vuosia markkinoilla olevia tavallisia pelkästään lihasvoimalla toimivia kaksi- tai useampipyöräisiä potkulautoja. Sähköpotkulaudan liike-energian tuottaa taka-akselilla sijaitseva sähkömoottori, joka saa virtaa ladattavasta akustosta. Joissakin malleissa on myös järjestelmiä, jotka

vauhtia hiljennettäessä varastoivat akuille renkaiden kineettistä energiaa ja lisäävät näin laitteen toimintamatkaa. Nopeutta säädellään ohjaustangolla sijaitsevasta kaasuvivusta, mutta joitakin lautoja voi myös käyttää jaloilla potkimalla sekä joissain istua. Jarruttaminen tapahtuu joko erillisillä käyttöjarruilla käyttämällä ohjaustangossa sijaitsevia vipuja tai painamalla jalalla takarenkään lokasuojaa rengasta vasten. Niissä on usein myös mittari, joka kertoo muun muassa nopeuden, akun varauksen ja ajatun matkan. Useimmat sähköpotkulaudat voidaan taittaa kasaan, jolloin ne menevät pienempään tilaan. [9.]



Kuva 1. Tyypillinen kevyt sähköpotkulauta ja ajoasento [9]

Taulukoihin 2 ja 3 on kerätty eri valmistajien sähköpotkulautoja, jotka määritellään kevyiksi sähköajoneuvoiksi ja joita voi käyttää Suomen tieliikenteessä pyöräteillä. Sähköpotkulautoja, joiden suurin rakenteellinen nopeus on 15 km/h ja joilla saa ajaa myös jalkakäytävillä, on erittäin harvassa. Jotkut valmistajat, kuten esimerkiksi kuvassa 1 näkyvän E-ONE-sähköpotkulaudan valmistaja, tarjoavat kuitenkin mahdollisuutta nopeuden rajoittamiseen, jolloin ajaminen jalkakäytävillä on myös mahdollista [10]. Sähköpotkulautojen sekä muiden seuraavissa alaluvuissa mainittujen laitteiden maksiminopeudet voivat olla myös suurempia kuin lain sallima 25 km/h, mutta valmistajat tarjoavat mahdollisuutta nopeuden rajoittamiseen niin, että ne kulkevat enintään 25 km/h. Suljetuilla alueilla laitteita on kuitenkin mahdollista käyttää myös yli 25 km/h nopeuksissa.

Taulukko 2. Liikkumisen kannalta olennaisia ominaisuuksia sähköpotkulaudoista eri valmistajilta [11; 12; 13; 14; 15].

	Max toimintasäde (km)	Energiankulutus (Wh/km)	Maksiminopeus (km/h)	Mitat käyttökunnossa: pituus x leveys x korkeus (cm)	Tilan vienti käyttökunnossa (m ²)	Massa (kg)
E-ONE	28	10,3	30	97 x 52,5 x 117	0,5	15
SXT Light	35	8	35	94 x 30 x 116	0,3	10,8
EcoReco M3	32	9	25	–	–	15,4
Mad-Croc 800W	20	21,6	25	120 x 65 x 105	0,8	38
TAKIRA TANK TYPE 500TT	25	17,3	20	127 x 60 x 111	0,8	42
Keskimäärin	28	13,2	27	110 x 52 x 112	0,6	24,2

Kun sähköpotkulaudan massa nousee yli 20 kg:n ja se olisi myös tarkoitus ottaa esimerkiksi julkisten liikennevälineiden kyytiin, ei Mad-Croc 800 W:n (kuva 2) kaltaiset, massaltaan suuremmat ja mahdollisesti istuttavat sähköpotkulaudat ole välttämättä järkeviä vaihtoehtoja. Tällaisissa painavimmissa sähköpotkulaudoissa on kuitenkin yleensä suuremmat renkaat kuin pienemmissä ja kevyemmissä laudoissa, joten ne soveltuvat paremmin epätasaisille, kuoppaisille ja uraisille alustoille. Esimerkiksi pehmeällä hiekalla eteneminen E-ONEn kaltaisella (kuva 1) kevyellä ja pienirenkaisella sähköpotkulaudalla voi olla täysi mahdottomuus [9].



Kuva 2. Raskaampi Mad-Croc 800 W -sähköpotkulauta, jolla voi myös istua [14].

Vaikka taulukossa 2 on esimerkiksi SXT Light -sähköpotkulaudan toimintasäteeksi ilmoitettu jopa 35 km, vaihtelevat nämä lukemat suuresti muun muassa käyttäjän painon, ajonopeuden ja lämpötilan mukaan. Siitä huolimatta on sähköpotkulaudan toimintasäde täyteen ladatulla akulla tyypillisesti vähintään 20 km. Latausajat tyhjästä täyteen ovat harvemmin yli 8 tuntia – keskimäärin noin viisi tuntia (taulukko 3) –, joten työpäivän aikana akuston lataaminen täyteen onnistuu lähes poikkeuksetta.

Taulukko 3. Sähköpotkulautojen teknisiä ominaisuuksia eri valmistajilta [11; 12; 13; 14; 15].

	Hinta (€)	Latausaika (h)	Akun kapasiteetti (Wh)	Kantavuus (kg)	Teho (W)
E-ONE	1290	4,5	288	120	250
SXT Light	1300	2	280	110	500
EcoReco M3	910	4,5	288	118	250
Mad-Croc 800W	590	7	432	100	800
TAKIRA TANK TYPE 500TT	507	7	432	115	500
Keskimäärin	919,4	5	344	112,6	460

3.1.2 Gyropyörä

Gyropyörä (electric unicycle = sähköinen yksipyöräinen) (kuva 3) on nimitys yhdellä tai kahdella lähekkäin olevalla pyörällä varustetusta gyroskooppisesti tasapainottuvasta sähköisestä akkukäyttöisestä henkilökuljettimesta. Gyropyörän rungon ja renkaan tai renkaiden molemmilla puolilla on tyypillisesti taitettavat astinlaudat, joiden päällä seisotaan. Laite pyrkii tasapainottamaan itsensä, ja sitä ohjataan siirtämällä kehon painopistettä suuntaan, johon halutaan liikkua. Kiihdyttäminen tapahtuu nojaamalla eteenpäin ja jarruttaminen nojaamalla taaksepäin. Vastaavasti kun halutaan mennä oikealle, siirretään painoa enemmän oikealle jalalle, ja kun on tarve kääntyä vasemmalle, siirretään painoa vasemmalle jalalle. [16.]



Kuva 3. Gyropöytä, jota ohjataan siirtämällä kehon painoa haluttuun menosuuntaan [17].

Taulukoihin 4 ja 5 on kerätty eri valmistajien gyropöyriä. Niiden maksiminopeudet ovat yleensä vähintään 18 km/h, joten ne vastaavat ominaisuuksiltaan kevyttä sähköajoneuvoa. Vaikka gyropöytä on itsestään tasapainottuva laite, se ei pysy tasapainossa ollessaan paikallaan (ainakaan ilman riittävää harjoittelua) tai kun siinä ei ole kuljettajaa. Niinpä oikea paikka gyropöyrällä ajamiseen on pyöräteillä.

Taulukko 4. Liikkumisen kannalta olennaisia ominaisuuksia gyropöyristä eri valmistajilta [18; 19; 20; 21; 22].

	Max toimintasäde (km)	Energiankulutus (Wh/km)	Maksiminopeus (km/h)	Mitat käyttökunnossa: pituus x leveys x korkeus (cm)	Tilan vienti käyttökunnossa (m ²)	Massa (kg)
Inmotion SCV V3S	40	7,2	18	42 x 40 x 51,5	0,2	14,5
Ninebot One E+	35	9,1	22	45,3 x 42 x 47,5	0,2	14,2
FREEMAN A4H 172 Wh	15	11,5	30	45 x 40 x 38,5	0,2	12
eCycle Wheeli-e SP522	35	14,9	35	–	–	16
IPS121	40	8,5	30	55 x 40 x 62	0,2	16,5
Keskimäärin	33	10,24	27	47 x 41 x 50	0,2	14,64

Gyropyörät ovat tyypillisesti pienen matkalaukun kokoisia, ja niissä on usein myös kantokahva siirtelyn helpottamiseksi. Jopa kuvan 4 kaltainen istuimella ja ”ohjaustangolla” varustettu gyropyörä, on verrattain kevyt (16 kg), mutta kuitenkin suurikokoisempi kuin tavanomainen gyropyörä, joten sitä ei yhtä kätevästi voi siirrellä ja säilöä.



Kuva 4. eCycle Wheeli-e SP522 -gyropyörä, jossa on istuin ja ”ohjaustanko” [21].

Gyropyörän suuren renkaan tai renkaiden vuoksi sillä voi liikkua vaikeakulkuisessakin maastossa. Jopa portaiden kiipeäminen on jollain laitteilla mahdollista riittävän harjoittelun jälkeen [23]. Ehkäpä suurin ongelma gyropyörän käyttämisessä onkin juuri se, että sen hallitseminen voi olla haastavaa sekä vaatii harjoittelua, ja iäkkäämmille tai heikkojalkaisille siitä tuskin koskaan on korvaamaan jalankulkua tai pyöräilyä.

Gyropyörien latausajat ovat melko lyhyitä – keskimäärin noin kolme tuntia (taulukko 5) – ja maksimitoimintasäteetkin jopa 40 km (taulukko 4). Latausajat korreloivat melko tarkkaan akkujen kapasiteettien kanssa, mutta laitteen toimintasäteet taas eivät. Jotkut laitteet voivat kulkea huomattavasti pidempiä matkoja pienemmällä akkukapasiteetilla kuin toiset, sillä niiden energiankulutus on pienempi. Tähän tietysti vaikuttaa valmistajien mittaukset ja käytännöt, mutta lukemiin tulisi pystyä luottamaan ainakin suuntaa antavina.

Taulukko 5. Gyropyörien teknisiä ominaisuuksia eri valmistajilta [18; 19; 20; 21; 22].

	Hinta (€)	Latausaika (h)	Akun kapasiteetti (Wh)	Kantavuus (kg)	Teho (W)
Inmotion SCV V3S	1150	2	288	120	500
Ninebot One E+	1300	4	320	120	500
FREEMAN A4H 172 Wh	695	1,5	172	120	500
eCycle Wheeli-e SP522	1690	3	522	100	800
IPS121	800	3	340	120	1000
Keskimäärin	1127	2,7	328,4	116	660

3.1.3 Sähköinen tasapainolauta

Sähköisessä tasapainolaudassa (tasapainoskooteri, leijulauta, minisegway) (kuva 5) on kaksi erillistä sähkökäyttöistä ja ladattavalta akustolta virtaa saavaa moottoria, joista kumpikin ohjaa omaa pyöräänsä. Laitteen käyttäjä seisoo tyypillisesti renkaiden välissä olevalla astinlaudoilla. Laite tunnistaa käyttäjän painon sekä sen jakautumisen ja tasapainottaa laitteen niin, että käyttäjä voi keskittyä pääosin laudan ohjaamiseen. Ohjaaminen tapahtuu samaan tapaan kuin gyropyörällä, eli siirtämällä kehon painopistettä haluttuun menosuuntaan. [24.]



Kuva 5. Sähköisellä tasapainolaudalla seistään kahden renkaan välissä olevilla astinlaudoilla [25].

Taulukoihin 6 ja 7 on kerätty eri valmistajien sähköisiä tasapainolautoja. Laitteiden maksiminopeudet ovat tyypillisesti enintään 15 km/h (taulukko 6), joten ne luokitellaan jalankulkua avustaviksi tai korvaaviksi liikkumisvälineiksi ja niillä voi ajaa jalkakäytävillä kävelyvauhtia. Jalankulkua avustaville tai korvaaville liikkumisvälineille ei ole annettu tarkempia teknisiä vaatimuksia, joten pyörateillä ajettaessa on otettava huomioon kevyille sähköajoneuvoille säädetyt, ajoneuvolain mukaiset vaatimukset valoista ja heijastimista.

Taulukko 6. Liikkumisen kannalta olennaisia ominaisuuksia sähköisistä tasapainolautoista eri valmistajilta [26; 27; 28; 29; 30].

	Max toimintasäde (km)	Energiankulutus (Wh/km)	Maksiminopeus (km/h)	Mitat käyttökunnossa: pituus x leveys x korkeus (cm)	Tilan vienti käyttökunnossa (m ²)	Massa (kg)
Speedom F1	30	5,3	12	18,6 x 58,4 x 17,8	0,109	12
ScooDeck X1.1	30	5,3	15	18,6 x 58,4 x 17,8	0,109	9,1
IO Chic Smart S2	20	7,9	10	18,5 x 58,4 x 17,8	0,108	10
OXBOARD BLACK	20	7,9	15	–	–	10
Star Cruiser	20	7,9	15	18,6 x 58,4 x 17,8	0,109	11
Keskimäärin	24	6,9	13,4	18,6 x 58,4 x 17,8	0,1	10,4

Sähköiset tasapainolaudat ovat sähkökäyttöisistä henkilökuljettimista kevyimpiä ja pienikokoisimpia (taulukko 6). Samaan tapaan kuin kevyimmissä sähköpotkulaudoissa, niissä on pienet renkaat ja näin ollen katujen kuopat, epätasaisuudet sekä korokkeet ovat niille haastavia [25]. Mutta vastaavasti sähköinen tasapainolauta on helppo nostaa hetkeksi kantaan ja ylittää siten tällaiset esteet. Muutenkin niitä on suhteellisen mutkaton kantaa mukana, ja pienen kokonsa vuoksi ne mahtuvat hyvin myös esimerkiksi julkisten liikennevälineiden kyytiin.

Taulukko 7. Sähköisien tasapainolautojen teknisiä tietoja eri valmistajilta [26; 27; 28; 29; 30].

	Hinta (€)	Latausaika (h)	Akun kapasiteetti (Wh)	Kantavuus (kg)	Teho (W)
Speedom F1	369	3	158,4	120	700
ScooDeck X1.1	399	2	158,4	120	700
IO Chic Smart S2	599	3	158,4	100	600
OXBOARD BLACK	799	2	158,4	120	–
Star Cruiser	499	4	158,4	120	700
Keskimäärin	533	2,8	158,4	116	675

Sähköisen tasapainolaudan hallitsemisen sen leveämmän akselivälin ansiosta voi olettaa olevan helpompaa kuin gyropyörän; esimerkiksi ScooDeck-laudan maahantuoja lupaa, että useimmat oppivat ajamaan sillä 10–15 minuutissa [25]. Siksi se soveltuu varmasti myös iäkkäämmän ja heikkojalkaisemman väestön liikkumisvälineeksi, mikäli tällaiset liikkumisvälineet saadaan laajemmin yleisön tietoon ja niihin mahdollisesti kohdistuvat epäluuloiset ennakkoluulot sekä asenteet muutettua.

Samoin kuin gyropyörien, ovat myös sähköisten tasapainolautojen latausajat melko lyhyitä: keskimäärin noin kolme tuntia (taulukko 7). Keskimääräinen toimintasäde on 24 km, mikä riittäisi vaikka ajamiseen Helsingissä Vuosaaresta Lauttasaareen. Muihin sähkökäyttöisiin henkilökuljettimiin verrattuna sähköiset tasapainolaudat kulkevat toisaalta melko hitaasti, joten niiden voisi olettaa sopivan parhaiten vilkkaaseen kaupunki-liikenteeseen, hyväkuntoisille asfalttiteille ja lyhyille siirtymille.

3.1.4 Tasapainoskootteri

Vuonna 2001 markkinoille tuli yhdysvaltalaisen Dean Kamenin kehittämä Segway, jota voidaan pitää tasapainoskootterin (kuva 6) esikuvana [31]. Vaikka Segway on yhden valmistajan tuotemerkki itsestään tasapainottuvasta kaksipyöräisestä motorisoidusta henkilökuljettimesta, voisi sitä pitää jo yleisnimityksenä tämän tyyppisestä kulkuvälineestä. Valtaosalle väestöstä sana Segway herättää varmasti heti tietynlaisen mielikuvan laitteesta, toisin kuin tasapainoskootteri, jota käytetään myös nimityksenä tasapainolaudasta. Toisaalta markkinoille on tullut viime vuosina useita Segwayn kaltaisia laitteita muilta valmistajilta, joten se ei ole välttämättä asianmukainen sana kuvaamaan

kaikkia näitä laitteita. Lisäksi Segway-brändin alla myytävissä tuotteissa on yleensä yli 1 kW:n sähkömoottori, joten ne on tarkoitettu raskaampaan ammattikäyttöön tai maihin, joissa tieliikenteessä on sallittua ajaa yli 1 kW:n sähkömoottorilla varustetulla sähköisellä henkilökuljettimella. Siksi tässä työssä käytetään Segwayn tapaisesta laitteesta nimitystä tasapainoskootteri.



Kuva 6. Tasapainoskootteri on kuin suurempikokoinen sähköinen tasapainolauta, jossa on ohjaustanko [33].

Taulukoihin 8 ja 9 on kerätty eri valmistajien tasapainoskoottereita. Niiden maksiminopeudet ovat tyypillisesti yli 15 km/h (taulukko 8), joten ne luokitellaan kevyiksi sähköajoneuvoiksi. Tasapainoskootteri on itsestään tasapainottuva laite, joten sitä saa käyttää pyöriteiden lisäksi myös jalkakäytävällä kävelynopeudella, mutta tällöin on annettava jalankulkijoille esteetön kulku.

Taulukko 8. Liikkumisen kannalta olennaisia ominaisuuksia tasapainoskoottereista eri valmistajilta [34; 35; 36; 37; 38].

	Max toimintasäde (km)	Energiankulutus (Wh/km)	Maksiminopeus (km/h)	Mitat käyttökunnossa: pituus x leveys x korkeus (cm)	Tilan vienti käyttökunnossa (m ²)	Massa (kg)
Airwheel S3	40	13	18	58,7 x 61,3 x 128	0,36	25,6
Ninebot Mini Pro	30	11	18	26,2 x 54,6 x 86,6	0,14	12,8
FOSJOAS V9	40	13	18	58,7 x 61,3 x 128	0,36	22,4
e-Cruiser A6	35	14,9	18	40 x 60 x 130	0,24	26
Airwheel S5	65	10,5	18	49,9 x 60,4 x 121,1	0,43	34
Keskimäärin	42	12,5	18	46,7 x 59,5 x 118,7	0,3	24,2

Tasapainoskootteri muistuttaa paljon sähköistä tasapainolautaa, mutta useimmiten se on huomattavasti painavampi sekä suurikokoisempi. Suurempi koko sallii myös suuremmat renkaat, jopa kuvassa 7 vasemmalla olevaan, käyttäjää polvista tukevalla tangolla varustettuun Ninebot Mini Pro -tasapainoskootteriin. Isokokoisemmat renkaat mahdollistavat vakaamman ajokäytöksen sekä ajamisen vaikeakulkuisemmassa maastossa ja tiestöllä. Sähkökäyttöisistä henkilökuljettimista, varsinkin käsillä kiinni pidettävällä tangolla varustetut tasapainoskootterit soveltuvatkin varmasti parhaiten iäkkäämmän ja heikkojalkaisemman väestön liikkumisvälineeksi.



Kuva 7. Ninebot Mini Pro -tasapainoskootteri (vasemmalla) on huomattavasti penikokoisempi, kuin tavanomainen tasapainoskootteri (oikealla) [39].

Tasapainoskoottareiden suuren akkukapasiteetin myötä (taulukko 9), niiden toimintasäde on valmistajien ilmoituksen mukaan keskimäärin noin 42 km (taulukko 8). Toimintasäde on sähkökäyttöisistä henkilökuljettimista pisin, eikä akun lataamiseen tyhjää täyteen kuluva aikaakaan ole tästä huolimatta pitkä – keskimäärin 4,6 tuntia. Toisaalta akun pitkäkään latausaika tuskin olisi ongelma, sillä sähkökäyttöisellä henkilökuljettimella ajetaan varmasti melko harvoin niin pitkiä matkoja yhteen menoon, että akusto tyhjenisi kokonaan.

Taulukko 9. Tasapainoskoottareiden teknisiä tietoja eri valmistajilta [34; 35; 36; 37; 38]

	Hinta (€)	Latausaika (h)	Akun kapasiteetti (Wh)	Kantavuus (kg)	Teho (W)
Airwheel S3	1399,9	6	520	120	1000
Ninebot Mini Pro	1349,9	4	–	100	800
FOSJOAS V9	–	3	520	120	1000
e-Cruiser A6	1200	6	520	120	700
Airwheel S5	2899	4	680	120	1000
Keskimäärin	1712,2	4,6	560	116	900

3.2 Sähköpyörä

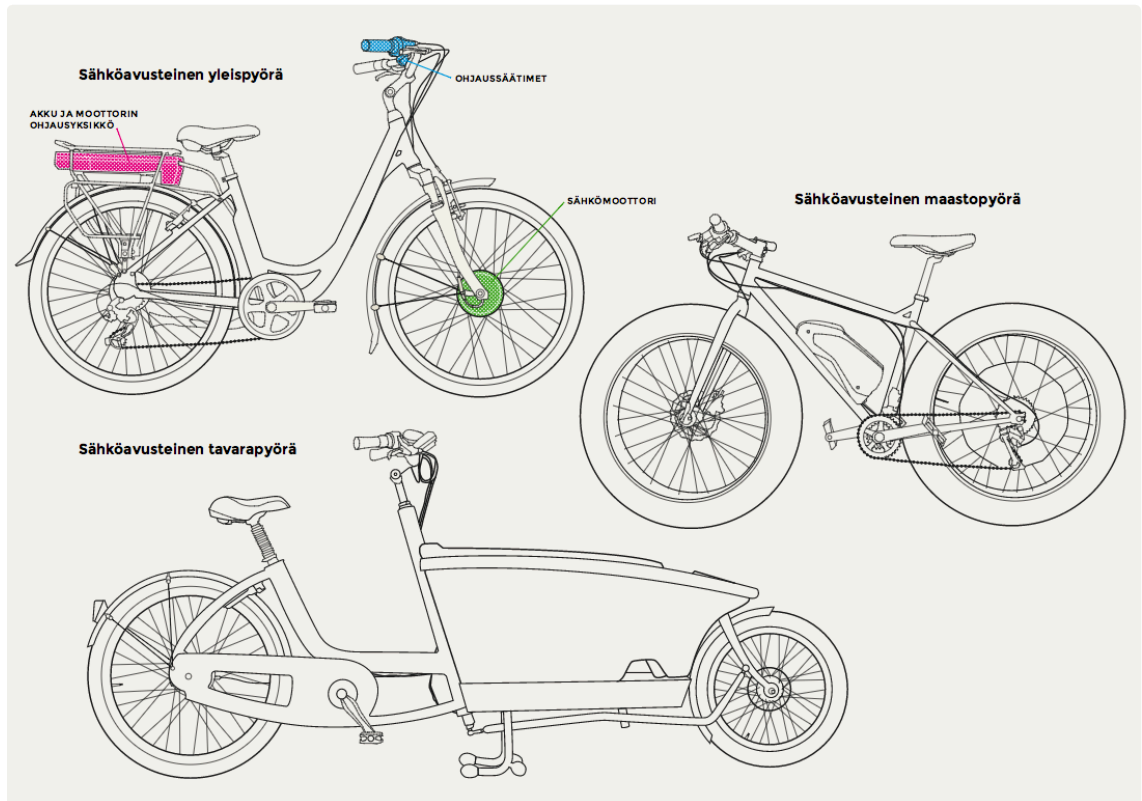
Sähköpyörä on useita vuosia vanha keksintö ja ensimmäiset nykyaikaiset sähköpyörät tulivat markkinoille jo 2000-luvun alkuvuosina. Suomessa sähköpolkupyörien osuus kaikista myydyistä pyöristä on kuitenkin tällä hetkellä vain yksi prosentti. Muualla Euroopassa taas sähköpyörien käyttö lisääntyy ja myynti kasvaa räjähdysmäisesti. Esimerkiksi Hollannissa myydään vuodessa miljoona pyörää, joista useampi kuin joka viides on sähköpyörä ja Belgiassa jo lähes joka neljäs myyty pyörä on sähköpyörä. Syy Suomen heikkoon sähköpyörien myyntiin voi olettaa olevan kauppiaiden, jotka brändäsivät sähköpyörät invapyöräksi vanhuksille ja väsyneille, joilta normaali pyöräily ei enää onnistuisi. Suomessa on kuitenkin viimeiset pari vuotta puhuttu pyörien sähköistymisestä, ja nyt sähköpyörät ovat lyömässä vahvasti läpi täälläkin. [40; 41, s. 5.]

Sähköpyörä on kuin tavallinen polkupyörä johon on lisätty sähkömoottori ja sille virtaa antava akku. Lisäksi pyörään on asennettu tarvittava moottorin ohjausyksikkö sekä

ohjaussäätimet. Sähkömoottori voi sijaita taka-akselissa, jolloin moottori vetää takapyörästä, aivan kuten tavallinen pyörä. Pyörän keskiöön, polkimien yhteyteen asennettu moottori antaa tehoa polkemiseen, reagoi polkutehoon sekä madaltaa pyörän painopistettä ja lisää tasapainoa. Etunapaan sijoitettu moottori vetää edestä, mikä voi tuntua oudolta ja hankaloittaa hallintaa, kun moottori lisää painoa pyörän etupäähän. Sähköpyörien akun asennuspaikka vaihtelee malleittain, mutta tyypillisimmät paikat ovat tarakka tai runko. Akun voi yleensä irrottaa latausta varten, ja mitä matalammalla se sijaitsee, sitä matalampi on pyörän painopiste [42].

Puhuttaessa sähköpyöristä on tärkeää ymmärtää, että sähköpyörä- termillä viitataan sähköpyöriin yleisesti. Sähköpyöriä on olemassa kolmenlaisia: sähköavusteisia, moottorilla varustettuja sekä muunnossarjoilla tavallisista polkupyöristä sähkökäyttöiseksi pyöräksi muunnettuja polkupyöriä. Seuraavissa alaluvuissa esitellään sähköavusteinen ja moottorilla varustettu polkupyörä. Moottorilla varustetun polkupyörän ominaisuuksia ei esitellä taulukkomuodossa, sillä sen ominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset, kuin sähköavusteisen polkupyörän. Lisäksi moottorilla varustettujen polkupyörien tarjonta sekä markkinat ovat marginaaliset sähköavusteisiin polkupyöriin verrattuna. [5, s. 2.] Tässä insinööriyössä ei oteta ollenkaan kantaa muunnossarjoihin, joiden avulla tavalliseen pyörään saa asennettua sähköominaisuudet, sillä lopputuloksena muunnossarjalla varustettu polkupyörä vastaa ominaisuuksiltaan sähköavusteista tai moottorilla varustettua polkupyörää.

Sähköpyörien hintahaitari on suuri, mutta ominaisuuksia tutkittiin 1000–2000:n € hintaisien sähköavusteisten pyörien osalta, sillä tämän hintaisia pyöriä ihmiset yleensä ostavat [5, s. 2]. Koska sähköpyörät vastaavat kooltaan ja ulkonäöltään normaalia polkupyörää, otettiin pyörille yhteisiksi mitoiksi tavanomaisen 28":n renkailla ja 58 cm:n runkokokoolla varustetun yksilön mitat. Lisäksi ominaisuuksia tutkittiin lähinnä kuvassa 8 näkyvän sähköavusteisen yleispyörän näköisiltä laitteilta.



Kuva 8. Erityylyisiä sähköpyöriä [5, s. 3].

3.2.1 Sähköavusteinen polkupyörä

Sähköavusteinen polkupyörä on pyörä, jonka maksimissaan 250 W:n tehoinen sähkömoottori käynnistyy, kun pyörällä poljetaan ja sammuu automaattisesti 25 kilometrin tuntivauhdissa. Tämän jälkeen on polkijan itse tuotettava kaikki vauhdin kasvattamiseen vaadittu energia. Useimmissa pyörissä on valitsin, jolla sähköavustuksen voimakkuutta voi säädellä. Isoimmalla avustustasolla pyöräily on kevyintä, mutta sähkömoottori vie silloin eniten virtaa. Matalimmalla tasolla pyöräily saattaa vastata lähes normaalia pyöräilyä, mutta virtaa kuluu silloin vähiten. [43; 44.]

Sähköavusteinen polkupyörä on tällä hetkellä 6–8 kg painavampi kuin tavallinen polkupyörä johtuen akusta ja sähkömoottorista – siksi se on ilman avustusta jonkin verran raskaampi polkea kuin normaali pyörä. Sähkömoottorin avustuksella polkeminen on kuitenkin kevyempää kuin tavanomaisella pyörällä, mutta samalla on mahdollisuus saada myös liikuntaa. Tuntemus on sama kuin joku työntäisi ajaessa selästä. Liikenneviraston julkaisussa sähköpolkupyörien tulevaisuudesta Suomessa (3/2015), sähkö-

avusteisen polkupyörän ajokokemuksesta verrattuna perinteisiin pyöriin on todettu seuraavaa:

1. Sähköpolkupyörä jopa tuplaa keskimääräisen pyörällä kuljettavan matkan juuri polkemisen keveyden takia (Mercat 2013). Se on siis pitkien matkojen siirtymiseen sopiva väline.
2. Sähköpolkupyörällä matkat taittavat nopeammin kuin perinteisellä pyörällä. Polkupyörällä päästään tyypillisesti 17 km/h keskinopeuteen, sähköpyörällä 24km/h (Liikennevirasto 2015, 39).
3. Sähköavusteisuus tekee vastatuuleen ja ylämäkeen polkemisen vähän helpommaksi. Näin pyöräilystä tulee houkuttelevampaa useammille. (Liikennevirasto 2015, Liite 1 & Allemann et al 2013.). [5, s. 2.]

Julkaisussa tarkoitetaan sähköpolkupyörällä sähköavusteista polkupyörää. Vastaavanlaisia kokemuksia voidaan olettaa olevan myös moottorilla varustetun polkupyörän ajamisen suhteen.

Taulukoihin 10 ja 11 on kerätty eri valmistajien sähköavusteisia polkupyöriä. Maksiminopeus on taulukossa 10 asetettu lukemaan 25 km/h, sillä tämän jälkeen sähkömoottorin avustus kytkeytyy pois päältä ja pyöräilyn haastavuus lisääntyy merkittävästi. Pyörän kantavuuden ilmoitti verkkosivuillaan vain yksi valmistaja, mutta kaikkien pyörien kantavuuden voi hyvin olettaa olevan vähintään 100 kg.

Taulukko 10. Liikkumisen kannalta olennaisia ominaisuuksia sähköavusteisten polkupyörien eri valmistajilta [45; 46; 47; 48; 49].

	Max toimintasäde (km)	Energiankulutus (Wh/km)	Maksiminopeus (km/h)	Mitat käyttökunnossa: pituus x leveys x korkeus (cm)	Tilan vienti käyttökunnossa (m ²)	Massa (kg)
EVELO E-Sport 8 36/250/10 Uni	60	6	25	–	–	22,8
Crescent Tarfek C767	60	6,2	25	–	–	23,9
GoZero 28" 2016	50	7,5	25	–	–	24,9
Boostbike City 9Ah	90	3,6	25	–	–	23
VELOCITY BY WHITE Electric-ty	80	4,95	25	–	–	23,7
Keskimäärin	68	5,7	25	170 x 60 x 90	1,02	23,7

Kuten liikenneviraston julkaisussa todetaan [5, s. 2], on sähköavusteinen polkupyörä sopiva väline pitkille siirtymille. Taulukon 10 mukaan, on sen toimintasäde keskimäärin 68 km. Kalliimman hintaluokan pyörissä toimintasäde on yleensä vielä pidempi. Energiankulutus sähköavusteisilla polkupyörillä on pieni (keskimäärin 5,7 Wh/km), mutta on otettava huomioon, että osan tarvittavasta liike-energiasta tuottaa pyörän kuljettaja itse. Akkujen latausajat ovat tyypillisesti noin 5,5 tuntia (taulukko 11). Akun lataaminen tapahtuu verrattain helposti, sillä sen voi useimmiten irrottaa pyörästä ja tarpeen vaatiessa ladata esimerkiksi toimistossa työpäivän aikana.

Taulukko 11. Sähköavusteisten polkupyörien teknisiä tietoja eri valmistajilta [45; 46; 47; 48; 49].

	Hinta (€)	Latausaika (h)	Akun kapasiteetti (Wh)	Kantavuus (kg)	Teho (W)
EVELO E-Sport 8 36/250/10 Uni	1000	5	360	–	250
Crescent Tarfek C767	1400	6	370	–	250
GoZero 28" 2016	1100	6	374,4	–	250
Boostbike City 9Ah	1800	–	324	120	250
VELOCITY BY WHITE Electric-ty	1800	5	396	–	250
Keskimäärin	1420	5,5	364,9	120	250

3.2.2 Moottorilla varustettu polkupyörä

Merkittävin ero moottorilla varustetun ja sähköavusteisen polkupyörän välillä on se, että moottorilla varustettua polkupyörää voidaan ajaa myös ilman polkemista ainoastaan kaasukahvaa kääntämällä/painamalla. Aikaisemmin kaikki tällaiset ajoneuvot piti Suomessa rekisteröidä mopoiksi sekä niiden ajaminen edellytti vähintään mopokorttia, mutta lakiuudistuksen myötä 250–1000 W:n moottorilla varustettu ja sähköä avulla enintään 25 km/h kulkeva polkupyörä vaatii ainoastaan liikennevakuutuksen, jotta sillä voi ajaa Suomen tieliikenteessä. [6; 43.]

Koska moottorilla varustettua polkupyörää voidaan ajaa kokonaan ilman polkemista, sillä voi helpommin saavuttaa korkeampia nopeuksia, kuin sähköavusteisella polkupyörällä. Kuitenkin sähköinen avustus päättyy molemmissa viimeistään, kun nopeus on 25 km/h ja tämän jälkeen pyöräilyn vaativuus lisääntyy ja nopeuden kasvattaminen riippuu

pitkälti pyöräilijän fyysisestä kunnosta. Siksi niiden maksiminopeudet tuskin eroavat toisistaan merkittävästi. Myös keskinopeuden liikenteessä, on liikenneviraston julkaisussa [5, s. 2] todettu sähköpyörillä olevan 24 km/h. Tähän lukeutuu sähköavusteisten polkupyörien lisäksi myös siis moottorilla varustetut polkupyörät. Moottorilla varustetun polkupyörän energiankulutus on suurempi kuin sähköavusteisen polkupyörän, mutta kuitenkin suuruusluokaltaan pienempi kuin yli 30 kg painavien sähköpotkulautojen.

3.3 Yhteenveto ominaisuuksista

Taulukkoon 12 ja 14 on kerätty yhteen kaikkien edellä mainittujen sähköisten liikkumisvälineiden keskimääräiset ominaisuudet. Jotta ominaisuudet olisivat vertailukelpoisempia, on sähköpotkulaudat jaoteltu kevyisiin (alle 20 kg) sekä raskaisiin (yli 20 kg) lautoihin. Liikkumisvälineiden, joiden keskimääräiset maksiminopeudet ylittävät 25 km/h, on taulukossa 12 asetettu lukemaan 25 km/h, sillä sitä nopeammin ei Suomen tieliikenteessä kyseisillä välineillä saa ajaa (pois lukien sähköavusteinen polkupyörä). Lisäksi taulukkoon 12 on lisätty kenttä ”Tie jolla ajetaan”, josta ilmenee millä teillä kullakin liikkumisvälineellä voi Suomen tieliikenteessä ajaa.

Taulukko 12. Yhdistetyt ominaisuudet sähköisistä liikkumisvälineistä, jotka ovat liikkumisen kannalta olennaisia.

	Max toimintasäde (km)	Energiankulutus (Wh/km)	Maksiminopeus (km/h)	Mitat käyttökunnossa: pituus x leveys x korkeus (cm)	Tilan vieni käyttökunnossa (m ²)	Massa (kg)	Tie jolla ajetaan
Sähköpotkulauta (kevyt)	31,7	9,1	25	96 x 41 x 117	0,4	13,7	Pyörätie(/jalkakäytävä)
Sähköpotkulauta (raskas)	22,5	19,5	22,5	124 x 63 x 108	0,8	40	Pyörätie
Gyropyörä	33	10,2	25	47 x 41 x 50	0,2	14,6	Pyörätie
Sähköinen tasapainolauta	24	6,9	13,4	18,6 x 58,4 x 17,8	0,1	10,4	Jalkakäytävä/pyörätie
Tasapainoskooteri	42	12,5	18	46,7 x 59,5 x 118,7	0,3	24,2	Jalkakäytävä/pyörätie
Sähköavusteinen polkupyörä	68	5,7	25	180 x 60 x 110	1,0	23,7	Pyörätie
Keskimäärin	36,9	10,6	21,5	85 x 54 x 87	0,5	21,1	–

3.3.1 Liikenteelliset ominaisuudet

Ajo-ominaisuuksia tarkastellessa, on jokaisella liikkumisvälineellä omat vahvuutensa sekä heikkoutensa. Mitä suuremmat renkaat laitteessa on, sitä paremmin sillä pystyy

ajamaan epätasaisilla teillä ja esimerkiksi röpelöisellä katukivetyksellä. Suuret renkaat tuovat yleensä vakautta ja varmuutta ajamiseen, mutta silloin laite on isompi ja raskaampi, mikä vaikeuttaa laitteen siirtelyä ja säilömistä muuten. Jos taas laite on pieni ja kevyt, eivät sen ajo-ominaisuudet ole välttämättä niin hyvät, mutta pieni koko mahdollistaa kätevän siirtelyn esimerkiksi ylitseajamattomien esteiden kuten portaiden ja katukivetyksien ohi.

Taulukon 12 perusteella voisi yleistää, että kaikkien sähköisten liikkumisvälineiden toimintasäteet ovat vähintään 20 km. Vaikka sähkökäyttöiset henkilökuljettimet kulkevat parhaimmillaan yli 40 km:n matkoja, on kyseenalaista, onko edes 20 km:n matkan taittaminen yhtäjaksoisesti mielekäästä näillä kuljettimilla. Suurimmassa osassa kuljettimisista, matkaa taitetaan seisten, joten jossain vaiheessa matkaa alkaa varmasti ilmennään väsymistä. Asian kartoittaminen vaatisi laajempaa selvitystyötä (esimerkiksi käyttäjäkyselyiden muodossa) sekä laitteiden testaamista, jota ei tämän työn ohessa ollut mahdollista suorittaa, sillä laitteita ei toistaiseksi ole liikenteessä kuin kourallinen eikä asetettu aikataulu antanut myöten. Joka tapauksessa on selvää, että paras liikkumisväline pitkille matkoille on sähköpolkupyörä, ergonomisemman ajoasennon sekä pisimmän toimintasäteen vuoksi.

Lyhyemmillä matkoilla varsinkin vilkkaassa kaupunkiympäristössä, pienikokoisten henkilökuljettimien edut tulevat parhaiten esille. Sähköpotkulautoja, joiden suurin rakenteellinen nopeus on 15 km/h, sekä itsestään tasapainottuvia laitteita, kuten sähköistä tasapainolautaa, voi käyttää jalankulkijoiden seassa jalkakäytävillä, jolloin niiden käyttöympäristö ja mahdollisuudet verrattuna ainoastaan pyöriteillä käytettäviin liikkumisvälineisiin laajenevat huomattavasti. Esimerkkinä voidaan mainita tilanne, jossa sähköisellä tasapainolaudalla, tasapainoskooterilla tai pienikokoisella sähköpotkulaudalla ajeleva henkilö päättää kaupunkikerroksen ohessa käydä ostoksilla: polkupyörällä ajessaan hänen olisi ensin etsittävä turvallinen ja kelvollinen paikka pyörän säilyttämiseen, mutta kyseessä olevilla henkilökuljettimella henkilö voi suoraan ajaa sisään kauppaan. Toki yritykset saattavat kieltää ajamisen tiloissaan, mutta vastaavanlainen tilanne voisi hyvinkin olla mahdollinen ja erittäin suotava tulevaisuudessa.

Kun keskustaympäristössä liikutaan pyöriteillä, ovat kevyet gyropyörien kaltaiset pienikokoisemmat laitteet verrattuna sähköpolkupyöriin tai tavallisiin polkupyöriin merkittävästi kätevämpiä. Niillä voi saavuttaa samat keskinopeudet, mutta ovat olennaisesti pienikokoisempia sekä kevyempiä. Vaikkapa edellisessä kappaleessa mainittu esi-

merkkutilanne voisi toimia gyropyörän kohdalla niin, että henkilö ottaa tämän mukaan kauppaan ja vetää sitä perässään kuin matkalaukkua.

Ajonopeudet vaikuttavat suuresti siihen, miten verkkaisesti henkilö voi siirtyä paikasta toiseen. Kun jalkakäytävällä jalankulkijoiden seassa liikkuvilla sähkökäyttöisillä henkilökuljettimilla voi ajaa maksimissaan 15 km/h, mahdollistaa se huomattavasti nopeamman kulkemisen perinteiseen kävelyyn verrattuna. Liikenneviraston jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnitteluohjeessa (11/2014), on havaintoja suomalaisten kävely- ja pyöräilymatkojen ominaisuuksista, jotka on otettu pääosin Liikenneviraston vuosina 2010-2011 toteutetusta henkilöliikennetutkimuksesta:

- Suomalaiset tekevät keskimäärin 2,9 matkaa vuorokaudessa, joista 21 % tehdään jalan ja 8 % pyörällä.
- Vuosittainen matkasuorite on jalankulun osalta 1,8 mrd. km ja pyöräilyn 1,3 mrd. km.
- Jalankulkumatkoista 62 % on alle kilometrin mittaisia. Pyöräilymatkoja tehdään eniten alle viiden kilometrin pituisilla matkoilla.
- Jalankulkumatkan keskimääräinen pituus on 1,6 km ja keskimääräinen matka-aika 22 minuuttia. Pyöräilyn vastaavat ovat 3,1 km ja 16 minuuttia.
- Keskimääräiset kävelyn pistenopeudet Helsingin keskustassa linjaosuuksilla vaihtelevat välillä 5,4–6,5 km/h. [50, s. 21, 27.]

Helsingin keskustan keskimääräiset kävelyn pistenopeudet ovat korkeintaan 6,5 km/h, jolloin sähkökäyttöisellä henkilökuljettimella olisi mahdollista liikkua noin 2,3 kertaa nopeammin, kuin kävellen. 15 km/h vakionopeudella, tyypillinen 1,6 kilometrin kävelymatka olisi silloin mahdollista suorittaa 6,4 minuutissa; ja 22 minuutissa, voisi taittaa 5,5 kilometrin pituisen matkan. Vastaavat lukemat normaalilla kävelyllä (6,5 km/h) olisivat 14,8 min ja 2,4 km. Pyöräilyn suhteen erot eivät ole niin suuret. Sähköpyörällä päästään keskimäärin 24 km/h ja tavallisilla polkupyörillä 17 km/h keskinopeuksiin. Sähköpyörällä on siis keskimäärin mahdollista liikkua noin 1,4 kertaa nopeammin kuin polkupyörällä. Tällöin tyypillinen 3,1 kilometrin matka on sähköpyörällä mahdollista suorittaa 7,8 minuutissa; ja 16 minuutissa voisi kulkea 6,4 kilometrin pituisen matkan. Vastaavat lukemat polkupyörälle olisivat 10,9 min ja 4,5 kilometriä.

Kun sähkökäyttöisiä henkilökuljettimia alkaa kulkea enemmän ympäristössä, on vaikeaa arvioida, miten nopeasti niillä käytännössä pystyy liikkumaan ja mihin niiden keskinopeudet tulevat varsinkin keskusta-alueilla asettumaan. Sama pätee pyöräteillä liikku-

viin laitteisiin. Vaikka ne pystyvät maksimissaan 25 kilometrin tuntinopeuksiin (sähköpyörät jopa suurempiin nopeuksiin), on epävarmaa, onko vilkkaasti liikennöidyillä pyöräteillä järkevää tai edes mahdollista ajaa niin nopeasti. Keskusta-alueiden ulkopuolella tilanne on varmasti toinen, ja silloin laitteiden keskinopeudet lähestyvät niiden maksiminopeuksia. Liikenneviraston julkaisussa, sähköavusteisen polkupyörän ajokokemuksesta verrattuna perinteisiin pyöriin todettiin, että polkupyörillä päästään tyypillisesti keskinopeuteen 17 km/h ja sähköpyörällä 24 km/h. Tässä yhteydessä kaikkia pääsääntöisesti pyöräteillä liikkuvia sähköisiä liikkumisvälineitä voidaan verrata sähköpyöriin.

Ympärivuotisessa käytössä Suomessa sähköisillä liikkumisvälineillä tulee vastaan samoja ongelmia kuin polkupyörällä. Talvella lämpötilat voivat olla hyvinkin alhaisia, mikä vähentää laitteiden käytön houkuttelevuutta. Vaikka laitteita voi käyttää myös pakkasessa, olisi päälle puettava huomattava lämpökerrasto, sillä laitteiden liikkuttamiseen ei joudu itse juurikaan tekemään töitä. Pyöräilyssä on sentään poljettava, jolloin on mahdollista pysyä lämpimämpänä. Lisäksi ongelmaksi muodostuu kaduilla ja väylillä oleva lumi ja jää. Suurimpaan osaan laitteista ei ole saatavilla nastarenkaita, eikä niiden vaihtaminen olisi edes mahdollista laitteiden suljetun rakenteen takia. Kuitenkin laitteet, joissa on kaksi pyörää rinnan, pysyvät paremmin tasapainossa, kun niitä ei tarvitse polkupyörän tavoin kallistella kääntyessä. Nastarenkaat eivät siis näiden laitteiden kohdalla olisi edes välttämättä tarpeelliset, mutta ylämäet sekä jarruttaminen voisivat olla silloin haasteellisia. Lumi ja vesi ei sinällään aiheuta ongelmia laitteiden käytössä, sillä useat niistä ovat suojattu vedeltä. Lumen kertyminen teille tekee normaalista pyöräilystä raskaampaa, mikä ei taas ole ongelma sähköisille liikkumisvälineille. Yksi sudenkuoppa on laitteiden toimintasäteen lyheneminen, kun akun käyttökapasiteetti alenee eikä sitä saa kunnolla ladattua kylmissä olosuhteissa. Toisaalta nykyinen ilmastokehitys on mennyt lämpimämpään suuntaan, jolloin vuodessa ei ole ollut varsinkaan Etelä-Suomessa ja pääkaupunkiseudulla montaakaan sellaista päivää tai viikkoa, jotka oikeasti estäisivät kaikkien sähköisten liikkumisvälineiden käytön. Lisäksi nykyään panostetaan yhä enemmän myös jalkakäytävien ja pyöräteiden talvikunnossapitoon, jolloin laitteita on miellyttävämpää käyttää myös talvella.

3.3.2 Energiankulutus ja päästöt

Tutkituista liikkumisvälineistä, ovat raskaat sähköpotkulaudat energiankulutuksen suhteen suurimpia syöppöjä. Taulukossa 10 on raskaiden sähköpotkulautojen keskimääräisen energiankulutuksen selvitetty olevan 19,5 Wh/km. Esimerkiksi Suomessa liikku-

viin henkilöautoihin verrattuna (680 Wh/km), on lukema kuitenkin marginaalinen, puhumattakaan kaikkien sähköisten liikkumisvälineiden keskimääräisestä energiankulutuksesta (10,6 Wh/km). Toisaalta on otettava huomioon, että henkilöautossa matkustaa yleensä useampi kuin yksi henkilö – keskimäärin 1,7 henkilöä – joten tässä kontekstissa on järkevämpää puhua energiankulutuksesta henkilökuljetusyksikköä kohden, joka on siis henkilöautojen tapauksessa keskimäärin 400 Wh/hkm. Tämänkin lukeman suhteen, on henkilöauton energiankulutus noin 38-kertainen, verrattuna sähköisiin liikkumisvälineisiin. [51.] Optimistisena arviona asian voisi vielä ilmaista niin, että samalla energiamäärällä, yhden kilometrin matkalla, sähköisellä henkilökuljettimella liikkuu 38 ihmistä, verrattuna yhteen henkilöautolla liikkuvaan ihmiseen.

Sähköautojen energiankulutus on tyypillisesti 100–150 Wh/km ja henkilökuljetusyksikköä kohden noin 59–88 Wh/km [52]. Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden energiankulutus olisi tällöin noin kuudesosa sähköautojen vastaavasta (59 Wh/km). Sähköautot kilpailevat energiankulutuksen suhteen kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden kanssa siis huomattavasti tasaväkisemmin, kuin polttomoottorikäyttöiset henkilöautot. Vaikka sähköautojen myynti kasvaa, on niiden osuus Suomen koko liikennekäytössä olevasta henkilöautokannasta toistaiseksi hyvin pieni (noin 0,024 %) [53], joten tällä hetkellä sähköisiä liikkumisvälineitä on järkevää keskittyä vertaamaan ainoastaan polttomoottorikäyttöisiin henkilöautoihin.

Taulukossa 13 on esitetty eri liikennemuotojen energiatehokkuutta Helsingin seudulla vuonna 2010. Ottamatta kantaa eri julkisilla liikennemuodoilla tehtäviin matkustussuoritteiden määriin, taulukon sarakkeesta ”Polttoaineen/sähkön kulutus”, ”kWh/matkustaja-km”, voidaan julkisten liikennemuotojen keskimääräisen energiankulutuksen matkustajaa kohden todeta olevan 239,2 Wh/km. Näin ollen julkisten liikennemuotojen energiankulutus henkilökilometriä kohden verrattuna sähköisiin liikkumisvälineisiin on keskimäärin noin 23-kertainen.

Taulukko 13. Kooste liikennemuotojen energiatehokkuusmittareista [54, s. 55].

Liikennemuodot	Polttoaineen/sähkön kulutus		Primäärienergian kulutus	
	kWh/paikka-km	kWh/matkustaja-km	kWh/paikka-km	kWh/matkustaja-km
Metro	0,021	0,1	0,051	0,251
Raitiovaunut	0,049	0,225	0,123	0,563
Lähijunat	0,014	0,033	0,034	0,084
Bussit, diesel	0,075	0,371	0,098	0,483
Bussit, maakaasu	0,094	0,467	0,123	0,607
Henkilöauto	0,15	0,75	0,195	0,975

Ajoneuvotekniikan kehityksen myötä sekä henkilöauton, että joukkoliikennevälineiden energiatehokkuus on parantunut. 2010-luvun alusta otetut lähteet sisältävät osittain jo vanhentunutta tietoa, eikä esimerkiksi taulukossa 13 ole lainkaan huomioitu viimevuosina liikenteeseen tulleita hybridibusseja. Lisäksi arvioitaessa tarkemmin julkisten liikennemuotojen keskimääräistä energiankulutusta, olisi otettava huomioon kullakin liikennemuodolla tehtävien matkustussuoritteiden määrä, sillä joillakin liikennemuodoilla saattaa kulkea huomattavasti enemmän matkustajia kuin toisella. Mutta vaikka kaikki julkisten liikennemuotojen matkat tehtäisiin lähijunilla, jotka ovat julkisista liikennemuodoista energiatehokkaimpia (33 Wh/hkm), olisi energiankulutus henkilökilometriä kohden silti moninkertainen useimpiin sähköisiin liikkumisvälineisiin verrattuna.

Useimmat valmistajat eivät ilmoita suoraan laitteidensa energiankulutuksia. Arvioitaessa sähköisten liikkumisvälineiden energiankulutusta, ovat valmistajien ilmoittamat tiedot akkujen kapasiteeteista sekä toimintasäteistä oleellisia. Laitteen toimintasäteeseen vaikuttaa moni ulkoinen tekijä, esimerkiksi lämpötila, rengaspaine, tuuli, ajajan paino, reitin korkeusvaihtelut, maaston tyyppi ja sähköpyörien kohdalla ajajan tuottama energia sekä valittu avustustaso. Vaikka valmistajat varmasti kaunistelevat laitteidensa ominaisuuksia ja kertovat ne arvot, joihin laitteet optimaalisissa olosuhteissa käytettynä pystyvät, on oletettavaa, että laitteet ja akkuteknologia tulevat tulevaisuudessa kehittymään ja kyseiset arvot siten mahdollista saavuttaa, toimintasäteen kohdalla jopa ylittää ja energiankulutuksen suhteen alittaa, lähes millaisissa olosuhteissa tahansa.

Sähköiset liikkumisvälineet eivät aiheuta laisinkaan paikallisia pakokaasupäästöjä niissä käytettävän sähköenergialla toimivan sähkömoottorin takia. Aiheutettuihin päästöihin vaikuttaa ainoastaan se, miten niiden käyttämä energia on tuotettu. Muiden päästöjen lisäksi, käytännössä säädellyin energiatuotannosta ja polttomoottorikäyttöisistä au-

toista syntyvä kasviuonekaasu on hiilidioksidi (CO₂). Suomen keskimääräinen sähkönhankinnan CO₂-päästökerroin laskettuna viiden vuoden liukuvana keskiarvona, on 220 kg CO₂/MWh [55]. Jos sähköisten liikkumisvälineiden energiankulutuksena käytetään taulukon 12 keskiarvoa 10,6 Wh/km ja lopulta akuille siirtyvän sähköenergian hyötysuhteena 80 %, olisi niiden tuottamat hiilidioksidipäästöt kilometriä kohden tällöin

$$0,000220 \frac{kg}{Wh} * 10,6 \frac{Wh}{km} * \frac{1}{0,8} = 0,002915 \frac{kg}{km} \approx 2,9 \frac{g}{km}$$

Suomen henkilöautojen keskimääräiset CO₂-päästöt henkilökilometriä kohden vuonna 2011 olivat 97 g/km [51]. Henkilöautot tuottavat siten noin 33-kertaa enemmän hiilidioksidipäästöjä henkilökilometriä kohden, kuin sähköiset liikkumisvälineet. CO₂-päästöt ovat siis vahvasti yhteydessä energiankulutukseen. Kun puhutaan polttomoottorikäyttöisten henkilöautojen CO₂-päästöistä, otetaan huomioon ainoastaan niiden tuottamat paikalliset päästöt. Jos huomioitaisiin koko polttoaineen tuotannosta ja jakelusta syntyvät päästöt, olisi ero sähköisten liikkumisvälineiden eduksi vielä suurempi.

Vuosittainen matkasuorite jalankulun osalta on 1,8 mrd. km. Jos kuviteltaisiin, että kaikki jaloin tehtävät matkat korvattaisiin sähköisillä henkilökuljettimilla, joilla saa ajaa jalkakäytävillä (keskimäärin 9,5 Wh/km), olisivat tuotetut CO₂-päästöt silloin

$$2,9 \frac{g}{km} * 1800000000 km = 5,22 * 10^9 g \approx 5,2 * 10^6 kg$$

Jos taas kaikki 1,3 mrd. km vuosittaiset matkasuoritteet pyöräilyn osalta korvattaisiin sähköisillä liikkumisvälineillä, olisivat tuotetut CO₂-päästöt taas

$$2,9 \frac{g}{km} * 1300000000 km = 3,77 * 10^9 g \approx 3,8 * 10^6 kg$$

Jalankulun ja pyöräilyn korvaavien matkojen yhteenlasketut CO₂-päästöt (8,5 * 10⁶ kg) olisivat tässä tapauksessa silti alle kymmenesosa Suomessa vuonna 2012 moottoripyörien tuottamista CO₂-päästöistä (9,38 * 10⁷ kg) [56].

Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden yleistyessä, kulkutapamuutoksia tapahtuu todennäköisesti laaja-alaisesti kaikissa kulkumuodoissa. Myös matkojen suuntautumisessa voi tapahtua muutoksia, jolloin matkoja tehdään myös paikkoihin, joihin ei aikai-

semmin ole kuljettu pääosin kuin henkilöautolla. Vaikka siirtymää kävelystä ja pyöräilystä sähköisten liikkumisvälineiden pariin tapahtuisi paljonkin, osoittavat edellä olevat laskelmat, etteivät liikenteen tuottamat kasvihuonekaasupäästöt siitä huolimatta merkittävästi kasvaisi. Kun henkilöautoilla tehtyjä matkoja korvattaisiin kattavasti sähköisillä liikkumisvälineillä, olisi kokonaisvaikutus hiilidioksidipäästöihin varmasti jopa niitä alentava.

79 % Suomen sähköstä tuotetaan hiilidioksidivapailla energialähteillä, kuten vesi- ja ydinvoimalla, millä on suuri merkitys sähköisten liikkumisvälineiden tuottamiin CO₂-päästöihin [55]. Mikäli sähköntuotanto pystyttäisiin toteuttamaan kokonaan hiilidioksidivapailla sekä uusiutuvilla energialähteillä, olisivat sähköiset liikkumisvälineet käytännössä päästöttömiä hiilidioksidipäästöjen suhteen. Muihin energiatuotannon aiheuttamiin päästöihin, ei tässä insinööriyössä ole syytä ottaa kantaa.

3.3.3 Lataaminen

Taulukossa 14 on kaikkien sähköisten liikkumisvälineiden keskimääräisen latausajan selvitetty olevan 4,4 tuntia. Yhteisesti voidaan myös todeta, että kaikkien laitteiden lataaminen työpäivän aikana tyhjästä täyteen on mahdollista. Laitteilla todennäköisesti harvoin ajetaan kuitenkaan niin pitkiä matkoja, että akut tyhjenisivät kokonaan, joten latausajat lyhenevät sekä latauksen tarve vähenee silloin entisestään. Kaikki sähköiset liikkumisvälineet voidaan ladata normaaleista kotitalouksien pistorasioista. Sähköpyörien etuna on usein mahdollisuus akun irrottamiseen pyörästä ja sen lataaminen sisätiloissa.

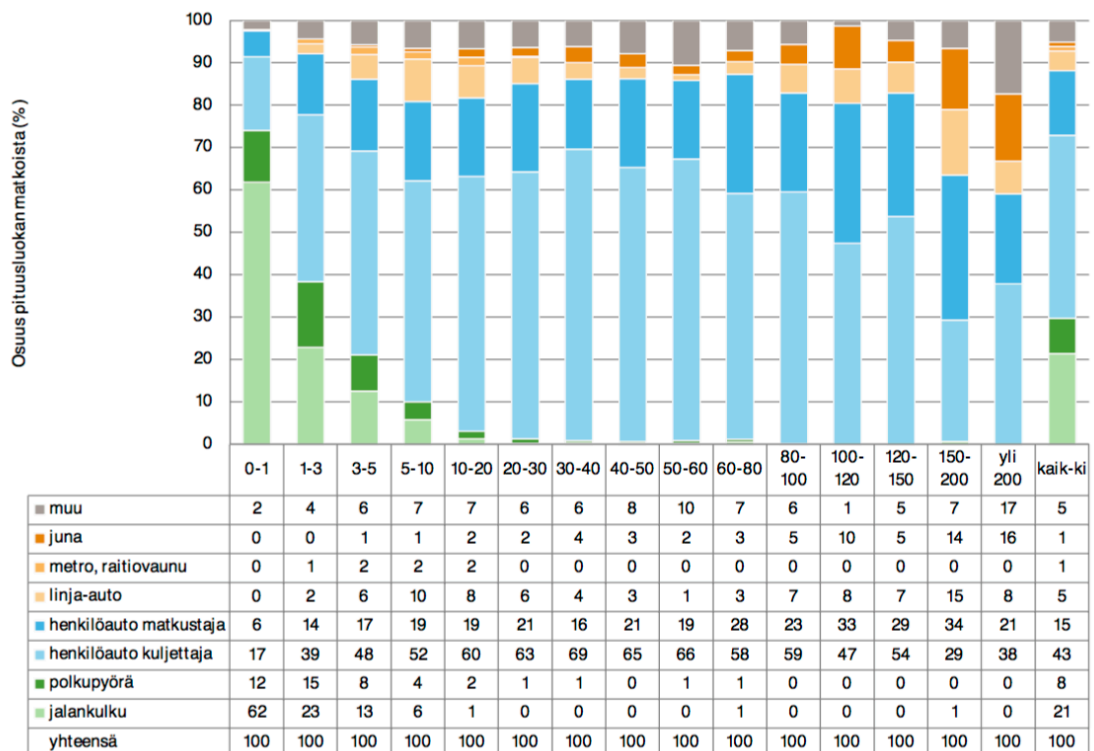
Taulukko 14. Yhdistetyt tekniset tiedot sähköisistä liikkumisvälineistä.

	Hinta (€)	Latausaika (h)	Akun kapasiteetti (Wh)	Kantavuus (kg)	Teho (W)
Sähköpotkulauta (kevyt)	1167	3,7	285,3	116	333
Sähköpotkulauta (raskas)	549	7	432	107,5	650
Gyropyörä	1127	2,7	328,4	116	660
Sähköinen tasapainolauta	533	2,8	158,4	116	675
Tasapainoskootteri	1712	4,6	560	116	900
Sähköavusteinen polkupyörä	1420	5,5	364,9	120	250
Keskimäärin	1085	4,4	354,8	115,3	578

4 Sähköiset liikkumisvälineet osana liikennejärjestelmää

4.1 Liikennejärjestelmä

Liikennejärjestelmä on kokonaisuus, johon sisältyy koko liikkumisympäristö ja eri liikemismuodot: jalankulku, pyöräily, joukkoliikenne, henkilöautoliikenne sekä tavaraliikenne. Liikennejärjestelmän tehokkuuden sekä ympäristöystävällisyyden edistämiseksi on nykyään keskitytty enemmän kestäväää kehitystä tukevien liikkumismuotojen, kuten jalankulun, pyöräilyn ja joukkoliikenteen kehittämiseen. Näiden liikkumismuotojen tukemisella syntyy positiivisia ympäristöllisiä vaikutuksia tilan säästämisen, melun, pokaasupäästöjen sekä etenkin kasvihuonekaasujen vähenemisen kautta.



Kuva 9. Kulikutapaosuudet Suomessa matkan pituuden mukaan [59, s. 40]

Suomalaiset siirtyvät käyttämään henkilöautoa jo kilometrin ylittävillä matkoilla (kuva 9). Henkilöautoilun kulkumuoto-osuus nousee 70–80 prosenttiin jo erittäin lyhyillä matkoilla (5–7 km), jotka ovat helposti kuljettavissa kävellen, pyöräillen tai osin joukkoliikenteellä. Yli 10 km pidemmällä matkoilla ainoa henkilöauton kanssa kilpaileva kuljutapa on joukkoliikenne. Kaikkiaan 75 % vuorokauden aikana tehdyistä matkoista on alle 10 km:n

pituisia. Jos matkustuskäyttäytymiseen alle 10 km:n matkoilla voidaan vaikuttaa, on sillä erityisen suuri merkitys kestävämmän liikennejärjestelmän luomisessa. [58, s. 23–25.]

Vaikka polkupyörä on ikivanha ja toimiva keksintö, on syytä miettiä, miksei sen suosio liikkumismuotona varsinkaan Suomessa ole panostuksista huolimatta nykyään suuri. Kun pyöräilyn kehittämiseen ja sen suosion kasvattamiseen käytetään yhä enemmän rahaa, muun muassa panostamalla infrapuoleen sekä turvallisuuteen, avaa se myös mahdollisuuksia muille kevyen liikenteen väyliä käyttäville liikkumismuodoille [60].

Perinteisesti lyhyitä matkoja on taitettu kävellen ja pidempiä pyöräillen. Nykyisessä kiivastahtisessa maailmassa on tärkeää päästä liikkumaan paikasta toiseen mahdollisimman nopeasti ja sujuvasti. Pidemmän työmatkan taittaminen nopeasti polkupyörällä, edellyttää kuitenkin yleensä peseytymismahdollisuutta työpaikalla. Lisäksi pyöräilyn ja kävelyn rasittavuus aiheuttaa jo alle kilometrin pituisilla matkoilla jonkun mukavamman liikkumismuodon valinnan. Luvussa 3 esiteltyjen sähköisien liikkumisvälineiden, niiden tutkittujen ominaisuuksien sekä suomalaisten matkustuskäyttäytymisen perusteella voidaan todeta, että nämä laitteet soveltuvat korvaamaan jalan tai polkupyörällä tehtävien matkojen lisäksi myös henkilöautoilua.

Sähköiset liikkumisvälineet tarjoavat uusia mahdollisuuksia niille, jotka eivät ole muun muassa edellä mainituista syistä halukkaita kulkemaan kohtalaisen lyhyitä matkoja jalkaisin tai perinteisellä polkupyörällä. Lisäksi ne tarjoavat uusia mahdollisuuksia matkaketjussa, kun paikasta A paikkaan B on mahdollista kulkea nopeammin, eikä osa laitteista ole riippuvainen ainoastaan yhden väylän käyttämisestä, jolloin myös jalkakäytävillä on mahdollista liikkua ripeästi. Pidempiä matkoja on mahdollista suorittaa nopeammin ja rasittumatta, jolloin tarve muiden liikkumismuotojen käyttämiseen vähenee. Laitteiden pienempi koko verrattuna polkupyörään ja varsinkin henkilöautoon, sallii niiden kuljettamisen ja pysäköinnin suhteen erilaisia vaihtoehtoja. Matkaketjua edistäisi myös mahdollisuus ottaa nämä laitteet, tai ainakin osan niistä, mukaan julkisiin liikennevälineisiin. HSL ei ollut kuitenkaan vielä työn edetessä julkaissut niistä virallista linjastaan. Suunnitellun linjauksen mukaan sähköisten liikkumisvälineiden (paitsi sähköpyörätuolien, jossa ei ole erillistä ohjaustankoa) kuljettaminen busseissa ja raitiovauunuissa on kiellettyä. Metroissa ja lähijunissa laitteiden suhteen sovelletaan samaa käytäntöä kuin polkupyörien. Junissa niitä voi kuljettaa ruuhka-aikojen ulkopuolella ja metrossa aina, jos tilaa niille on. [61.]

Edellä on pohdittu, miten sähköiset liikkumisvälineet voivat korvata jalankulkua, pyöräilyä sekä henkilöautoilua. Seuraavissa alaluvuissa selvitetään millaisia vaatimuksia, vaikutuksia ja mahdollisuuksia sähköisten liikkumisvälineiden lisääntymisessä olisi liikennejärjestelmässä. Näitä asioita pohditaan pitkälti liikenneviraston selvitystyön, sähköavusteisen polkupyörän mahdollisuuksista kestävän liikennejärjestelmän edistämiseksi (10/2015) -pohjalta, sillä muiden sähköisten liikkumisvälineiden ja sähköavusteisten polkupyörien ominaisuudet sekä käyttöympäristö kohtaavat monessa suhteessa [58].

4.2 Infrastrukturi

4.2.1 Yleistä

Sähköisille liikkumisvälineille mahdollisia liikkumisympäristöjä ovat sekä vilkkaat keskustan ydinalueet että harvemmin asutetut taajama-alueet. Hitaammilla keskustakaduilla on harvemmin erillistä yhdistettyä kevyen liikenteen väylää, jolloin sähköisten liikkumisvälineiden olisi kuljettava autojen kanssa samalla ajoradalla. Ajoradalla ajettaessa, sähköiset liikkumisvälineet voisivat hyvin saavuttaa maksiminopeutensa (25 km/h). Jos nopeusrajoituksia varsinkin ydinkeskusta-alueilla laskettaisiin esimerkiksi 30 kilometriin tunnissa, olisivat sähköiset liikkumisvälineet selkeämmin osa muuta ajoneuvoliikennettä. Muun ajoneuvoliikenteen keskimääräiset ajonopeudet keskusta-alueilla tuskin lasisivat kovinkaan paljon, sillä useat pysähtymiset ruuhkien, risteävien katujen sekä jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden vuoksi verottavat jo nyt liikennevirtaa sekä ajonopeuksia. Mikäli sähköiset liikkumisvälineet yleistyisivät ja korvaisivat henkilöautoilla tehtäviä matkoja laajemmin, voisi ajonopeuksien laskeminen näkyä jopa keskimääräisten ajonopeuksien kasvuna, kun tilaa vapautuisi lisää keskustakaduille.

Sähköiset liikkumisvälineet eivät juurikaan muuta laadukkaasta pyöräily-ympäristöstä eroavia suunnittelukäytäntöjä. Kuitenkin kaupunkikeskustoissa vilkailla asiointipaikoilla kävelykeskustoissa ja toreilla, jalkakäytävillä kulkevilla laitteilla olisi helpompaa liikkua, jos korkeista reunakiveyksistä varsinkin suojateiden yhteydessä luovuttaisiin. Reunakiveykset ovat myös haitaksi pyöräilyväylillä liikkuville laitteille, joten niiden karsiminen olisi edellytyksenä hyvän liikkumisympäristön saavuttamiseksi kaikille kevyen liikenteen väylillä kulkeville laitteille. Lisäksi mukulakivien käyttämistä tiealustana olisi syytä välttää.

Jos sähköiset liikkumisvälineet kulkisivat ydinkeskusta-alueilla pääosin ajoradoilla, ei yksinomaan hyvälle kevyen liikenteen väylille, jossa jalankulkijat ja pyöräilijään verrattavissa olevat liikkujat ovat selkeästi erotettu toisistaan, olisi välttämättä tarvetta. Kun ydinkeskusta-alueilta siirrytään pois päin ja erot ajonopeuksissa muihin ajoradalla liikkuviin kulkuvälineisiin kasvavat, olisivat Helsingin baanan kaltaiset pyöräilyn pääväylät tehokkaita. Kun sähköisillä liikkumisvälineillä keskinopeudet ovat suuremmat kuin tavallisilla pyörillä, on tärkeää, että jalankulkijat ja pyöräilijään verrattavissa olevat liikkujat erotetaan selkeästi toisistaan kaistamaalauksin, tai eri tasoissa kulkevilla väylillä. Myös väylien hoitotaso tulisi nostaa vastaavaksi kuin autokaduilla.

On todennäköistä, että aikaisemmin tavallisella polkupyörällä tehtyjen matkojen keskimääräiset pituudet tulevat sähköisillä liikkumisvälineillä kasvamaan. Voi olla, että tällöin esimerkiksi perinteiset, etupäässä autoilijoille suunnitellut kehäteiden kauppakeskukset saavuttavat myös sähköisillä liikkumisvälineillä kulkevien suosion. Kun yhteydet asuinalueilta kauppakeskuksiin on yleensä suunniteltu autojen ehdoilla, olisi nyt mietittävä myös kevyen liikenteen väylillä tehtäviä lähiyhteyksien matkoja. Alueelliset kaupan keskittymät tulisi yhdistää paremmin toisiinsa nopeilla, aiemmin mainitun Helsingin baanan kaltaisilla pyöräteiden valtaväylillä ja yhdistetyistä pyöräilijöiden sekä jalankulkijoiden väylistä tulisi voida luopua. Kauppakeskusten piha-alueilla taas olisi syytä erottaa pyöräilijät ja niihin verrattavat liikkujat autoista maalaatuilla kaistoilla ja merkeillä sekä selkeällä opastuksella varsinkin pysäköintitilaan.

Esimerkkinä tulevaisuuden kauppakeskuksesta voidaan mainita Helsingin Kannelmäessä sijaitseva kauppakeskus Kaari, joka on jo nyt huomionnut muutkin kuin autoilevat ihmiset. Kauppakeskus sijaitsee hyvien joukko-, pyöräily- ja kävely-yhteyksien päässä ja alle viiden kilometrin päässä siitä asuu noin 205 000 ihmistä. Lisäksi se tarjoaa kate-
tun polkupyöräparkin ja yhteensä 600 polkupyöräpaikkaa. [62.]

4.2.2 Pysäköinti

Suomessa yli kymmenen kilometrin matkoilla ainoa henkilöauton kanssa kilpaileva kulkutapa on toistaiseksi joukkoliikenne. Jos suomalaisten liikennekäyttäytymistä yli 10 kilometrin matkoilla halutaan muokata kestävämpään suuntaan, korostuu liityntäpysäköinnin merkitys joukkoliikenteen vaikuttavuudessa ja saavutettavuudessa. Sähköiset liikkumisvälineet ja niille rakennetut telakka-asemat voivat kasvattaa joukkoliikenteen kulkumuoto-osuutta, kun esimerkiksi valtateiden pikavuoropysäkkien ja paikall-

lisjunaliikenteen asemien liityntäliikennettä suunniteltaessa kiinnitetään huomiota enemmän sähköisten liikkumisvälineiden mahdolliseen rooliin matkaketjussa. Liikenteen solmukohtaan saapumisen ja lähtemisen tulisi olla helppoa. On todettu, että paras tapa sijoittaa pyörien (tässä tapauksessa myös sähköisten liikkumisvälineiden) liityntäparkit, on joko hajauttaa niitä eri saapumissuuntiin, tai keskittää niitä lähelle asemalaitureita [58, s. 35].

Sähköiset liikkumisvälineet vastaavat kooltaan maksimissaan polkupyöriä, joten niiden vaatimukset liityntäpysäköintitiloille eivät poikkea merkittävästi tavallisille pyörille suunnitelluista tiloista. Poikkeuksena ovat sähköavusteisen tavarapyörän kaltaiset laitteet (kuva 8), jotka saattavat yleistyä polkemisen keveyden myötä. Moottorilla varustettujen polkupyörien leveys ei saa kuitenkaan olla yli yhden metrin ja muiden sähköisten liikkumisvälineiden leveys voi olla korkeintaan 80 cm. Lisäksi on otettava huomioon, että osan sähköisistä liikkumisvälineistä voi taittaa kasaan, tai ovat muuten pienikokoisia, joten niitä voisi säilöä myös hyllyn kaltaisissa rakenteissa päällekkäin. Kookkaimpien laitteiden pysäköinti- ja säilytyspaikoiksi suurimmilla asemilla voisi olla järkevää uhrata muutama mopo- ja autopaikka. Jotta verrattain kalliita laitteita voisi turvallisesti säilyttää, olisi pysäköintipaikoilla oltava runkolukitusmahdollisuus ja mielellään myös katos sekä lukittavat säilytyslaatikot kypärille. Latausmahdollisuus liityntäpysäköinneissä ei välttämättä ole tarpeellista, sillä laitteiden toimintasäteet kattavat yleensä vähintään tyypilliset alle 10 km:n matkat sekä meno- että paluusuuntiin.

Kaupunkipyöräjärjestelmän kaltaista konseptia voitaisiin ideoida myös sähköisten liikkumisvälineiden suhteen tarjoamalla niitä esimerkiksi vaihtoehtona pyörien ohessa. Käyttäjätasoisin laitekategoria tällaiseen hankkeeseen olisi aisalliset tasapainokootterit. Ne tarjoavat hyvät ajo-ominaisuudet sekä pisimmän toimintasäteen sähköpyörien jälkeen ja niiden kiistaton etu sähköpyöriin verrattuna on mahdollisuus ajaa myös jalkakäytävillä. Kaupunkivierailut ja työasioinnit hoituisivat siis vähintään yhtä hyvin kuin polkupyörillä. Toisaalta laitteiden käytössä ja niiden hallinnan opettelussa vaadittaisiin ainakin alussa opastusta. Laitteiden vuokrausmahdollisuus tulisi sijoittaa joukkoliikenteen keskeisiin solmupisteisiin, kuten rautatieasemille.

Kantakaupungeissa sähköisten liikkumisvälineiden pysäköinti vaatisi kävelykeskustoissa ja toreilla vähintään runkolukitusmahdollisuuden, jolloin niiden suosion kasvaessa pitäisi rakentaa keskitettyjä pysäköintialueita. Kaupan esteettömän toiminnan vuoksi ahtaat jalankulkuväylät tulee kuitenkin ensisijaisesti osoittaa jalankulkijoille, joten säh-

köisten liikkumisvälineiden suhteen olisi syytä miettiä myös kadunvarsipysäköintiä. Liikkumisvälineet voisi sijoittaa keskustakatuja autopysäköintipaikoille ja yhdelle autopysäköintipaikalle mahtuisi useita kevyitä sähköisiä liikkumisvälineitä. Suunnitellusti osaan autopysäköintipaikoista voisi rakentaa runkolukitusmahdollisuuden sekä latauspaikkoja.

Jos sähköisillä liikkumisvälineillä tehtävien matkojen kulkumuoto-osuus päivittäisistä asiointimatkoista kauppakeskuksiin kasvaa, olisi jo imagosyistä järkevää, että kauppakeskukset tarjoaisivat laadukkaita pysäköintipaikkoja autojen lisäksi myös niille. Pysäköintipaikkoja olisi oltava riittävän paljon ja lähellä sisäänkäyntejä. Latausmahdollisuus olisi otettava huomioon, jos potentiaalisia asiakkaita oletettaisiin tulevan yli 10 km:n päästä.

Työpaikoilla ja eri organisaatioiden muodostamissa työpaikkakeskitymissä, olisi paremmin otettava huomioon sähköisillä liikkumisvälineillä kulkevat. Heille olisi tarjottava ainakin yhtä hyvät pysäköintimahdollisuudet, kuin autoileville. Tämä edellyttäisi vähintään runkolukitusmahdollisuutta, mutta myös katokset olisivat suotavia. Kun sähköiset liikkumisvälineet kulkevat heikoimmillaan noin 20 km (taulukko 12), olisi lisäksi selvitetävä latausmahdollisuuden tarvetta pysäköintipaikoilla, sillä akut ovat harvoin irrotettavissa muista laitteista, kuin sähköpyöristä. Markkinoilla on kuitenkin tarjolla laitteita, joiden toimintasäteet ovat paljon pidempiä, joten toisaalta riittävällä toimintasäteellä varustetun laitteen hankinta riippuu käyttäjän tarpeista. Pysäköintipaikat olisi sijoitettava yhtä luontevasti kuin autopaikat ja niihin siirtymisen pyöräteiltä olisi tapahduttava järkevästi.

4.2.3 Väyläkapasiteetti

Liikenteen kapasiteetti määräytyy kaistojen leveydestä ja määrästä, liittymäjärjestelyistä sekä vallitsevasta nopeusrajoituksesta. Kapasiteettiin vaikuttaa myös ajoneuvojen tarvitsema turvaväli, joka on riippuvainen ajoneuvon hidastuvuudesta. Liikenteen kapasiteettiongelmat koskevat pääosin tiheään asuttuja seutuja, joissa väylillä kulkevat autot vievät paljon tilaa kuljetettuihin ihmisiin nähden, jolloin isoja ihmisjoukkoja ei pystytä liikuttamaan saamatta aikaan ruuhkia. [63.]

Autokaistojen välityskyvyt vaihtelevat eri laskentamallien ja tietyyppien mukaan, mutta tyypillisesti ne ovat 1400-2200 ajon/h/kaista [64, s. 28, taulukko 5.2]. Autokaistojen

leveys on normaalisti noin 3,5 metriä [64, s. 27]. Tällöin autokaistan välityskyky per kaistametri on keskimäärin:

$$\frac{1400 \frac{\text{ajon}}{h} + 2200 \frac{\text{ajon}}{h}}{2} * \frac{1}{3,5 m} = 514,285 \dots \approx 514 \text{ ajon/h/m}$$

Arvion perusteella keskimääräinen pyöräkaistan kapasiteetti per kaistametri on noin 2500 pyörää/h [65, s. 15]. Kun vilkasliikenteisen kaksisuuntaisen pyörätien (Helsingin baana) päällystetyn poikkileikkauksen suositeltava perusmitta on vähintään 3 m, on yhden pyöräkaistan leveys silloin 1,5 m [66, s. 60]. Tällöin pyöräkaistan välityskyky on suunnilleen:

$$2500 \frac{\text{pyörää}}{h} * 1,5 m = 3750 \text{ pyörää/h}$$

Pyöräkaistat ovat huomattavasti kapeampia kuin autokaistat, joten niitä mahtuu samalle alalle enemmän. Siksi vertailu pyörä- ja autokaistojen välillä on järkevämpää tehdä vertaamalla kaistojen välityskykyä per kaistametri. Koska suurin osa autoteillä liikkuvista ajoneuvoista on henkilöautoja ja henkilöautoissa matkustaa keskimäärin 1,7 henkilöä, on autokaistan välityskyky keskimäärin 874 hlö/h/kaistametri. Pyöräkaistan väyläkapasiteetti per kaistametri (2500 hlö/h/kaistametri) on siis lähes kolminkertainen autokaistaan verrattuna.

Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden hidastuvuuksista ei ole saatavilla tietoa, mutta niiden hidastuvuuden voi olettaa olevan samaa suuruusluokkaa kuin polkupyörien. Kun pieniä mittaeroja laitteiden välillä merkittävämpi tekijä väyläkapasiteetin suhteen on liikkumisvälineen hidastuvuus ja sen seurauksena edellä ajavaan pidettävä turvaväli, voidaan arviota pyöräkaistojen väyläkapasiteetista soveltaa suuntaa antavana myös sähköisiin liikkumisvälineisiin.

Toisin kuin voisi luulla, ei kaistan välityskyky kasva lineaarisesti nopeuden kasvaessa. Tähän on syynä liikennevirran tiheys, joka laskee nopeuden kasvamisen seurauksena pidentyvien jarrutusmatkojen ja niiden vaatimien turvavälien takia. Tästä syystä ruuhka-aikoina sähköisillä liikkumisvälineillä voi pyöräkaistoilla liikkua enemmän ihmisiä, kuin vastaavalla pinta-alalla autokaistoilla henkilöautoissa liikkuvia ihmisiä. [67.]

Sähköisten liikkumisvälineiden vähittäinen yleistymisen ei varmasti aiheuta merkittäviä kapasiteettiongelmia Suomen pyörätieverkostossa. Kun esimerkiksi Helsingin suunnitelmassa on rakentaa vuoteen 2020 mennessä koko kaupungin kattava, suurimmat asuinalueet keskustaan ja muihin työpaikkakeskittyymiin yhdistävä, laadukkaiden pyöräteiden verkko, takaa se myös puitteet sähköisten liikkumisvälineiden mittavampaan yleistymiseen [68].

4.3 Turvallisuusvaikutukset

Trafin julkaisussa, ”Kevyet sähkökäyttöiset liikkumisvälineet jalankulku- ja pyöräteille, Arvio liikenneturvallisuusvaikutuksista”, on arvioitu sähköisten liikkumisvälineiden vaikutusta liikenneturvallisuuteen sekä pohdittu mahdollisia turvallisuusvaikutusten seurantatapoja [3]. Koska sähköisten liikkumisvälineiden onnettomuusriskeistä ei toistaiseksi ole tutkimustietoa, on onnettomuusriskiä arvioitu sähköavusteisia polkupyöriä koskevien tutkimustulosten perusteella. Onnettomuusriskiä tarkastellaan erilaisina skenaarioina, joissa sähköisiä liikkumisvälineitä verrataan muihin vastaaviin liikkumismuotoihin, kuten pyöräilyyn ja mopoiluun. Lisäksi skenaarioiden avulla tarkastellaan mahdollista sähköisillä liikkumisvälineillä tehtävää liikennesuoritteiden määrää. Työn suunta-antavana arviona todetaan, että sähköisten liikkumisvälineiden yleistymisen johtaa todennäköisimmin tieliikenteen loukkaantumisten lisääntymiseen noin yhdellä prosentilla, mikä vastaisi sairaalatietoja hyödyntäneen vuoden 2014 VAAKKU-tutkimuksen perusteella 150 tapausta vuodessa. Pahimmassa skenaariossa seurauksena voisi kuitenkin olla loukkaantumisten 10 %:n lisäys ja liikennekuolemien 4 %:n lisäys. Loukkaantumisten määrä olisi tällöin 1500 ja kuolleiden 9 henkilöä vuodessa.

Kun mietitään mistä sähköisten liikkumisvälineiden aiheuttamat negatiiviset turvallisuusvaikutukset johtuvat, on otettava huomioon sekä ajajaan itseensä sekä muihin tienkäyttäjiin kohdistuvat vaikutukset. Trafin julkaisussa on tuotu esiin mahdollisia liikenneturvallisuuteen liittyviä uhkakuvia:

- Liikkumisvälineiden kirjo ja sitä kautta erot nopeudessa, mitoissa ja massassa kasvavat jalankulku- ja pyöräteillä heikentäen turvallisuutta.
- Epäselvyydet väistämissäännöissä. Päältäpäin on mahdotonta nähdä, noudattaako liikkumisväline jalankulkijan, pyöräilijän, mopon vai kevyen nelipyörän sääntöjä.

- Liikkumisvälineen ”virittäminen” säädettyä enimmäisnopeutta suurempaan ajonopeuteen.
- Liikkumisvälineiden kuljettaminen päihtyneenä.
- Rekisteröimättömien liikkumisvälineiden säädöstenmukaisuuden valvonnan vaikeus.
- Kuljettajien vähäiset taidot, kun ajokorttia ei tarvita.
- Pääosa näistä liikkumisvälineistä jäänee vakuuttamisvelvollisuuden ulkopuolelle liikennevakuutuslakia uudistettaessa ⇒ korvaukset vahinkotilanteessa valtiokonttorista? [3, s. 2.]

Muita sähköisten liikkumisvälineiden liikenneturvallisuuteen liittyviä uhkakuvia:

- Jalankulkijan näkökulmasta ohitustilanteissa liikkumisvälineiden nopeus ja äänettömyys, jolloin äänimerkinantolaitteen käytön tarpeellisuus korostuu.
- Kovempi nopeus voi lisätä turvallisuusongelmia erityisesti näkyvyydeltään huonoissa kohteissa, kuten kaupunkialueen risteyksissä (kuva 10) ja alikulkutunneleissa (kuva 11).
- Ohitustilanteet ylämäissä tapahtuvat helpommin, mikä saattaa tulla yllätyksenä perinteisellä pyörällä ajaville sekä muille liikkujille.
- Kevyen liikenteen risteyskohdat varsinkin vilkkailla kaupunkialueilla, kun lähestymisnopeudet kasvavat, eivätkä muut kevyen liikenteen käyttäjät kykene reagoimaan kasvaneisiin nopeuksiin.
- Jalkakäytävillä liikkuvien laitteiden nopeus jalankulkijoihin verrattuna voi olla huomattavasti suurempi, jolloin laitteiden käsittelytaidot erityisesti vilkkaissa kävelykeskuksissa ja toreilla korostuvat.
- Osassa laitteista ei ole sähköenergian loppumisesta ilmoittavaa toimintoa, eivätkä ne automaattisesti hidasta ajamista hallitusti, jolloin laitteen käyttäjä saattaa äkillisen hidastumisen myötä pudota kyydistä. Tällöin myös turvavälin merkitys edellä ajavaan korostuu.

- Liikkumisvälineiden käyttö myös talvella, jolloin liukkaus ja lumi saattaa aiheuttaa vaaratilanteita.



Kuva 10. Kevyen liikenteen risteyskohta Kuopion keskustassa [58, liite 4/2 (4)].

Useat sähköiset liikkumisvälineet kulkevat jo ilman ”virittämistä” kovempaa kuin lain sallima 25 km/h, ja enimmäisnopeuksien valvonta on hankalaa. Suurimmat turvallisuushat liittyvätkin polkupyöriin verrattuna helposti saavutettaviin suuriin nopeuksiin eri tilanteissa. Merkittävä turvallisuustekijä on laitteiden käyttöympäristön laajeneminen jalkakäytävälle, jolloin jalkakäytävillä kasvavien nopeuksien kasvamisen lisäksi liikkumisvälineen hallinnalla on suuri merkitys. Lisäksi liikennesääntöjen tunteminen ennen kaikkea silloin, kun liikkumisvälineillä ajetaan ajoradalla, korostuvat.



Kuva 11. Alikulkutunneli [58, Liite 4/3 (4)].

Turvallisuuteen vaikuttaviin tekijöihin voidaan myös lukea laitteiden erilaiset litiumpohjaiset akkukemiat, jotka esimerkiksi lentokoneissa saattavat aiheuttaa vaaratilanteita, kun akkujen käytös muuttuu epästabiiliksi aiheuttaen jopa räjähdysten. Esimerkiksi Finnair on kieltänyt yli 160 wattitunnin litiumioniakkujen sekä erikseen vielä pienien, litiumioniakuilla toimivien kulkuvälineiden, kuten tasapainolautojen- ja skoottereiden kuljettamisen koneissaan (sekä käsimatkatavarana, että kirjattavana matkatavarana) [69]. Ainoa vakuutettava sähköinen liikkumisväline on moottorilla varustettu polkupyörä. Koska muita liikkumisvälineitä ei katsota liikennevakuutuslain tarkoittamiksi moottoriajoneuvoiksi, ei niille edes halutessaan voi ottaa vakuutusta. Vahinkojen varalle kuitenkin suositellaan otettavan vapaaehtoista vakuutusturvaa, kuten tapaturma- ja vastuuvakuutusta. Mikäli tällaisia vakuutuksia ei hankita, vakiintuneita korvauskäytäntöjä vahinkojen sattuessa ei toistaiseksi ole. [2.]

Nopeuksien ja liikkumismäärien kasvaessa tarve jalankulun ja pyöräilyn erottamiseen varsinkin kaupunkialueilla kasvaa, jolloin pyöräilyn valtavyölyt, baanat, kasvattavat merkitystään turvallisemman liikennejärjestelmän edistämiseksi. Huonon näkyvyyden

omaavissa kohteissa, kuten nykyisissä alikulkutunneleissa, tulisi liikennettä ohjata esimerkiksi ajosuuntia erottelevin maalauksin tai merkitsemällä väistämisvelvollisuus. Lisäksi uusien alikulkujen suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota väylien pituuskaltevuuksiin ja näkemiin.

Sähköisiin liikkumisvälineisiin liittyvät turvallisuuden ongelmakohdat ovat ainakin aluksi enemmänkin tottumattomuuskysymyksiä, kuin varsinaisia uhkia. Kun liikkumisvälineet ajan myötä tulevat selkeämmin osaksi liikennejärjestelmää, konkretisoituvat itse laitteisiin, niiden käyttäjiin sekä infrastruktuuriin kohdistuvat ongelmat paremmin. Tosiasia on kuitenkin se, että sähköisten liikkumisvälineiden lisääntyessä liikennejärjestelmässä, myös niiden aiheuttamat turvallisuuteen liittyvät ongelmat lisääntyvät.

4.4 Terveysvaikutukset

Jos kevyet sähköiset liikkumisvälineet korvaavat kulkutapana kävelyä ja pyöräilyä, voi niillä olla negatiivisia terveysvaikutuksia. Yleisesti liikkumisvälineillä tarvitaan kuitenkin jonkin verran kehonhallintaa ja lihaksien käyttöä. Itsestään tasapainottuvia laitteita käytetään pääosin seisten ja kehon on oltava koko ajan pienessä huomaamattomassa jännitystilassa. Lopputuloksena useat lihasryhmät ovat jatkuvassa mikroliikkeessä, parantaen tasapainoa, verenkiertoa sekä polttaen kaloreita. Koska tutkimuksia esimerkiksi sähköisillä liikkumisvälineillä ajamisen seurauksena aiheutuneesta energiankulutuksesta ei ole toistaiseksi juurikaan tehty, luotettavia lähteitä on vaikea löytää. Erään arvion mukaan henkilön (ikä, painoa ja pituutta ei ole tiedossa) energiankulutus 30 minuutin ajamisella tasapainoskootterilla olisi 331 wattituntia (1193 kJ/285 kcal) [70]. Kalorilaskurin mukaan, 40-vuotiaan, 180 cm pitkän ja 80 kg painavan miehen energiankulutus puolen tunnin reippaalla kävelyvauhdilla (6,4 km/h) olisi 209 wattituntia (754 kJ/180 kcal). Samaisen henkilön energiankulutus pyörällä kohtalaisessa rasituksessa (19,3–22,5 km/h) 30 minuutin ajamisella olisi 335 wattituntia (1206 kJ/288 kcal). Tämän lähteen mukaan puolen tunnin ajaminen tasapainoskootterilla vastaisi siis suurin piirtein saman ajan polkemista polkupyörällä 20 km/h. [71; 72.] Mikäli kävelyn ja pyöräilyn matkasuoritteita korvattaisiin laajemmin sähköisillä liikkumisvälineillä, on vaikea arvioida kansanterveydellisiä vaikutuksia, joita siitä seuraisi. Mutta jos löydetyn lähteen tulokset energiankulutuksesta pitävät edes lähellekään paikkaansa, olisivat vaikutukset varmasti positiivisia. Joka tapauksessa on kuitenkin selvää, että henkilöautojen parista

mitä tahansa sähköistä liikkumisvälinettä käyttämään siirtyvät saavat enemmän liikuntaa kuin autolla ajamisesta

Katupöly on yksi keskeisimmistä ongelmista vilkkaasti liikennöidyissä kaupungeissa, joissa liikenne pitää sen jatkuvasti ilmassa. Katupöly koostuu pääosin hienoksi jauhuttuneesta asfaltista ja hiekasta, mutta myös nokihiukkasista, autojen renkaista, jarruista ja muista osista irtoavasta materiaalista sekä maaperän mikrobeista ja kevätkaudella siitepölystä. Katupöly aiheuttaa ärsytysoireita, kuten silmien kutinaa ja kirvelyä sekä nuhaa ja yskää. Haitallisinta katupöly on silloin, kun hiukkasten läpimitta on alle 10 µm, jolloin se on tarpeeksi hienojakoista tunkeutuakseen alempiin hengitysteihin. Altistuminen sille pitkäaikaisesti voi pahentaa kroonisia sairauksia ja pahimmillaan lyhentää elinikää. [73; 74.]

Tieliikenteessä käytettävät nastarenkaat, ovat merkittävin tien päällystettä irrottava tekijä. Kun Suomessa lähes puolet katupölystä koostuu asfaltista, voisi nastarenkaiden käytön vähentämisellä olla oleellinen merkitys paremman ilmanlaadun saavuttamisessa. Kuitenkin nastarenkaiden nastojen tietä karhentavan efektin väheneminen saattaisi aiheuttaa talvella liikenneturvallisuusongelmia heikomman pidon seurauksena. Vähentynyttä tien- ja renkaanpinnan välistä pitoa pyrittäisiin korvaamaan varmasti jollain muulla keinoilla, kuten lisäämällä hiekoitusta ja suolausta. Kun hiekka on toinen merkittävä katupölyn aiheuttaja ja sen on myös todettu olevan osasyllinen päällysteen kulumiseen niin sanotun hiekkapaperi-ilmiön kautta, on epätodennäköistä, että nastarenkaiden käytön vähenemisellä on lopulta merkittäviä vaikutuksia ilmanlaadun parantamisessa. [75; 76.] Kun Suomessa sähköiset liikkumisvälineet tuskin korvaavat suurelta osin talvella ja varahaiskeväänä tehtyjä henkilöautomatkoja, voidaan niiden todeta siis olevan lähes merkityksettömiä katupölyn vähentämisessä pahimpana katupöly kautena.

Katupöly on kuitenkin ympärivuotinen ongelma, joka lisääntyy liikennemäärien kasvaessa. Sähköisten liikkumisvälineiden pienemmät renkaat ja massa sekä alhaisemmat nopeudet vähentäisivät todennäköisesti katupölyn nostattamista tienpinnasta, joten niillä, henkilöautolla tehtävien matkojen korvaaminen vähentäisi katupölyn määrää ilmassa. Varsinkin keväällä, kun henkilöautoissa on vielä talvirenkaat alla, mutta ilmat kuitenkin hyvät, olisi sähköisen liikkumisvälineen valinta auton sijasta järkevää. Tämä olisi tärkeää etenkin keskusta-alueilla, joissa katupöly on suuri ongelma.

Erityisesti nastarenkaiden, mutta myös muiden henkilöautojen ja ajoneuvojen renkaiden tuottama rengasmelu sekä moottoriäänet koetaan varsinkin keskusta-alueilla häiritseväksi tekijäksi. Yli ohjearvotason (55 dB) liikennemelusta kärsii joka viides suomalainen. Melulla on negatiivisia vaikutuksia ihmisten elinympäristön viihtyisyyteen ja laatuun erityisesti asumiseen käytettävillä alueilla ja virkistysalueilla. Liikenteen melu vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen, mikä näkyy unihäiriöinä sekä levon, keskittymisen ja oppimisen vaikeutumisenä. Melu aiheuttaa myös kuulovaurioita ja saattaa altistaa verenkiertoelimistön sairauksille. [77; 78.] Henkilöautoihin ja muuhun tieliikenteen ajoneuvoihin verrattuna sähköiset liikkumisvälineet ovat lähes äänettämiä pienten renkaiden sekä sähkömoottorin ansiosta. Sähköisten liikkumisvälineiden korvattessa henkilöautoilla tehtäviä matkoja, olisi sillä huomattava vaikutus meluhaittojen vähentämisessä ja viihtyisemmän ympäristön luomisessa. Esimerkiksi alentamalla ydinkeskusta-alueiden nopeusrajoituksia, jotta kevyet sähköiset liikkumisvälineet olisivat ajoradalla selkeämmin osa muuta ajoneuvoliikennettä, myös muun ajoneuvoliikenteen tuottama melusaaste vähenisi, sillä rengasmelu on suoraan verrannollinen ajonopeuteen.

Aikaisemmin on todettu, etteivät sähköiset liikkumisvälineet tuota laisinkaan paikallisia pakokaasupäästöjä. Toisin on polttomoottoria käyttävien ajoneuvojen kohdalla, jotka tuottavat paikallisesti kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi ihmisille ja muille eliöille haitallisia pakokaasupäästöjä. Näitä päästöjä ovat hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), rikki-dioksidi (SO₂), typen oksidit (NO_x), hiukkaset, aldehydit, ketonit ja erilaiset hapot. Harmitonta määrää edellä mainituille päästöille altistumisesta ei ole ja vaarallisimpia päästöistä ovat pienet hiukkaset, jotka pahentavat hengityselinten ja verenkiertoelimistön sairauksien oireita. Jatkuva altistus myös lisää näiden tautien puhkeamisen sekä keuhkosyövän riskiä. [79; 80.]

Henkilöautojen katalyysaattorit vaativat toimiakseen tietyn lämpötilan, jonka ne saavuttavat vasta hetken ajon jälkeen. Ongelma päästöjen suhteen kasvaa varsinkin taajamissa, kun jo lyhyitä muutaman kilometrin pituisia matkoja tehdään pitkälti henkilöautolla kävelyn ja pyöräilyn sijaan, jolloin katalyysaattorit eivät toimi täydellä teholla. Jos erityisesti näitä matkoja voitaisiin korvata sähköisillä liikkumisvälineillä, olisivat vaikutukset päästöjen vähentämiseen huomattavia. [80.]

5 Johtopäätökset

Vaikka kevyet sähköiset liikkumisvälineet voivat korvata suurelta osin myös suomalaisten henkilöautoilla tehtyjä matkoja, tulee niiden keskeinen rooli liikennejärjestelmässä sekä matkaketjussa painottumaan todennäköisesti eniten lyhyille matkoille, joita tyypillisesti tehdään jalan ja pyörällä. Sähköiset liikkumisvälineet vastaavat kuitenkin toiminnallisuudeltaan ja käyttötavoiltaan enemmän tavanomaista polkupyörää kuin edes sähkömopoa, puhumattakaan henkilöautosta. Niiden suurin ongelma henkilöautoihin verrattuna on tavaroiden kuljetuskyky, jolloin käytännössä mitään suurempaa, kuin selkäreppuun mentävää tavaraa on lähes mahdotonta kuljettaa ainakaan pitkiä matkoja. Sähköpyörät ovat tässä kohden poikkeus, sillä niihin voi kiinnittää erinäisiä laukkuja tai niillä on muuten suuri tavarankuljetuskapasiteetti (sähköavusteinen tavarapyörä), joten ne saavuttanevat eniten suosiota myös ostosmatkoilla muun muassa kauppakeskuksiin.

Kuljutavan valintaan sähköisten liikkumisvälineiden ja henkilöauton välillä voi vaikuttaa esimerkiksi myös huonot sääolosuhteet. Sähköisen liikkumisvälineen valintaa henkilöauton sijasta jokaisella matkalla tukee kuitenkin kaikki tekijät, jotka liittyvät tehokkaamman ja ympäristöystävällisemmän liikennejärjestelmän kehittämiseen sekä ihmisten hyvinvointiin. Niillä ajaminen ja pysäköinti vie vähemmän tilaa, ne ovat energiataloudellisempia ja paikallisesti päästöttömiä, ne vähentävät katupölyä ja melusaastetta sekä parhaimmillaan lisäävät ihmisten liikunnallisuutta.

Vapaa-ajalla tehtävien matkojen sijasta sähköisten liikkumisvälineiden suurin potentiaali löytyykin tiheään asuttujen seutujen päivittäisestä työmatkaliikenteestä, joissa ruuhka-aikoina syntyy liikenteen kapasiteettiongelmia, kun henkilöautot vievät suhteetoman paljon tilaa kuljetettuihin ihmisiin nähden. Pyöräkaistalla sähköisillä liikkumisvälineillä voi samassa ajassa kuljettaa noin kolminkertaisen määrän ihmisiä autokaistaan verrattuna, jolloin liikenteen kapasiteettiongelmiin voitaisiin tuoda helpotusta. Sähköisen liikkumisvälineen valinta henkilöauton sijasta liityntämatkoissa julkisiin liikennevälineisiin tukisi myös tehokkaampaa liikennejärjestelmää.

Monen ihmisen kulkumuodon valintaan vaikuttaa varmasti mahdollisuus jatkaa matkaketjua sähköisellä liikkumisvälineellä myös julkisella liikennevälineellä tehdyn matkan jälkeen. Kun osa sähköisistä liikkumisvälineistä ei ole juuri pientä matkalaukkua tai urheilukassia suurempi, on päätös kaikkien laitteiden kuljettamisen kieltämisestä bus-

seissa ja raitiovaunuissa kyseenalainen. Jos sähköiset liikkumisvälineet ja niille rakennetut liityntäpysäköinnin telakka-asemat voivat kasvattaa joukkoliikenteen kulkumuoto-osuutta, niin voi myös toisenlainen päätös laitteiden kuljettamisen suhteen merkitä suurempaa siirtymää henkilöautojen parista joukkoliikenteen käyttöön.

Työn tavoitteena oli selvittää kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden ominaisuuksia ja pohtia niiden roolia liikennejärjestelmässä sekä matkaketjuissa. Kevyissä sähköisissä liikkumisvälineissä on potentiaalia toimia osana uudenlaisia MaaS (Mobility-as-a-Service = liikkuminen palveluna) -ratkaisuja, joissa liikkuminen ostetaan palveluna ajoneuvojen ostamisen sijaan. Ominaisuuksiensa perusteella etenkin pienemmät kevyet sähköiset liikkumisvälineet sopivat lyhyillä matkoilla pääasiallisesti kulkutavaksi ja pidemmällä matkoilla liityntäkulkutavaksi joukkoliikenteeseen. Tulevaisuudessa välineet voisi nähdä osana ostettavaa liikkumispakettia. Välineen omistaminen voisi tällöin siirtyä kuluttajalta palveluntarjoajalle tai tämän alihankkijalle. Matalat pääomakustannukset tukevat tällaista ratkaisua, sillä vuokrattuna tai liisattuna välineen kustannukset jäisivät palvelupaketin osana matalaksi ja välineet tarjoaisivat liikkumisratkaisun matkojen ensimmäisille ja viimeisille osuuksille, joita tyypillisesti on haastavinta toimittaa palveluna.

Koska kevyet sähköiset liikkumisvälineet ovat liikennejärjestelmässä pyöriin verrattavissa olevia kulkuvälineitä, ei niiden laajamittainenkaan yleistyminen merkitse ratkaisevia muutostöitä jo olemassa olevaan pyörätieverkostoon. Kasvaneet nopeudet polkupyöriin verrattuna saattavat aiheuttaa turvallisuushkia huonosti suunnitelluilla väylillä ja tottumattomuus laitteiden mahdolliseen liikkumiseen myös jalkakäytävillä, voi aiheuttaa ongelmia. Kevyet sähköiset liikkumisvälineet mahdollistavat kuitenkin polkupyörään verrattuna joltakin osin vaivattoman tavan siirtyä paikasta toiseen suurten etäisyyksien omaavilla asutusalueilla sekä tiiviissä kaupunkikeskitymissä. Ne sallivat lisäksi monenlaiset reittivalinnat, jotka eivät varsinkaan henkilöautoille olisi mahdollisia.

Lähteet

- 1 Kevyet sähköiset kulkuvälineet laillisiksi vuodenvaihteessa. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://www.lvm.fi/-/kevyet-sahkoiset-kulkuvalineet-laillisiksi-vuodenvaihteessa>>. 30.12.2015. Luettu 22.2.2016.
- 2 Kysymyksiä ja vastauksia uusien sähköisten liikkumisvälineiden vakuuttamisesta ja korvauksista. Verkkodokumentti. Liikennevakuutuskeskus. <<http://www.lvk.fi/kysyttyaliikkumisvalineista>>. 30.12.2015. Luettu 22.2.2016.
- 3 Rajamäki, Riikka. 2015. Kevyet sähkökäyttöiset liikkumisvälineet jalankulku ja pyörateille, Arvio liikenneturvallisuusvaikutuksista. Verkkodokumentti. Trafi. <http://www.trafi.fi/filebank/a/1441713964/83df44fe17b9867fd8b234cf7aeff777/18483-Trafin_julkaisuja_7-2015_-_Kevyet_sahkokayttoiset_liikkumisvalineet_jalankulku-ja_pyorateille.pdf>. 7/2015. Luettu 22.2.2016.
- 4 Leppänen, Jelena. 2015. Tukholma-ilmiö näkyy Helsingin autokouluissa: ”Ala on aallonpohjassa”. MTV. <<http://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/tukholma-ilmio-nakyy-helsingin-autokouluissa-ala-on-aallonpohjassa/4696374>>. 17.1.2015. Luettu 22.2.2016.
- 5 Ikuinen myötätuuli – Sähköpolkupyörien tulevaisuus Suomessa. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf6/sahkopyora_03-2015_web.pdf>. 3/2015. Luettu 23.2.2016.
- 6 Sähköiset liikkumisvälineet liikenteeseen vuoden alusta. Verkkodokumentti. Trafi. <http://www.trafi.fi/tietoa_rafista/ajankohtaista/3777/sahkoiset_liikkumisvalineet_liikenteeseen_vuoden_alusta>. 31.12.2015. Luettu 23.2.2016.
- 7 Sähköiset liikkumisvälineet. Verkkodokumentti. Trafi. <http://www.trafi.fi/tieliikenne/ajoneuvoluokat/sahkoiset_liikkumisvalineet>. Luettu 23.2.2016.
- 8 Laki tieliikennelain muuttamisesta. 24/2015.
- 9 Jokela, Marko. 2015. Koeajossa sähköpotkulauta E-One. Moottori-lehti. <<http://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/koeajossa-sahkopotkulauta-e-one/>>. 26.12.2015. Luettu 29.2.2016.
- 10 Hietanen, Rauno. 2015. Sähköpotkulaudalla kainalot kuivina palaveriin. Kauppa-lehti. <<http://www.kauppa-lehti.fi/uutiset/sahkopotkulaudalla-kainalot-kuivina-palaveriin/M4RmdmsL>>. 25.4.2015. Luettu 2.3.2016.

- 11 Tekniset tiedot. Verkkodokumentti. JUUEI LTD. <<http://www.e-one.fi/tuotteet/potkulauta/tekniset-tiedot/index.html>>. Luettu 29.2.2016.
- 12 SXT light – (zweit)leichtester Escooter der Welt. Verkkodokumentti. SXT SCOOTERS. <<http://www.sxt-scooters.de/Scooters/Elektroller/SXT-light-zweit-leichtester-Escooter-der-Welt.html>>. Luettu 1.3.2016.
- 13 EcoReco M3 Electric Scooter Review. Verkkodokumentti. <<https://electricridereview.com/ecoreco/m3-electric-scooter/>>. Luettu 1.3.2016.
- 14 Sähkökäyttöinen Potkulauta 800w, Sähköpotkulauta – Mad-Croc. Verkkodokumentti. Dragrace.fi. <<http://www.dragrace.fi/Saehkoepotkulauta/Saehkoekaeyttoeinen-Potkulauta-800w-Saehkoepotkulauta-Mad-Croc>>. 22.3.2016.
- 15 Takira Tank Type 500TT sähköpotkulauta 36V 500W 20 km/h 25 km. Verkkodokumentti. Electronic-Star. <http://www.electronic-star.fi/Takira-Tank-Type-500TT-saehkoepotkulauta-36V-500W-20-km/h-25-km_i200605.htm>. 2.3.2016.
- 16 How to use self electric balancing unicycle. Verkkodokumentti. Electric Unicycles. <<http://www.skateonroad.com/how-to-use-self-electric-balancing-unicycle.html>>. 28.11.2014. Luettu 7.3.2016.
- 17 solowheel-xtreme-electric-unicycle-03. Verkkodokumentti. Gadget Flow Inc. <<http://thegadgetflow.com/portfolio/solowheel-xtreme-electric-unicycle/>>. Luettu 7.3.2016.
- 18 Inmotion SCV V3S – gyropyörä. Verkkodokumentti. Supreme Trading Oy/eCycle. <<http://www.ecycle.fi/tuote/inmotion-scv-v3s/>>. Luettu 8.3.2016.
- 19 One is all. Verkkodokumentti. Ninebot Inc. <<http://www.ninebot.com/ninebot/NinebotOne/>>. Luettu 8.3.2016.
- 20 FREEMAN A4H 172Wh Unicycle 30KM/H. Verkkodokumentti. Supreme Trading Oy/eCycle. <<http://www.ecycle.fi/tuote/freeman-a4h-170wh/>>. Luettu 8.3.2016.
- 21 eCycle Wheeli-e SP522 – gyropyörä/henkilökuljetin Super uutuus vain meiltä!! Verkkodokumentti. Supreme Trading Oy/eCycle. <<http://www.ecycle.fi/tuote/ecycle-wheeli-us-vain-meilta/>>. Luettu 9.3.2016.
- 22 IPS121. Verkkodokumentti. IPS Electric Unicycle Co., Limited. <<http://www.ipselectricunicycle.com/bbx/222147-222147.html>>. Luettu 9.3.2016.
- 23 The Best Electric Unicycle Reviews 2016. Verkkodokumentti. Best Electric Hoverboard. <<http://bestelectrichoverboard.com/self-balancing-unicycle-reviews/the-best-electric-unicycle-reviews-2016/>>. Luettu 9.3.2016.

- 24 Kuinka tasapainoskootterit toimivat?. Verkkodokumentti. Delvira Oy.
<<http://scoodeck.fi/kuinka-tasapainoskootterit-toimivat/>>. Luettu 14.3.2016.
- 25 Sipola, Jussi. 2015. HS testasi leijulautaa muistuttavan tasapainoskootterin, jolla pääsee 12 kilometriä tunnissa. Helsingin Sanomat.
<<http://www.hs.fi/tekniikka/a1446794177068>>. 10.11.2015. Luettu 14.3.2016.
- 26 Speedom F1 Tasapainoskootteri, Punainen. Verkkodokumentti. Speedom Oy.
<<http://www.speedom.fi/tasapainoskootterit/speedom-f1-tasapainoskootteri-punainen.html>>. Luettu 14.3.2016.
- 27 Tasapainoskootteri X1.1, musta. Verkkodokumentti. Delvira Oy.
<<http://scoodeck.fi/verkkokauppa/tasapainoskootteri-x1-musta/>>. Luettu 14.3.2016.
- 28 Specification. Verkkodokumentti. Hangzhou Chic Intelligent Technology Co., Ltd.
<<http://www.chic-robot.com/en/index.php/product/2>>. Luettu 15.3.2016.
- 29 OXBOARD BLACK, Additional Information. Verkkodokumentti. Oxboard B.V.
<<http://www.oxboard.eu/shop/oxboard/oxboard-black/>>. 15.3.2016.
- 30 Star Cruiser tasapainoskootteri. Verkkodokumentti. J.Kärkkäinen Oy.
<<https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/star-cruiser-tasapainoskootteri>>. Luettu 15.3.2016
- 31 Murto, Roosa. 2015. Segway-kulkuneuvot saattavat tulla Suomen kaduille – lakimuutos tekeillä. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/autot/a1435288305498>>. 4.7.2015. Luettu 16.3.2016
- 32 How to Operate a Segway. Verkkodokumentti. Mediawiki.
<<http://www.wikihow.com/Operate-a-Segway>>. Luettu 16.3.2016.
- 33 Montreal Segway Experience Center. Verkkodokumentti. TripAdvisor LLC.
<https://www.tripadvisor.fi/Attraction_Review-g155032-d2258656-Reviews-Montreal_Segway_Experience_Center-Montreal_Quebec.html>. Luettu 16.3.2016.
- 34 Airwheel S3 – Tasapainottuva kaksipyöräinen ohjaustangolla. Verkkodokumentti. AirwheelFinland. <<http://www.airwheelfinland.fi/products-page/product-category/airwheel-s3/http://www.ninebot.com/ninebot/ninebot-mini/canshu.html>>. Luettu 17.3.2016.
- 35 Ninebot mini Pro, Specification. Verkkoskodokumentti. Ninebot Inc.
<<http://www.ninebot.com/ninebot/ninebot-mini/canshu.html>>. Luettu 17.3.2016.

- 36 Airwheel / FOSJOAS V9 Electric 2 Wheel Self Balancing Intelligent Scooter. Verkkodokumentti. GPSK Ltd. <<http://www.handtec.co.uk/fosjoas-v9-electric-2-wheel-self-balancing-intelligent-scooter.html>>. Luettu 17.3.2016.
- 37 E-Cruiser A6- sähkökulkuneuvo. Verkkodokumentti. e-ville.com. <<http://www.e-ville.com/fi/3126-suomi-varasto/16159-e-cruiser-a6-sahkokulkuneuvo.html>>. Luettu 18.3.2016.
- 38 Airheel S5 – Sähköskoottereiden katumaasturi. Verkkodokumentti. AirwheelFinland. <<http://www.airwheelfinland.fi/products-page/product-category/airwheel-s5/>>. Luettu 21.3.2016.
- 39 Ninebot mini – Xiaomi mit seiner Version des Segway. Verkkodokumentti. Mobilegeeks.de. <<http://www.mobilegeeks.de/news/ninebot-mini-xiaomi-mit-seiner-version-des-segway/>>. Luettu 18.3.2016.
- 40 Moisio, Teppo. 2015. Vuosikymmenen moka: Sähköpyörä on parhaimmillaan työmatkalla – kauppiat brändäsivät invapyöräksi. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/blogi/veloelo/a1305941357583>>. 25.3.2015. Luettu 22.3.2016.
- 41 Talvio, Otto. 2016. Levyjarrut – ja 3 muuta kevään pyörätrendiä. HS NYT 4–10 maaliskuuta 2016, s.5.
- 42 Oppaat – kuinka valita sähköpyörä. Verkkodokumentti. XXL. <<https://www.xxl.fi/kuinka-valita-sahkopyora>>. Luettu 24.4.2016.
- 43 Sähköpolkupyörä (sähköpyörä). Verkkodokumentti. Motiva Oy <http://www.motiva.fi/liikenne/kavely_ja_pyoraily/sahkopolkupyora>. 27.1.2016. Luettu 27.3.2016.
- 44 Vatanen, Panu. 2014. Sähköavusteisten polkupyörien testissä kallein polki voittoon. YLE. <<http://yle.fi/aihe/artikkeli/2014/05/15/sahkoavusteisten-polkupyorien-testissa-kallein-polki-voittoon>>. 16.5.2014. Luettu 28.3.2016.
- 45 EVELO E-Sport 8 36/250/10 Uni, unisex sähköpyörä. Verkkodokumentti. XXL. <https://www.xxl.fi/evelo-e-sport-8-36-250-10-uni-unisex-sahkopyora/p/1110408_1_style>. Luettu 23.3.2016.
- 46 CRESCENT TARFEK C767 (VM.2014). Verkkodokumentti. Suomen Urheilupyörä. <<http://www.suomenurheilupyora.fi/crescent-tarfek-c767-vm2014>>. Luettu 23.3.2016.
- 47 GoZero 28” 2016 –sähköpyörä. Verkkodokumentti. Verkkokauppa.com. <<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/34743/gfxsc/GoZero-28-2016-sahkopyora>>. Luettu 23.3.2016.

- 48 Boostbike City 9Ah. Verkkodokumentti. Electrobike.
<<http://www.electrobike.fi/sahkopyorat/kaupunkisahkopyorat/boostbike-city-9ah.html>>. Luettu 23.3.2014.
- 49 VELOCITY BY WHITE Electric-ty Gent, miesten sähköpyörä 15. Verkkodokumentti. XXL. <https://www.xxl.fi/velocity-by-white-electric-ty-gent-miesten-sahkopyora-15/p/1108927_1_style>. Luettu 23.3.2016.
- 50 Jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu. 11/2014. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-11_jalankulku_pyorailyvaylien_web.pdf>. Luettu 30.3.2016.
- 51 Suomen henkilöautojen keskimääräinen päästö ja energiankulutus matkayksikköä kohden vuonna 2011. Verkkodokumentti. VTT.
<<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hayht.htm>>. 7.8.2012. Luettu 28.3.2016.
- 52 Sähköautot. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_automotiiviteknikka/moottoritekniikka/sahkoautot>. 8.7.2015. Luettu 7.4.2016.
- 53 Henkilöautojen keski-ikä yli 11 vuotta – harmaa edelleen yleisin väri. Verkkodokumentti. Trafi.
<http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/3820/henkiloautojen_keski-ika_yli_11_vuotta_-_harmaa_edelleen_yleisin_vari>. 2.2.2016. Luettu 7.4.2016.
- 54 Joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämismahdollisuudet, Energia- ja ilmastotehokkuus aikajänteellä 2010-2050. 25.10.2010. Verkkodokumentti. Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä (HSL).
<https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hsl_julkaisu_27_2010_netti.pdf>. Luettu 28.3.2016.
- 55 CO₂-päästökertoimet, sähkö. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energian kulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet>. 16.7.2015. Luettu 31.3.2016.
- 56 Suomen tieliikenteen päästöt vuonna 2012 [t]. Verkkodokumentti. Motiva Oy
<[http://www.motiva.fi/files/9599/Suomen_tieliikenteen_paastot_vuonna_2012_\(t\)_iso.jpg](http://www.motiva.fi/files/9599/Suomen_tieliikenteen_paastot_vuonna_2012_(t)_iso.jpg)>. Luettu 31.3.2016.
- 57 Sähköntuotanto. Energiateollisuus. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry.
<<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>>. Luettu 31.3.2016.
- 58 Sähköavusteisten polkupyörien tiekartta, kulkumuodon mahdollisuudet kestävän liikennejärjestelmän edistämiseksi. 10/2015. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.
<http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-10_sahkoavusteisten_polkupyorien_web.pdf>. Luettu 1.4.2016.

- 59 Henkilöliikennetutkimus 2010-2011, Raportin kuvia pdf-muodossa. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.
<http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/147702/HLT2010-2011_raportin_kuvia_pdf-muodossa.pdf/834d7f75-06e9-4719-a55f-a17c06fd9398>. Luettu 8.4.2016.
- 60 Laitinen, Joonas. 2015. Pyöräilyn suosio kasvaa ”räjähdysmäisesti” Helsingissä – näin pyöräilyreittejä ehostetaan. Helsingin Sanomat.
<<http://www.hs.fi/kaupunki/a1425298721041>>. 3.3.2015. Luettu 30.3.2016.
- 61 Facebook yksityisviesti. Facebook yrityssivu. Helsingin seudun liikenne – kuntayhtymä (HSL). 24.3.2016 ja 4.4.2016.
- 62 Vastuullisuus, Esimerkin voimaa. Verkkodokumentti. Kauppakeskus Kaari.
<<https://www.kauppakeskuskaari.fi/info/vastuullisuus/>>. Luettu 12.4.2016.
- 63 Louhelainen, Kirsi. 2014. Puurot, vellit ja sähköautot. WordPress.com.
<<https://kirsilouhelainen.fi/tag/automaattiautot/>>. 2.5.2014. Luettu 12.4.2016.
- 64 Tien poikkileikkauksen suunnittelu. 6/2013. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.
<http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-29_tien_poikkileikkauksen_web.pdf>. Luettu 12.4.2016.
- 65 Estimating Capacity of Bicycle Path on Urban Roads in Hangzhou, China. Verkkodokumentti. National Research Council Washington, D.C.
<<http://docs.trb.org/prp/15-1693.pdf>>. Luettu 12.4.2016.
- 66 Jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu. 11/2014. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-11_jalankulku_pyorailyvaylien_web.pdf>. Luettu 12.4.2016.
- 67 Jensen, Patrick. 2012. Tieliikennemuotojen tilantarve, osa 2: kuinka kaista vetää. Uusi Suomi. <<http://patrickjensen.puheenvuoro.uusisuomi.fi/104329-tieliikennemuotojen-tilantarve-osa-2-miksi-bussikaistoilla-ei-saa-ajaa>>. 26.4.2012. Luettu 12.4.2016.
- 68 Baanat. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki.
<<http://www.hel.fi/www/helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/pyoraily-ja-kavely/pyorareitit/baanat>>. 5.6.2015. Luettu 11.4.2016.
- 69 Rajoitetut esineet ja aineet, Akut ja paristot, Hoverboard ja muut tasapainottuvat skootterit. Verkkodokumentti. FINNAIR. <<http://www.finnair.com/fi/fi/information-services/baggage/dangerous-goods>>. Luettu 6.4.2016.
- 70 Fitness Season, Airwheel Self Balancing Electric Scooter Encouraging People to Exercise. Verkkodokumentti. SBWire, a service of ReleaseWire LLC.
<<http://www.sbwire.com/press-releases/release-604629.htm>>. Luettu 5.4.2016.

- 71 Renken, Justin. 2015. Does it burn calories? The two-wheel smart self-balancing hoverboard. Laglyders. <<http://www.laglyders.com/blog/two-wheel-smart-balance-hoverboard-scooter-calories>>. Luettu 5.4.2016.
- 72 Kalorilaskuri. Verkkodokumentti. Laskurini.fi. <<http://www.laskurini.fi/terveys/kalorilaskuri>>. Luettu 5.4.2016.
- 73 Katupöly. Verkkodokumentti. Hengitysliitto. <<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmanlaatua-heikentavia-tekijoita/katupoly>>. Luettu 6.4.2016.
- 74 Katupöly. Verkkodokumentti. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/liikenteen-ilmansaasteet/katupoly>>. 5.4.2016. Luettu 6.4.2016.
- 75 Kitkat vai nastat? Talvirenkaiden valinnalla on suuri vaikutus katupölyn syntyymiseen. Verkkodokumentti. Trafi. <http://www.trafi.fi/autoilu/auton_kaytto/auton_renkaat/nastat_vai_kitkat>. Luettu 6.4.2016.
- 76 Mistä pito ilman nastarenkaita? Verkkodokumentti. Nastainfo. <<http://www.nastainfo.fi/katupoly/>>. Luettu 6.4.2016.
- 77 Vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön, Melu haittaa monia. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/vaikutukset_ihmisiin_ja_ymparistoon>. 14.1.2015. Luettu 6.4.2016.
- 78 Melu. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <<http://www.hel.fi/www/Helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/liikenteen-ymparistovaikutukset/Melu/>>. 21.3.2016. Luettu 6.4.2016.
- 79 Liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/liikenteen_energiankulutus_ja_pakokaasupaastot>. 27.11.2015. Luettu 6.4.2016.
- 80 Manninen, Laura. 2011. Pakokaasut uhkaavat koko kehoa. Taloussanomat. <<http://www.taloussanomat.fi/auto-vihertyy/2011/04/07/pakokaasut-uhkaavat-koko-kehoa/20114631/286>>. 7.4.2011. Luettu 6.4.2016.

