

Fossiilittoman liikenteen tiekartta: Liikenteen automaatio

Liikenne- ja viestintäministeriön johtamassa ja koordinoimassa Fossiilittoman liikenteen tiekarttatyössä pyritään tunnistamaan erilaisia keinoja liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi sekä arvioimaan keinojen vaikuttavuutta. Tiekarttatyön työn tueksi Liikenne- ja viestintäministeriö on pyytänyt Liikenne- ja viestintävirastolta tämän taustamuistion. Työ käsittelee ensisijaisesti CO₂-päästövähennyspotentiaalia. Työ perustuu asiantuntija-arvioon.

Toimenpiteen tausta ja tavoitteet

Tulevaisuudessa liikenteen automaatio voi vaikuttaa ympäristölle haitallisten päästöjen vähenemiseen henkilö- ja tavarakuljetuksissa. Automaatio ei yleensä suoraan synnytä päästövaikutuksia, vaan ne tulevat automaation seurauksena tapahtuvista muutoksista liikennevälineisiin, niiden toimintaan ja ohjaukseen sekä sitä kautta liikennejärjestelmään. Automaation ja tiedon hyödyntämisen avulla voidaan muun muassa optimoida reittejä ja kuljetuskapasiteetteja, ja saavuttaa sitä kautta liikenteen ympäristölle haitallisten päästöjen vähenemistä.

Liikenteen automaation kehittämisen pääajuri on ollut tehokkuuden kasvattamisessa, liikenneturvallisuuden ja liikkumispalveluiden edistämisessä, mutta päästövaikutuksiin on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota. Eri automaatiotasolla ja automaatiomuodoilla voidaan saavuttaa erilaisia asioita. Päästökemityksen kannalta merkittävää on, millaiset liikenteen automaatiosovellukset yleistyvät eri liikennemuodoissa ja millä aikataululla ne tulevat laajamittaiseen käyttöön.

Näihin muutoksiin liittyy merkittävää epävarmuutta, jonka keskeiset syyt ovat järjestelmien moninaisuudessa mutta myös kehityksen riippuvuudessa muista osatekijöistä kuten teknologia- ja lainsäädäntökehityksestä kansallisesti ja kansainvälisesti sekä siitä, miten automaation sosiaalinen hyväksyttävyyden etenee. Lisäksi eteneminen eri liikennemuodoissa on eritahtista riippuen siitä, millaiseksi automaation kokonaisyödyt arvioidaan huomioiden eri liikennevälineiden elinkaarimallit ja automaation edellyttämät muut investoinnit.

1.1 Tieliikenteen automaatio

On todennäköistä, että automaattiajaminen ja verkottuneet ajoneuvot kehittyvät samanaikaisesti ja toisistaan riippuen. Verkottuneet ajoneuvot voidaan nähdä automaattiajamisen laajemman yleistymisen yhtenä tärkeimpänä edellytyksenä, joten niiden vaikutusten erottaminen toisistaan ei ole tarkastelussa mielekäs.¹

Tieliikenteen automaatiokehitystä tarkastellaan viiden tason kautta, joissa kuljettajan rooli ja vastuu ajotehtävän suorittamisessa vähenee mitä korkeamman tason automaatiosta on kyse. Ylimmällä tasolla ajoneuvo vastaa ajotehtävästä kokonaan. Eri automaatiotasojen käyttötapauksia kehitetään niin osana yksityisomisteisia ajoneuvoja kuin julkista ja joukkoliikennettä. Liikennejärjestelmätasolla muutosten suuruus riippuu siitä kuinka suuri osa liikenteessä olisi automatisoitu. Automaation kehittymisestä Suomessa on esitetty erilaisia arvioita esim. EU-EIP aktiviteetti 4.2:n alla teh-

¹ **Automaattinen tieliikenteen ajoneuvo** (engl. automated vehicle) kykenee ainakin osin suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa. **Autonominen ajoneuvo** (engl. autonomous vehicle) kykenee suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa ja ilman yhteyttä muihin ajoneuvoihin tai infrastruktuuriin. Verkottunut tai keskusteleva ajoneuvo (engl. connected vehicle) on langattomasti yhteydessä toisiin ajoneuvoihin (Vehicle to Vehicle (V2V)) ja/tai infrastruktuuriin (Vehicle to Infra (V2I)) tai muuhun ympäristöön (Vehicle to everything (V2X)).

dyssä raportissa ([linkki](#)) ja osana LVM:n liikenteen automaation lainsäädäntö- ja toimenpidesuunnitelma -työtä ([linkki hankkeen sivulle](#)). Seuraavan kymmenen vuoden aikana tieliikenteen automaation merkitys liikennejärjestelmätasolla päästöihin tulee olemaan vähäinen.

Matkustamiseen käytetyn ajan arvon muuttuminen automaation salliessa muiden toimintojen tekemiseen on yksi vaikeimmin ennakoitavasti tekijöistä. Tämä voi johtaa päästöjen kannalta myös huonoon kehitykseen, mikäli liikkuminen lisääntyy ja matkat pidentyvät. Lisäksi liikkumisen hinnan mahdollinen aleneminen esimerkiksi automaattibussien ja -taksien myötä voi myös lisätä liikennettä. Yhteiskäyttö- ja kyydinjakopalvelut voivat edelleen kiihdyttää tätä kehitystä ja avainkysymys onkin se, miten nämä saadaan toimimaan yhteen joukkoliikenteen kanssa ja liikennejärjestelmän kannalta optimaalisella tavalla, joka samalla vähentää kokonaispäästöjä.

Automaattiajoneuvojen tulisi tukea joukkoliikennejärjestelmää eikä syödä sen taloudellista kannattavuutta. Vielä laajemmin kyse on myös siitä, halutaanko estää yhteiskuntarakenteen hajaantumista. Toisaalta liikkumisen tasa-arvo ja esteettömyys voi parantua, mikäli kustannukset alentuvat ja automaattiajoneuvot tarjoavat liikkumispalveluita ryhmille, joilla aiemmin on ollut rajoitteita ajaa autoa tai liikkua muutoin. Toisaalta jos korkean tason automaattiajoneuvot ovat enemmän yksityiskäytössä, vain varakkailla voi olla mahdollisuus niitä hankkia.

Eri tutkimuksissa on arvioitu, että tieliikenteen automaatioon liittyvät jotkin toimenpiteet voivat kasvattaa päästöjä ja jotkin vähentää niitä (Wadud et al, 2016; Taiebat et al. 2018; Stogios et al, 2019; Makridis et al, 2020). Vaikutusten suuruuteen vaikuttaa myös se ovatko ajoneuvojen automaatiotoiminnot tiedottavia, suosituksia antavia vai pakottavia. Seuraavilla osatoimenpiteillä voitaneen vähentää päästöjä myös Suomessa:

- Ajoneuvojen tekniikan ja toiminnan automatisoinnilla voidaan vähentää ajoneuvojen energiankulutusta ja päästöjä
 - Ajotavan tehostaminen – taloudellinen ajotapa ja automaattisen ajoneuvon ajotavan ohjelmointi
 - Päästöjen kannalta optimaalisen ajonopeuden säätely vallitsevissa olosuhteissa
 - Onnettomuusriskin pienentyminen, onnettomuuksien vähentyessä myös päästöt vähenevät (vähemmän ruuhkia)
- Lisäämällä ajoneuvojen välistä, ajoneuvojen ja infran sekä ajoneuvojen ja laitteiden välistä viestintää voidaan joissakin tilanteissa vähentää päästöjä.
 - Letka-ajo
 - V2X olosuhdeviestit yksittäisen ajoneuvon optiminopeuden valitsemiseksi
 - Liikennevirran optimointi
- Kytkemällä tieliikenteen automaatio ja verkottuneisuus osaksi olemassa olevaa joukkoliikennejärjestelmää, saadaan aikaan kulkutapojen kestävä muutos, joka vähentää liikennejärjestelmän päästöjä
 - Etäohjatut pienlinja-autot
 - Robottitaksit

1.2 Merenkulun automaatio

Uudet merenkulun teknologiset ratkaisut, kuten lisätyn todellisuuden käyttö alusten komentosilloilla, alusten etäohjaustoiminnot ja autonomiset alukset ovat käytännön esimerkkejä niiden hyödyntämisestä.

Suomen tavoitteena on edistää meriliikenteen automaation kehitystä, sekä kansainvälisessä merenkulkujärjestö IMO:ssa, että EU:ssa yhdessä muiden alan kärkimaiden kanssa. Tämän kehityksen arvioidaan synnyttävän uusia innovaatioita, jotka mm. vähentävät alusten kasvihuonekaasupäästöjä, laskevat niiden operointikustannuksia ja edistävät meriliikenteen turvallisuutta.

Merenkulun automaation vaikutusten arvioinnissa on käytetty IMO:n neliportaista laiva-automaation tasoluokittelua ja laadullisia arviointikriteerejä. Laiva-automaatio käsitetään yhtenä digitalisaation sovelluksena ja esitetyt arviot perustuvat Traficomin asiantuntijoiden näkemykseen käsiteltävästä aiheesta. Aiheesta tehdyt johtopäätökset on tehty nykytiedon valossa ja ne ovat suuntaa antavia.

Taulukossa vaikutusarviot on jäsennetty IMO:n luokittelujärjestelmän mukaisesti (kuva 2), ja vaikuttavuus päästöihin on arvioitu asteikolla vähäinen-kohtalainen-merkittävä. Lisäksi Taso-1, joka kuvaa laiva-automaation nykyistä tasoa hyvin varustetuissa laivoissa, sisältää laitekohtaisia arvioita kuvatussa kontekstissa.

Laiva-automaation tasot		Automaatio-ratkaisut	Vaikuttavuus päästöihin
1	Operaattori on aluksella, ohjaa sitä ja kontrolloi sen toimintoja. Esim. nykyiset ro-ro-matkustaja-, risteily- ja off-shore- alukset.	1. autopilot 2. course mode 3. track pilot 4. auto trim 5. route optimizer 6. DP system	1. vähäinen 2. vähäinen + 3. vähäinen + 4. kohtalainen 5. kohtalainen + 6. vähäinen +
2	Operaattori on maissa, ohjaa 1-6 alusta ja kontrolloi niiden toimintoja. Aluksella oleva miehistö voi tarvittaessa ottaa aluksen hallintaansa. Esim. maantielautta lyhyellä vakioreitillä tai rahtialus valtameriosuudella.	1. Taso-2 vs Taso-1	1. vähäinen
3	Operaattori on maissa, ohjaa 1-6 alusta ja kontrolloi niiden toimintoja. Aluksella ei ole miehistöä apuna. Esim. tutkimusalus tai -laivue tietyllä rajatulla merialueella tai rahtialus valtameriosuudella.	1. Taso-3 vs Taso-1	1. vähäinen
4	Operaattorilla ei ole roolia tässä toimintamallissa, vaan alus toimii täysin itsenäisesti. Esim. tutkimusalus tai -laivue tietyllä rajatulla merialueella.	1. Taso-4 vs Taso-1	1. kohtalainen

Merenkulussa automaation vaikutus päästöihin vaikuttaa asiantuntija-arvion mukaan parhaimmillaan kohtalaiselta. Eri automaatiotasoinnilla voidaan tehostaa toimintoja jossain määrin, mutta merkittävimmät päästövähennykset merenkulun automaatiossa tulisivat, jos tekoälyn avulla voitaisiin optimoida automaattisesti koko logistiikkajärjestelmän toimintaa, johon merenkulku olisi vahvasti integroitu. Tosin monet eivät pidä tätä tasoa realistisena, vaan pikemminkin yhtenä merenkulun monista tulevaisuuden visioista.

Merenkulun ilmastopäästöjen vähentämisen kannalta keskeistä ovat aluksen energiatehokkuuden parantaminen (EEDI- ja EEXI-indeksit), aluksen operatiivisten toimien (esim. nopeuden ja kurssin) säätäminen, siirtyminen fossiilittomien polttoainneiden/käyttövoimien käyttöön ja digitalisaation hyödyntäminen logistiikkaketjujen toiminnan optimoinnissa.

Kaikkia näitä toimia voidaan hyödyntää myös perinteisissä aluksissa, eli ne eivät edellytä pitkälle kehittyneitä laiva-automaatiota.

1.3 Rautatieliikenteen automaatio

Rautateiden automatisointi voidaan aloittaa rautatiejärjestelmän digitalisoinnilla junankulunvalvonnan ja radioverkon hallintajärjestelmää hyödyntämällä. Digitalisointi mahdollistaa tulevaisuudessa rautatieliikenteen automaation, jota myös tarkastellaan 4-portaisella asteikolla. Asteikko etenee vaiheittain manuaalisemmasta junan ja sen toimintojen ohjauksesta kohti täyttä automaatiota.

Rautatieliikenteen potentiaali päästöjen vähentämisessä realisoituu ennen kaikkea rautatiekuljetusten markkinaosuuden ja siihen tarvittavan kapasiteetin kasvattamisen myötä. Digitalisointi mahdollistaa automaation lisäämistä raiteilla ja sitä kautta tehokkuuden, täsmällisyyden ja kapasiteetin paranemista. Parempi ja täsmällisempi junatarjonta tukee siirtymää kestäviin kulkumuotoihin, parantaa rautateiden houkuttelevuutta ja lisää rautatiekuljetusten markkinaosuutta.

Rautatieliikenteen osuuden liikenteen kasvihuonepäästöistä arvioidaan olevan nykyhetkellä vain noin 1 %:n luokkaa. Rautatieliikenteen suurempi markkinaosuus vähentäisi merkittävästi liikenteen päästöjä. Nykyhetkellä markkinaosuus koko liikenteessä on matkustajaliikenteessä noin 6% ja tavaraliikenteessä 27 %. Rautatieliikenteen osuuden kasvattaminen on EU:n laajuinen tavoite, joka on esillä vahvasti muun muassa Euroopan vihreän kehityksen Green Deal -ohjelmassa.

Raiteille voidaan saada jopa 30% lisää kapasiteettia digitalisoinnin avulla. [Digirata-hankkeessa](#) on kartoitettu, miten ratakapasiteettia voidaan hyödyntää tehokkaammin. Rataverkon kapasiteettia olisi mahdollista kasvattaa digitalisaation avulla lyhentämällä junavälejä. Ratakapasiteetin lisäys vähentäisi rataverkon pullonkaloja, nopeuttaisi häiriöistä toipumista, helpottaisi aikataulusuunnittelua ja parantaisi täsmällisyyttä. Olemassa olevalla rataverkolla olisi paikoin mahdollisuus lisätä junien määrää merkittävästi. Digirata-hankkeen loppuraportissa esitetään seitsemän vuoden kehitysvaihetta seuraisi raportin suosituksen mukaan varsinainen rakentamisvaihe. Esiitetty rakentamisvaihe alkaisi vuonna 2028 päättyen vuonna 2041. Mahdollisen kehitys ja rakentamisvaiheen aikataulut riippuvat siitä, millaisia ratkaisuja poliittiset päättäjät tekevät.

Esimerkkinä raideliikenteen digitalisaation potentiaalista rautateilla voidaan tarjota entistä turvallisempaa liikennettä, parempaa palvelutasoa matkustajalle, joustavampaa kuljetuspalvelua teollisuudelle ja täsmällisempää junaliikennettä. Ennusteiden mukaan pääkaupunkiseudulla matkustajien määrä kasvaa seuraavina vuosikymmeninä huomattavasti. Valtakunnallisen liikenne-ennusteen mukaan lähijunaliikenteen vilkkaimmalla asemavälillä Pasila-Käpylä matkojen määrä kasvaa vuoteen 2030 mennessä noin 28 miljoonaan, kun vuonna 2016 tehtiin noin 23 miljoonaa matkaa. Älykkään teknologian ja vaadittavien infrastruktuurin parannusten ansiosta vuoroväliä voitaisiin esimerkiksi tihentää ruuhka-aikoina 12 junasta vähintään 16 junaan tunnissa. Tämä yli 30 prosentin kapasiteetin lisäys mahdollistaisi merkittävän matkustajamäärän lisäyksen lähiliikenteessä.

1.4 Ilmailun automaatio

Ilmailun automaatio on osa miehittämättömän ilmailun kokonaisuutta, joka on voimakkaasti kasvussa. Miehittämättömän ilmailun kasvu tapahtuu tällä hetkellä kuitenkin aloilla ja kokoluokissa, joissa ei vielä korvata miehitetyn liikenteen matkustajien tai rahdin kuljettamista. Miehittämättömän ilmailun droneilla voidaan suorittaa esimerkiksi viimeisen mailin toimituksia, missä tietty määrä pakettikuljetuksista voidaan siirtää ruuhkista ja autojen kyydistä ruuhkattomampaan ilmakuljetukseen. Tästä on jo ensimmäisiä kokeiluja Suomessa.

On nähtävissä, että miehittämätön ilmailu tulee jollain aikavälillä laajentumaan myös matkustajien ja rahdin kuljettamiseen, mutta lainsäädäntö ja vaatimukset liikennevälineille ovat vielä voimakkaan kehityksen alla. Liikennelentokonealuokan ilma-alusten kehityskaaret ovat myös varsin pitkiä, joten voidaan suhteellisen varmasti olettaa, että suuremman mittaluokan miehittämättömiä ilma-aluksia ei nähdä taivaalla korvaamassa miehitettyä liikennettä vuoteen 2025 mennessä.

Mahdolliset automaation hyödyt päästövähennysten kannalta on saavutettavissa ruuhkaisten ilmatilojen reittioptimoinnilla, kun miehittämättömät liikennelentokoneet ja automatisoitu lennonjohto tulevat käyttöön. On vaikea sanoa, kuinka suuria hyötyjä vapaista ilmareiteistä saataisiin, oletettavasti kuitenkin merkittäviä. Vapaat reitit on pystytty mahdollistamaan pohjoismaissa jo perinteisin keinoin ilman automaatiota.

Johtopäätökset

Liikenteen automaation osalta on paljon epävarmuutta siitä, miten eri liikennemuotojen automaatiokehitys vaikuttaa ympäristöön ja kasvihuonekaasupäästöihin. Muistion perusteella kaikissa liikennemuodoissa voidaan tunnistaa kehityskulkuja, joilla on potentiaalia vaikuttaa myönteisesti liikenteen päästöjen vähenemiseen pitkällä aikavälillä.

Tieliikenteessä päästövähennyspotentiaali riippuu merkittävästi siitä, millaiset automaation käyttötapaukset alkavat yleistyä ja tukevatko ne päästövähennystavoitteita. On huomattava, että päästövähennykset eivät ole olleet automaation kehittämisen ensisijainen tavoite ja fossiilittoman liikenteen näkökulmasta olisi tärkeää tukea ja edistää sellaisia automaation sovelluksia, joilla on merkittävin päästövähennyspotentiaali. Lisäksi on tärkeää, että automaatiokehityksen yhteydessä kiinnitetään huomiota ajoneuvojen käyttövoimiin.

Merenkulussa ja rautatieliikenteessä automaation vaikutukset päästövähennyksiin tulevat näkyviksi osana laajempaa digitalisaatiokehitystä. Laiva-automatation myönteiset vaikutukset ovat tässä kontekstissa melko vähäiset. Rautateiden automaatiolla voidaan kasvattaa ennen kaikkea raidekapasiteettia ja sitä kautta rautatieliikenteen houkuttelevuutta.

Miehittämättömässä ilmailussa laajamittaisempi päästövähennyspotentiaali konkretisoituu siinä vaiheessa, kun se laajenee nykyisten liikennelentokoneiden kokoluokkaan ja lennonjohto saadaan automatisoitua.

Yhteydenotot: kirjaamo@traficom.fi

Yhteyshenkilöt: Jarno Ilme, verkostojohtaja ja Outi Ampuja, johtava asiantuntija

Lähteet

Liikenne- ja viestintäministeriö: Liikenteen automaation toimenpide- ja lainsäädäntösuunnitelma: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM059:00/2019>

Makridis M. et al, 2020. The impact of automation and connectivity on traffic flow and CO2 emissions. A detailed microsimulation study. *Atmospheric Environment*, 1-9.

Stogios et al, 2019. Simulating impacts of automated driving behavior and traffic conditions on vehicle emissions. *Transportation Research Part D* 76, 176-192. SAE Levels, 2018. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>

Taiebat M. et al, 2018. A Review on Energy, Environmental, and Sustainability Implications of Connected and Automated Vehicles. *Environmental Science & Technology* 2018, 52, 11449–11465. <https://www.researchgate.net/publication/327515923>

Wadud, Z., MacKenzie, D., Leiby, P., 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 86, 1–18.

Digirata - kohti tulevaisuuden digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä. <https://digirata.fi/>

