



# Autonomisen junan liikennöinti yksityisellä rataverkolla

Oona Leppänen

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus  
Automaatiotekniikka

LEPPÄNEN, OONA:  
Autonomisen junan liikennöinti yksityisellä rataverkolla

Opinnäytetyö 50 sivua  
Marraskuu 2020

---

Proxion Oy:llä on käynnistetty vuonna 2019 Autonominen juna -pilottihanke, jonka tarkoituksena on toteuttaa autonominen raideliikenne. Autonomisen junan avulla halutaan synnyttää uudenlaisia palveluita raiteille sekä tuplata nykyiset rautatiekuljetukset. Autonomisella junalla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä raiteilla liikkuvaa vaunuyksikköä.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin autonomisen junan teknisiä vaatimuksia sekä selvitettiin viranomaistahojen vaatimukset liikennöintiin niin julkisella kuin yksityisellä rataverkolla. Suomessa ei vielä ole autonomista raideliikennettä missään muodossa. Ensin selvitettiin, mitä viranomaiset vaativat, jotta liikennöinti Suomen julkisella ja yksityisellä rataverkolla on mahdollista. Lisäksi tutkittiin, miten tulevaa yhteiseurooppalaista junakulunvalvontajärjestelmää voidaan hyödyntää junan kehityksessä sekä millaista tekniikkaa autonominen juna vaatii, jotta se kykenee liikkumaan itsenäisesti raiteilla. Tavoitteena oli myös selvittää autonomisen junan vaikutus rataanfralta vaadittavaan tekniikkaan.

Lopputuloksena saatiin selvitys, mitä autonomisen junan kehityksessä tulee huomioida sekä miten tulevaa yhteiseurooppalaista junakulunvalvontajärjestelmää voidaan hyödyntää junan kehityksessä. Selvityksestä käy ilmi lait ja säädökset, jotka liikenteenharjoittajan on otettava huomioon, jotta edes liikennöinti normaaliilla junakalustolla on mahdollista Suomen rataverkolla. Lisäksi selvityksessä käytiin läpi erilaisia tekniikoita, joita juna voi tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi ympäristön paikannuksessa. Rataanfralta vaadittavaan tekniikkaan ei löytynyt mitään todennettua ja toimivaa yksiselitteistä ratkaisua.

Opinnäytetyön valmistuessa projekti on vielä selvitysvaiheessa, mutta se antaa projektihenkilöstölle kuvan autonomisten junien tilanteesta globaalisti sekä mitä tekniikkaa niissä on hyödynnetty ja mitä Suomen rautateillä vaaditaan liikennöintiin. Työn avulla lisättiin yrityksen sekä projektihenkilöstön tietoutta ja asiantuntemusta liittyen autonomiseen liikennöintiin. Lisäksi Proxionin on mahdollista hyödyntää selvitystä myöhemmin tarpeen vaatiessa.

---

Asiasanat: autonomia, juna, rataverkko, junakulunvalvonta, liikennöinti

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering  
Automation Engineering

LEPPÄNEN, OONA:  
Operation of the Autonomous Train on a Private Railway Network

Bachelor's thesis 50 pages  
November 2020

---

In 2019, Proxion Ltd has launched the Autonomous Train pilot project that aims to implement autonomous rail traffic. The aim is to create new types of railway services and to double the existing rail transport with the help of an autonomous train. In this thesis, the term 'autonomous train' refers to a wagon unit moving on rails.

The technical requirements of an autonomous train were examined in the thesis, and the requirements of the authorities for operating on both public and private rail networks were clarified. There is not yet any form of autonomous rail traffic in Finland. It was first clarified what the authorities require in order for rail traffic to be possible on Finland's public and private railway network. Thesis work also examined how the future European Rail Traffic Management System could be used in the development of an autonomous train and what kind of technology is required to enable an autonomous train to move independently on the tracks. The aim was also to investigate what kind of requirements autonomous trains place on the railway infrastructure.

The results of this study show what should be taken into account in the development of an autonomous train and how the future European Rail Traffic Management System can be utilized in the development of the train. Furthermore, the study discusses the laws and regulations that the carrier must take into account in order to operate even with normal train on the Finnish railway network. In addition, an overview is given on various techniques that an autonomous train can use in the future, for example in positioning. No verified and workable solution was found for the technology required from the railway infrastructure.

The pilot project was still in the study phase when this thesis work was completed, but this paper nevertheless gives project staff a good picture of the situation of autonomous trains globally, what technologies have been used in autonomous trains and what is required in terms of traffic operations on Finnish railways. The work was used to increase the knowledge and expertise of the company and project staff in autonomous traffic. It is possible for Proxion to utilize the thesis also later as the project progresses.

---

Key words: autonomy, train, railway network, automatic train protection, operation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	PROXION OY JA AUTONOMINEN JUNA -HANKE .....	10
	2.1 Proxion Oy .....	10
	2.2 Autonominen juna -hanke .....	10
3	RATAVERKKO .....	12
	3.1 Rataverkon yleiskuvaus .....	12
	3.1.1 Julkinen rataverkko.....	12
	3.1.2 Yksityinen rataverkko .....	15
	3.2 Rautatieliikenne.....	17
	3.2.1 Junaliikenne sekä henkilö- ja tavaraliikenne.....	17
	3.2.2 Vaihtotyö .....	19
	3.2.3 Ratatyö .....	19
4	RAUTATIEALAN KESKEISET TOIMIJAT JA LAINSÄÄDÄNTÖ .....	21
	4.1 Rautatiealan keskeiset toimijat.....	21
	4.1.1 Väylävirasto .....	21
	4.1.2 Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.....	22
	4.1.3 Finrail Oy .....	22
	4.2 Rautatieliikenteen säädökset .....	23
	4.2.1 Suomen lainsäädäntö.....	23
	4.2.2 Euroopan unionin lainsäädäntö .....	24
5	AUTONOMISEN LIIKENTEEN VAATIMUKSET .....	25
	5.1 Julkinen rataverkko .....	26
	5.2 Yksityinen rataverkko .....	28
6	ERTMS/ETCS-JÄRJESTELMÄ .....	30
	6.1 ERTMS/ETCS-järjestelmän perusteet.....	30
	6.2 ERTMS/ETCS:n hyödyntäminen autonomisessa junassa .....	34
7	AUTONOMISEN JUNAN TEKNIikka.....	38
	7.1 Ympäristön havaitseminen .....	38
	7.2 Muu tekniikka .....	39
8	YHTEENVETO .....	43
	LÄHTEET .....	46

**LYHENTEET JA TERMIT**

5G	Viidennen sukupolven tiedonsiirtoteknologia (Fifth generation of wireless communications)
6G	Kuudennen sukupolven tiedonsiirtoteknologia (Sixth generation of wireless communications)
AI	Tekoäly (Artificial Intelligence)
Ajolupa	Junalle annettu lupa siirtyä tiettyyn sijaintiin siten, että nopeutta valvotaan
Ak	Akselinlaskija. Rautateillä käytettävä laite, jolla valvotaan raideosuuden vapaana - tai varattuna oloa
Akselipaino	Akselin kannatteleman massan osuus
ATO	Junien automaattinen ajo, joka toteutetaan joko osittain tai kokonaan automaattisena (Automatic Train Operation)
Baliisi	Automaattisen junakulunvalvonnan komponentti, joka lähettää kuljettajalle informaatiota esimerkiksi opastimista ja nopeusrajoituksista
Er	Raide-eristys, valvotaan raideosuuden vapaana tai varattuna oloa
ERTMS	Euroopan Unionin hanke, jonka tarkoituksena on edistää rautatieliikenteen valtioiden rajat ylittävää liikennöintiä (European Rail Traffic Management System)
ETCS	Eurooppalainen junien automaattisen kulunvalvonnan standardi (European Train Control System)
FRMCS	Tulevaisuuden rautateiden viestintäjärjestelmä (Future Railway Mobile Communication System)
GSM-R	GSM-verkko, joka on vain rautateitä varten (Global System for Mobile communications – Railway)
IP	TCP/IP-viitemallin verkkokerroksen protokolla, joka yhdistää internetiin liittyneitä laitteita palvelimiin ja sitä kautta mahdollisesti toisiin käyttäjiin (Internet Protocol)

JKV	Junien kulunvalvonta, rataan asennettu laitekoko- naisuus, jolla valvotaan nopeusrajoituksia sekä opastei- den ja merkkien noudattamista
Juna	Rautateillä kulkeva kulkuväline, joka koostuu veturista ja vaihtelevasta määrästä vaunuja
KUPLA	Junakuljettajan päätelaite, mahdollistaa sähköisen tie- donvälityksen yksikön kuljettajan ja liikenteenohjauksen sekä liikenteenhallintajärjestelmien avulla
LEU	Koodain, joka ohjaa eurobaliiseja opastintiedon perus- teella tai keskitetysti asetinlaitteelta (Lineside Electronic Unit)
Li-ion-akku	Litiumioniakku, litiumioni liikkuu anodin ja katodin vä- lillä. Litiumioni liikkuu akun purkautuessa anodista kato- diin ja ladattaessa katodista anodiin.
LiDAR	Valotutka (Light Detection and Ranging)
LTE	Neljännän sukupolven langaton tiedonsiirtotekniikka (Long Term Evolution)
MALS	Venäjällä automaattijunan tueksi kehitetty automatisoitu merkinantojärjestelmä
NVIDIA	Yhdysvaltalainen grafiikkateknologia-alan yhtiö
Raideleveys	Rautatien kiskojen sisäreunojen välinen etäisyys
RBC	Radiosuojastuskeskus (Radio Block Center)
RSU	Rautatietyön suojalottuma; tila, joka ulottuu pitkin rai- detta
Shift2Rail	Eurooppalainen rautatietutkimusyriitys, joka on luotu koordinoidaan kohdennettuja tutkimus- ja innovaatio- projekteja ja luomaan markkinalähtöisiä ratkaisuja no- peuttamalla uuden ja edistyneen tekniikan integrointia rautatietuotteisiin
TEN-T	Euroopan laajuinen liikenneverkko, keskittyy tärkeimpiin yhteyksiin ja solmukohtiin
TEN-verkko	Euroopan laajuinen verkko (Trans European Network)
TMF	Traffic Management Finland Oy
Traficom	Liikenne- ja viestintävirasto

Transitiokuljetus	Kauttakuljetus, tavaran kuljetus maasta toiseen kolmannen maan kautta sitä siellä tullaamatta, avaamatta tai muuten käyttämättä
TURO	Radanpidon turvallisuusohjeet
VAK-juna	Vaarallisten aineiden kuljetukseen käytettävä juna
V2I	Ajoneuvo-infrastruktuuri -kommunikointi (Vehicle-to-Infrastructure)
V2V	Ajoneuvo-ajoneuvo -kommunikointi (Vehicle-to-Vehicle)
VIRVE	Viranomaisradioverkko
VR Transpoint	Logistiikkapalveluita tuottava yksikkö, osa VR Groupia
Wi-Fi	Langattomien verkkoprotokollien perhe, joka perustuu IEEE 802.11 -standardiperheeseen ja joita käytetään yleisesti laitteiden lähiverkkoon ja Internet-yhteyteen

## 1 JOHDANTO

Tulevaisuuden liikkumisen yksi suurimmista muutossuunnista on autonominen liikenne. Tämä ei koske vain yksityisautoja vaan myös julkista liikennettä kuten busseja sekä junia ja metroja. Autonominen liikenteen uskotaan parantavan merkittävästi liikenneturvallisuutta, alentavan liikkumiskustannuksia, lisäävän liikkumisen mahdollisuuksia sekä avaavan teitä uusille liikkumispalveluille. Lisäksi se helpottaisi liikenneuhkia ja vähentäisi päästöjä. (Autotuoajat- ja teollisuus n.d.)

Autonominen juna on vuonna 2019 alkunsa saanut pilottihanke, jonka tavoitteena on synnyttää uudenlaisia palveluita raiteille sekä tuplata nykyisestä rautatiekuljetusten määrää. Suomen rautatieliikenne on ollut aina konservatiivinen, eikä raiteilla kulkeva tavaraliikenne ole juurikaan muuttunut 150 vuoden aikana. Hankkeella halutaan haastaa perinteinen tapa kuljettaa tavaraa sekä pyritään synnyttämään uudenlaisia kuljettamisen ja liikkumisen palveluita raiteille. (Proxion 2019.)

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on selvittää autonominen ajamisen vaatimukset Suomen rataverkolla. Työssä selvitetään junan tekniset vaatimukset sekä viranomaistahojen vaatimukset liikennöintiin niin julkisella kuin yksityisellä rataverkolla. Lisäksi työssä pohditaan tulevan ERTMS/ETCS-junakulunvalvontatekniikan hyödyntämistä junan kehityksessä sekä mahdollisia raitinfran muutoksia, jotta autonominen ajaminen on mahdollista.

Opinnäytetyön alussa esitellään lyhyesti Suomen julkisen ja yksityisen rataverkon nykyistä tilannetta, kerrotaan eri liikkumismuodoista rautateillä sekä esitellään Suomessa toimivia rautateistä ja niihin liittyvistä järjestelmistä vastaavia tahoja. Lisäksi kerrotaan voimassa olevista ohjeistuksista sekä säädöksistä, jotka ohjaavat Suomen rautatieliikennettä nyt ja tulevaisuudessa.

Työssä esitellään nykyisellään voimassa olevia vaatimuksia, jotka ohjaavat rautateille pääsyä. Lisäksi esitellään tuleva yhteiseurooppalainen junakulunvalvontajärjestelmä, ERTMS/ETCS, ja pohditaan, miten sitä on mahdollista hyödyntää autonomisessa ajamisessa sekä kartoitetaan mahdollisia tekniikoita, joita juna tarvitsee viestiäkseen tilastaan sekä ympäröivästä maastosta ja rautatielaitteista.



Koska autonominen juna on vielä maailmalla vieras käsitä, sen tarvitsemasta tekniikasta ja mahdollisista radanvarsilaitteistosta löytyy vähän tietoa, joten ehdotemat näistä on tehty olemassa olevan tiedon perusteella. Lisäksi Suomen rautateiden nykyinen junakulunvalvontajärjestelmä muuttuu tulevaisuudessa yhteisrooppalaiseen junakulunvalvontajärjestelmään, joten tekniikkaa sekä tarvittavia laitteita on tarkasteltu tämän pohjalta.

Opinnäytetyö antaa valmistuessaan yleisen käsityksen autonomisen junan mahdollisista vaatimuksista. Työ tarjoaa näkemyksen mahdollisista laitteista niin junaan kuin radalle. Lisäksi selvitetään mitä vaatimuksia nykyohjeistus asettaa, että pääsy rataverkolle olisi teoriassa mahdollista. Työssä on myös pohdittu tulevan junakulunvalvonta järjestelmän tarjoamia mahdollisuuksia. Opinnäytetyö lisää yrityksen tietoutta sekä asiantuntemusta autonomisesta liikennöinnistä ja tarjoaa vaihtoehtoja sekä näkökulmia autonomisen junan kehitykselle. Valmistuessaan työ auttaa projektin tulevien vaiheiden suunnittelussa.

## **2 PROXION OY JA AUTONOMINEN JUNA -HANKE**

### **2.1 Proxion Oy**

Proxion on vuonna 2005 perustettu konserni, jonka toimialaan kuuluu raideliikenteen suunnittelu- sekä digi- ja koulutuspalvelut. Proxion tuottaa raideliikenteen suunnittelu- ja asiantuntijapalveluita, joiden avulla halutaan vahvistaa sen turvallisuutta, käytettävyyttä ja sujuvuutta. Ydinosaaminen yrityksellä on vaativissa julkisissa sekä yksityisissä raideinfrastruktuurin projekteissa. (Proxion 2020.)

Proxionilla työskentelee yli 100 turvalaitetekniikan, sähkötekniikan ja infra-alan osaajaa. Yrityksen pääkonttori on Helsingissä ja muut toimipisteet sijaitsevat Tampereella, Mikkelissä, Pieksämäellä, Kuopiossa ja Oulussa. (Proxion 2020.)

Proxion Oy on konsernin emoyhtiö, jonka tytäryhtiöitä ovat Proxion Plan Oy sekä EIS Innovations Oy. Proxion Oy:n alla toimivat konsernin sisäiset toiminnot, kuten hallinto, talous ja henkilöstö. Proxion Plan kattaa suunnittelu- ja digipalvelut sekä koulutus- ja turvallisuuspalvelut (Rataopisto) sekä erilliset kehitysprojektit. EIS Innovations -yhtiöön kuuluu energiahallintaan liittyvät tuotteet ja tuotekehitys sekä toimitukset ja lisenssimyynti erilaisiin sovelluskohteisiin. (Proxion Wiki 2020.)

### **2.2 Autonominen juna -hanke**

Autonominen juna -pilottihanke on vuonna 2019 käynnistetty Proxionin kehityshanke, jonka tarkoituksena on toteuttaa autonominen raideliikenne. Autonomisen junan avulla tavoitellaan uudenaikaista kuljetuskonseptia, joka palvelee teollisuuden tarpeita; sillä halutaan mahdollistaa keskeyttämätön tavaravirta sekä vaihtoja lastaustyö ahtailla tehdasalueilla että nostaa ratojen käyttö- ja täyttöasteita. Projektin yhtenä pyrkimyksenä on myös, että tavarankuljetus tapahtuu automaattisesti. (Viinonen 2020.)

Autonomisen junan pienin suunniteltu yksikkö on vaunu, joita on mahdollista kytkeä yhteen junaksi. Lopullinen autonominen juna tulee siis koostumaan vetovau-  
nusta sekä 1–4 kuljetusyksiköstä. Yksiköiden on tarkoitus operoida ilman kuljet-  
tajaa automaattisen ohjaus- ja turvalaitetekniikan avulla. Autonomisen junan yksi  
suurimmista tavoitteista on turvallisuuden ja taloudellisen kilpailukyvyn lisäksi hii-  
lijalanjäljen pienentäminen. Junasta siis suunnitellaan sähköllä toimivaa kokonai-  
suutta, jossa energiavarantona on nykyaikainen li-ion-akusto. (Savolainen 2019.)

Autonominen juna -hanke koostuu kolmesta eri vaiheesta: pilottivaiheen sekä to-  
teutuksen suunnittelusta eli konseptoinnista, jonka on tarkoitus valmistua 2020,  
pilottivaiheesta sekä operointivaiheesta. Tällä hetkellä käynnissä on konseptointi,  
jossa on tarkoituksena selvittää, millainen konsepti palvelee teollisuutta nykyistä  
mallia paremmin ja onko se mahdollista toteuttaa. Tässä vaiheessa kerätään yh-  
teen myös tarvittava toimijaverkosto. Myöhemmissä vaiheissa on tarkoitus selvit-  
tää toteutusedellytykset sekä testata konsepti ja kalusto käytännön olosuhteissa.  
Näiden tietojen sekä kokemusten pohjalta tehdään päätös, käynnistetäänkö kau-  
pallinen liiketoiminta. (Savolainen 2019.)

## 3 RATAVERKKO

### 3.1 Rataverkon yleiskuvaus

#### 3.1.1 Julkinen rataverkko

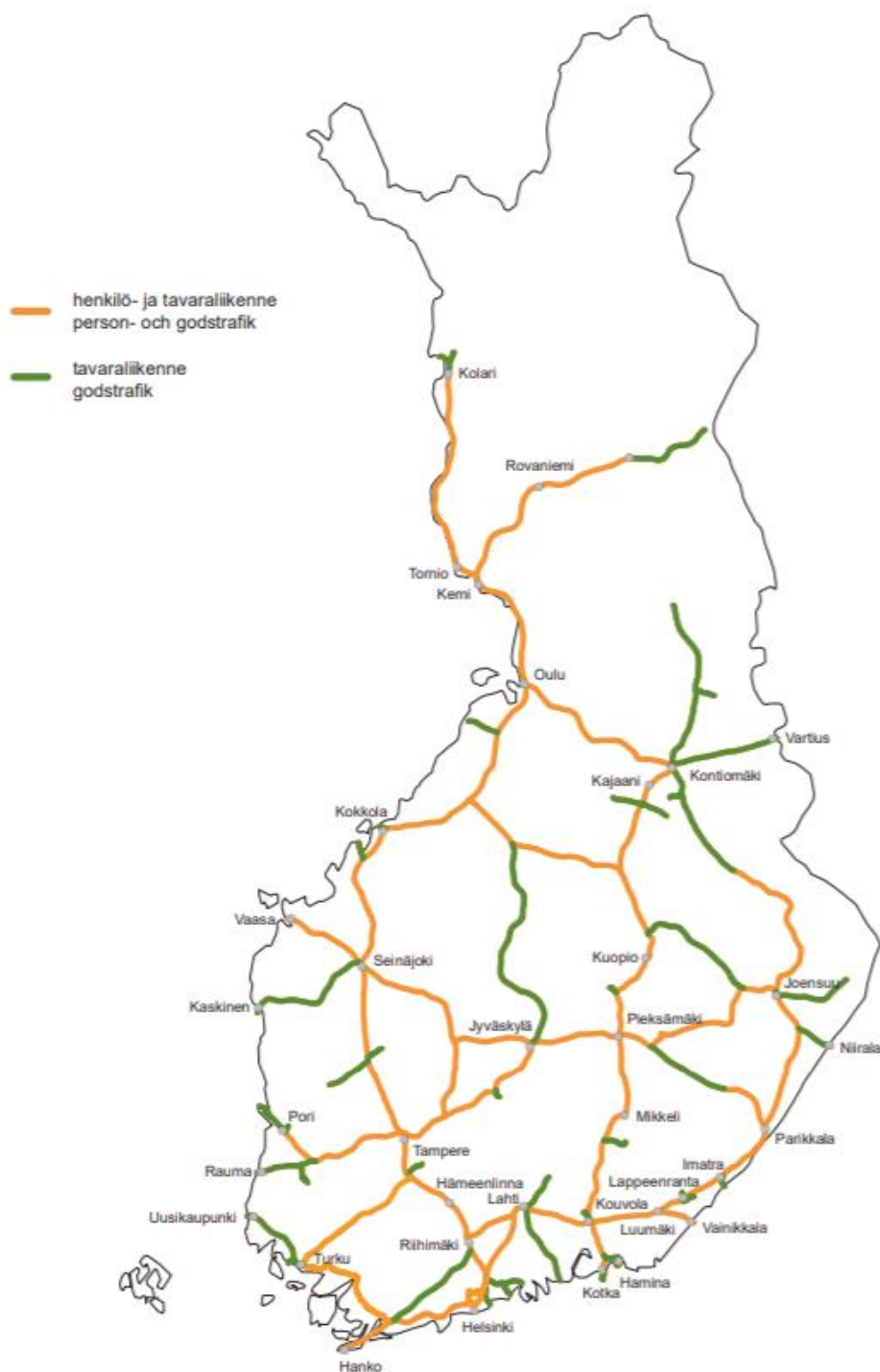
Väylävirasto (entinen Liikennevirasto) hallitsee Suomen julkista rataverkkoa. Sen vastuulle kuuluu rataverkon kehittäminen, ylläpito sekä kunnossapito. Näiden toimintojen tavoitteena on pitää rataverkko kunnossa, jotta liikennöinti on mahdollisimman turvallista sekä tehokasta. (Väylä 2020).

Vuoden 2018 lopussa Suomen julkisen rataverkon kokonaispituus oli noin 5 962 km, joista 3 330 km oli sähköistettyä rataa. Suurin osa rataverkosta on yksiraitaista rataa, jota oli noin 5 244 km. Kaksi- tai useampiraitaista rataa puolestaan oli noin 682 km. Näitä on lähinnä vilkkaimmilla rataosilla kuten esimerkiksi Helsinki–Riihimäki–Tampere sekä pääkaupunkiseudun lähiliikenteen kaupunkiradat. (Väylä 2020.)

Suomessa rataverkon raideleveys on 1524 mm, joka poikkeaa muualla Euroopassa käytettävästä 1435 mm:stä. Sähköradalla käytettävä jännite on 25 kV, jonka taajuus on 50 Hz. Suurimalla osaa Suomen rataverkosta sallitaan 22,5 tonnin akselipaino, mutta osalla rataverkkoa on käytössä 25 tonnin akselipaino. Suurin sallittu nopeus henkilöliikennejunilla on 220 km/h ja tavarajunilla 120 km/h. (Väylä 2020.)

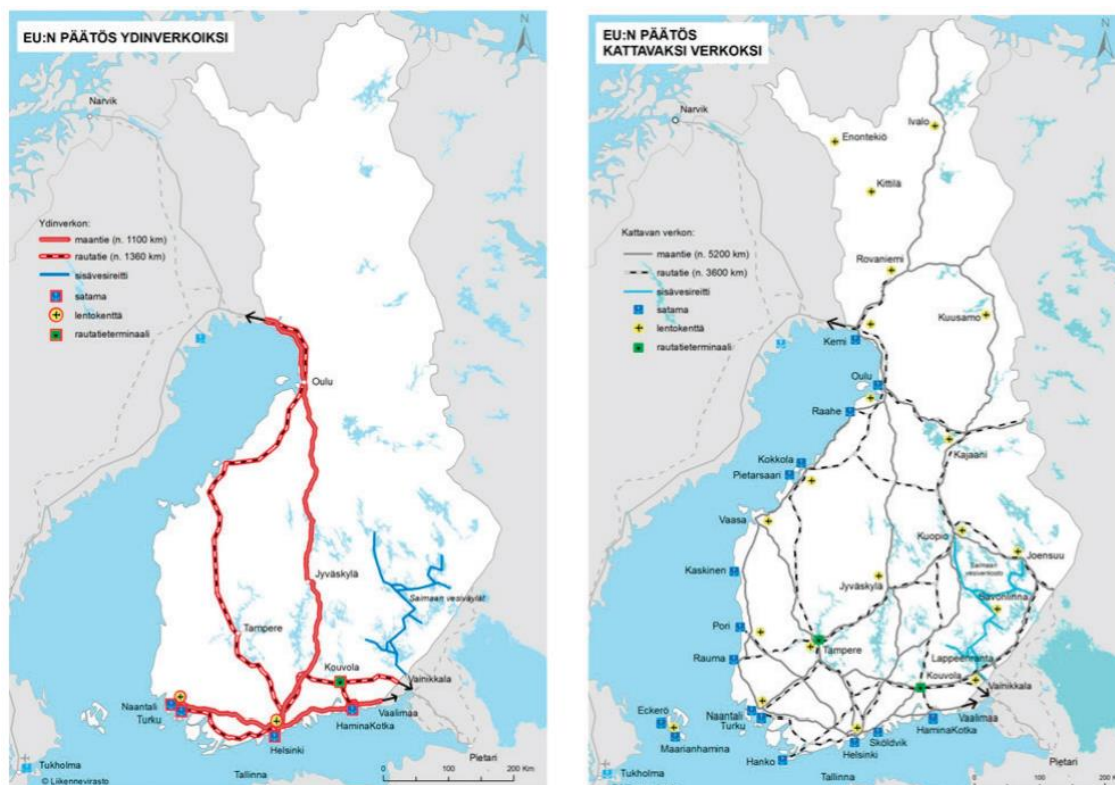
Ratalain (110/2007) mukaan rautatieverkko luokitellaan runkoverkkoon, johon kuuluvat nopean henkilöliikenteen sekä raskaan tavaraliikenteen radat. Tähän luetaan myös muut runkoverkkoa täydentävät henkilö- ja tavaraliikenteen radat. Näitä ovat esimerkiksi yksityis- ja museoradat sekä vain henkilöliikenteen käytössä olevat rataosuudet. (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 24.) Suomesta on junayhteydet Ruotsiin Tornion kautta sekä Venäjälle Vainikkalasta, Imatrankoskelta, Niiralasta sekä Vartiuksesta (Väylä 2020). Kuvassa 1 on esitetty Suomen

rataverkko ja sen liikennöinti (henkilö- ja tavaraliikenne sekä pelkkä tavaraliikenne).



KUVA 1. Suomen rataverkko ja rataverkon liikennöinti (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 13)

Liikenteellisesti Suomen rataverkko luokitellaan tällä hetkellä niin sanottuihin se-kaliikenne- ja ratoihin sekä ratoihin, joilla on ainoastaan henkilö-, tavara- tai museojunaliikennettä. Rataverkon liikenteellistä merkitystä kuvataan myös eurooppalaisella TEN-luokalla. Suomen rataverkon keskeiset osat kuuluvat joko TEN-T-ydinverkkoon tai kattavaan verkkoon. Yhteys Turusta, Helsingin kautta, itärajalle kuuluu lisäksi TEN-T-ydinverkkokäytävään (kuva 2). (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 23.)



KUVA 2. TEN-verkon mukainen rataosaluokittelu (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 24)

TEN-T-verkosto jaetaan kahteen erilliseen tasoon, joista ensimmäinen on vuoteen 2030 mennessä rakennettavasta ydinverkko (core network) ja toinen taso on vuoteen 2050 mennessä rakennettava kattava verkko (comprehensive network). TEN-T-verkon tavoitteena on turvallinen ja kestävä EU:n liikennejärjestelmä, jolla halutaan edistää tavaroiden ja ihmisten saumatonta liikkumista valtion rajojen yli. TEN-T-ydinverkko keskittyy tärkeimpiin yhteyksiin ja solmukohtiin Euroopan rautatieliikenteessä. TEN-T-verkolla katetaan kaikki liikennemuodot rautatieliikenteen lisäksi: maantie-, ilma-, sisä-, vesi-, meri- sekä liikennemuotojen yhdistelyn mahdollistavat alustat. (Väylä 2020.)

### 3.1.2 Yksityinen rataverkko

Yksityisraide tarkoittaa lyhyesti sanottuna raidetta, jota Väylävirasto ei hallinnoi eikä se kuulu valtion rataverkkoon. Yksityisiä raiteita arvioidaan olevan Suomessa noin 1000 km ja näistä on liityntäkohta valtion rataverkkoon noin 500 kappaleessa. Arvion mukaan yksityisraiteita tai -raiteistoja olisi Suomessa toiminnassa useita satoja. Kohteesta riippuen raidepituus ja raiteiden määrä vaihtelee paljon. Näistä suurin osa on yhden tai kahden raiteen yksityisratoja. Laajimmissa kohteissa on taas useiden kymmenien raiteiden raiteistoja. Raiteiden pituus vaihtelee yleensä noin 50 metrin pistoraiteesta kymmeneen kilometriin. Yksittäisissä kohteissa raiteita on tyypillisesti muutama kilometri tai muutama sata metriä. Suurimpia omistajia yksityisraiteilla ovat eri teollisuusyritykset sekä satamat. Muita omistajia ovat esimerkiksi kunnat sekä kaupungit. (Väylä 2020; Yksityisraiteet ja ratamaksusääntely 2011, 5.)

Traficom sekä Väylävirasto ylläpitävät tietoja yksityisistä raiteista Suomessa; Traficomien tiedot ovat tietovarannoissa ja Väylävirastolla tiedot ovat yksityisraiderekisterissä. Traficomien yksityisraidetietoja pidetään yllä viraston valvontatehtävien vuoksi, johon kuuluu mm. liikenneturvallisuus, vaarallisten aineiden kuljetukset sekä tekninen yhteentoimivuus. Vaikka erinäisiä tietoja yksityisraiteista kerätään viranomaisten toimesta, ei niistä saa kuitenkaan listattua helposti ajantasaisia tilastoja esimerkiksi yksityisraiteiden lukumäärästä, raiteistojen koosta, varusteiluista tai liikennemäärästä. Niitä ei ole tilastoitu julkisen rataverkon tavoin. (Yksityisraiteet ja ratamaksusääntely 2011, 4.) Yksityisraiteiden haltijat pitävät kuitenkin yllä omia verkkoselostuksia, joista selviää mm. rataverkon kuvaus, käyttötarkoitus sekä tulevaisuuden näkymät. Nämä ovat julkisesti luettavissa yksityisraiteiden haltijoiden omilta nettisivuilta. (Väylä 2020.)

Suomessa on ollut läpi historian paljon yksityisraiteita, mutta niitä on lakkautettu ja purettu tiekuljetuksiin siirtymisen sekä teollisuuslaitosten ja lastaus- ja purkupaikkojen sulkemisen vuoksi. Taajamien maankäyttö on myös johtanut raiteiden poistamiseen. Useissa edelleen toimivissa kohteissa on sivuraiteita, joiden käyttö on lakannut, vaikka pääosa raiteistosta on edelleen käytössä. Raiteita jätetään yleensä paikoilleen mahdollisen tulevan käyttötarpeen varalta, tai niitä ei poisteta

ilman syytä purkukustannusten välttämiseksi. (Yksityisraiteet ja ratamaksusääntely 2011, 5.)

Yksityisraiteita halutaan myös kehittää; uusia yksityisraiteita on rakennettu sata-miin sekä kaivoksiin. Tavoitteena on rakentaa raiteita tulevaisuudessa myös lisää. Yksityisraiteiden rakentaminen, kunnostus ja uudelleenavaaminen voi lisääntyä myös raideliikenteen kilpailun myötä, mikäli uudet rautatieliikenteen harjoittajat perustavat omia varikkoja ja terminaaleja. Nykypäivänä selkeimmin tilastoitu yksityisraiteiden ryhmä on Suomen Satamaliiton jäsensatamien raiteistot. Näiden yhteispituus yhteensä on yli 230 km. HaminaKotkan satama on tällä hetkellä suurin alue, jossa on lukumääräisesti eniten yksityisraiteiden haltijoita. (Yksityisraiteet ja ratamaksusääntely 2011, 5.)

Yksityisraiteiden pääsääntöinen käyttötarkoitus tällä hetkellä on tavarankuljetukset. Tällä hetkellä lähes kaikki valtion rataverkon tavaraliikenne kulkee kuljetusketjun alku- ja loppupäässä sekä vaihtoterminaaleissa yksityisraiteiden kautta. Lisäksi yksityisraiteilla on merkitystä teollisuuslaitosten ja terminaalien sisäisessä liikenteessä. Yksityisraiteita käytetään raaka-aineiden ja tuotteiden tuontiin ja vientiin tuotantolaitoksissa ja terminaaleissa, tavaraliikenteen vaihtotyöhön (junanmuodostus), raaka-aineiden ja tuotteiden sisäiseen siirtelyyn sekä esimerkiksi varikkoliikenteeseen. Yksityisraiteilla liikennöi eri rautatieliikenteen harjoittajat, esimerkiksi VR Transpoint, Fenniarail ja Operail, mutta useilla yksityisraiteiden haltijoilla on omaa vetokalustoa ja vaunuja junanmuodostusta sekä sisäistä liikennettä varten. Asiantuntija-arvion mukaan Suomen yksityisraiteilla toimii useita kymmeniä vaihtotyövetureita. (Yksityisraiteet ja ratamaksusääntely 2011, 6–7.)



## 3.2 Rautatieliikenne

### 3.2.1 Junaliikenne sekä henkilö- ja tavaraliikenne

#### Junaliikenne

Junaliikenteellä tarkoitetaan liikennemuotoa, jossa noudatetaan junaliikenteestä annettuja määräyksiä ja ohjeita. Yksikkö muuttuu junaksi heti, kun lähtövalmiusilmoitus on annettu. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 7.) Junaliikenteeseen luokitellaan henkilö- ja tavaraliikenne.

Junasta annetaan lähtövalmiusilmoitus liikenteenohjaukselle junan lähtöpaikalta ja paikalta, jossa junan kokoonpano tai kulkusuunta on muuttunut (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 14).

Ennen lähtövalmiusilmoituksen antamista kuljettajalla on oltava:

- tieto junatyypistä, josta selviää tieto siitä, onko kyseessä matkustaja- vai tavarajuna
- junan numero
- liikenteenohjauksen yhteystiedot,
- tieto lupapaikoista,
- tieto junan määräpaikasta,
- ennakoilmoitus tai vastaavat tiedot,
- matkustajajunassa tieto pysähtymisestä matkustajalaituriin
- tieto junan kokoonpanosta ja VAK-vaunujen sijainnista sekä ainetiedoista
- tieto junan jarrutuskyvystä

(Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 14.)

Ensisijaisesti junan tulee lähteä lähtöpaikalta suunnitellun lähtöajan mukaisesti. Lähtöpaikalta juna voi lähteä liikenteenohjauksen harkinnan mukaan enintään 30

minuuttia etuajassa liikennetilanteen sen salliessa. Vain matkustajajuna saa lähteä lähtöpaikalta yli 120 minuuttia myöhässä. Muille junille on haettava uusi kapasiteetti. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 12.)

## **Henkilö- ja tavaraliikenne**

Rautatieliikenne on ollut kautta aikain perinteinen sekä yhteiskunnalle tärkeä liikennemuoto. Suomen rautatieliikenteen matkamäärät ovat kasvaneet viimeisen 20 vuoden aikana, mutta kasvu ei suinkaan ole ollut joka vuotista. (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 26.) Tällä hetkellä Suomen rautateillä liikenne koostuu pääsääntöisesti henkilö- sekä tavaraliikenteestä. VR huolehtii matkustajaliikenteestä rautateillä sekä Helsingin seudun lähiliikenteestä. Tavaraliikenteestä puolestaan vastaa pääsääntöisesti VR Transpoint, mutta muita toimijoita on myös Fenniarail sekä Operail. (VR Transpoint n.d.)

Suomessa rautateiden pääsääntöinen tavaraliikenne koostuu metsä- ja metallikuljetuksista tehtailta satamiin sekä Venäjältä saapuvista transiokuljetuksista eli kauttakuljetuksista. Näiden lisäksi rautateitse kulkee paljon metalli- ja kemiantollisuuden raaka-ainekuljetuksia. Tavaraliikenteessä rautateillä on noin 25 prosentin markkinaosuus kaikista kuljetuksista. Rataverkon tavaraliikenne voidaan jakaa transiokuljetusten lisäksi kotimaan sisäiseen liikenteeseen, itäiseen yhdysliikenteen ja läntiseen yhdysliikenteeseen. (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 27.)

Vuonna 2017 Suomen rautateiden henkilöliikenne vapautui kilpailulle. VR:n yksinoikeudesta liikennöidä Suomen rataverkolla luovutaan ensi vuosikymmenellä, jolloin uusien toimijoiden tulo henkilöliikennemarkkinoille on mahdollista. Tällä tavoitellaan parempaa rautatieliikenteen palvelutasoa sekä asiakaslähtöisyyttä. Tällä edistetään myös kilpailua, joka johtaa toimintojen kehittämiseen ja alennetaan tavaraliikenteen kuljetuskustannuksia. (Rautateiden henkilöliikenteen kilpailu avautuu 2017.)

### 3.2.2 Vaihtotyö

Vaihtotyöllä tarkoitetaan liikennöintiä vaihtotyöstä annettujen määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Vaihtotyö on siis ratapihalla tai rautatielinjalla suoritettavaa junaliikenteestä erillään tapahtuvaa vaunujen siirtelyä ja järjestelyä. Vaihtotyötä on mahdollista tehdä joko veturin tai painovoiman avulla (laskumäki). Vaihtotyöksi luetellaan mm. kaluston siirto, vaunujen ryhmittelytyö tai junan muodostus sekä -hajotus, kaluston siirto seisontaraiteelle, jne. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 10–11.)

Valtion rataverkolla vaihtotyö on luvanvaraista toimintaa ja siihen tarvitaan aina liikenteenohjauksen lupa. Vaihtotyö pyritään tekemään saman liikennepaikan sisällä. Kun vaihtotyötä tehdään liikennepaikan sisällä, vaihtoliike saa korkeintaan ulottua *liikennepaikka päättyy* -merkille asti. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 20.)

Vaihtotyö voidaan suorittaa myös liikennepaikalta toiselle. Tämä on kuitenkin sallittua vain Väyläviraston hyväksymillä rautatieliikennepaikkaväleillä. Kuitenkin radanpitoon liittyvää vaihtotyötä voidaan tehdä myös muilla rautatieliikennepaikkaväleillä. Kun vaihtotyö suoritetaan liikennepaikalta toiselle, on matkustajien kuljetus kiellettyä, mutta se ei kuitenkaan koske rikkoutuneen matkustajajunan hinnoista. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt) 2019, 21–22.)

### 3.2.3 Ratatyö

Ratatyöllä tarkoitetaan rataverkolla tehtävää työtä, joka edellyttää ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella liikennöinnin keskeyttämisen tai estää turvalaitoksen toiminnan asetinlaite- tai kauko-ohjaustasolla. Ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella ratatyöhön tarvitaan liikenteenohjauksen lupa. Toisen luokan liikenteenohjauksen alueella tehtävä työ on ratatyötä silloin, kun ratatyövastaava suojaa ratatyöalueen liikennöinniltä. Toisen luokan liikenteenohjauksen alueella ratatyövastaava vastaa itsenäisesti ratatyöstä ja sen suojaamisesta. (Radanpidon turvallisuusohjeet 2020, 10.)

Ratatyöksi luetellaan esimerkiksi seuraavat työt, jotka

- vaikuttavat raiteen liikennöintiin ja estävät sen,
- vaikuttavat radan rakenteisiin ja laitteisiin estäen liikennöinnin,
- tehdään koneellisesti siten, että liikkuva kalusto, työkone tai sen osa on raiteen RSU:ssa edes hetkellisesti,
- jännitekatkojen edellyttämä työmaadoitusten asettaminen ja poistaminen,
- sisältävät radan merkkien asennusta, käyttöönottamista, paljastamista, peittämistä tai poistamista, jos kyseistä työtä, ei voi tehdä turvamiehen turvaamana

Käytännössä katsoen ratatyöksi luetellaan kaikki työ, joka estää alueella liikennöinnin kokonaan. (Radanpidon turvallisuusohjeet 2020, 54–55.)

Ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella ratatyö on lähtökohtaisesti aina suunniteltava ennakkoon ja suunnittelussa on ennakolta kiinnitettävä huomiota ratatyön turvallisuuteen sekä riskienhallintaan. Vastaavasti toisen luokan liikenteenohjauksen alueella ei tarvitse tehdä ennakkosuunnitelmaa eikä ratatyöilmoitusta. Toisen luokan liikenteenohjauksen alueella ratatyövastaava vastaa ratatyön suojaamisesta. (Radanpidon turvallisuusohjeet 2020, 54–56.)

## 4 RAUTATIEALAN KESKEISET TOIMIJAT JA LAINSÄÄDÄNTÖ

### 4.1 Rautatiealan keskeiset toimijat

Suomessa rautatiealalla vaikuttaa monta keskeistä toimijaa. Nämä vastaavat yhdessä junamatkustamisen sekä -kuljetusten sujumisesta. Tärkeimpiin toimijoihin kuuluu Väylävirasto, Finrail Oy sekä Traficom. Muihin keskeisiin toimijoihin kuuluu myös Suomen valtion omistama VR Group, joka vastaa matkustuksesta (VR), logistiikasta (VR Transpoint) sekä kunnossapidosta (VR Fleetcare). (VR Group 2020.) Kuvassa 3 on esitetty valtion rataverkon keskeiset toimijat sekä alle on kuvattu lyhyesti niiden keskeiset tehtävät rataverkon eri tehtävissä. Tämän opinäytetyön kannalta keskeisessä asemassa ovat Väylävirasto, Finrail sekä Traficom.



KUVA 3. Valtion rataverkon keskeiset toimijat ja niiden tehtävät (Väylä 2020)

#### 4.1.1 Väylävirasto

Väylävirasto (entinen Liikennevirasto) on Suomen valtion virasto, joka vastaa tieverkon, rautateiden sekä vesiväylien kehittämisestä sekä kunnossapidosta (Väylä 2020).

#### **4.1.2 Liikenne- ja viestintävirasto Traficom**

Traficom eli liikenne- ja viestintävirasto on Suomen valtion virasto. Se toimii liikenteen ja viestinnän lupa-, rekisteri- ja valvontaviranomaisena. Traficomin tehtäviin kuuluu myös edistää liikennejärjestelmän toimivuutta sekä vauhdittaa digiyhteiskunnan kehittymistä. Traficom tukee kestävästä kehitystä ja huolehtii, että Suomessa on käytettävissä laadukkaat, turvalliset ja kohtuuhintaiset viestintäyhteydet ja -palvelut. (Traficom 2020.)

#### **4.1.3 Finrail Oy**

Finrail on osa Traffic Management Finland Oy:ta, joka on Suomen valtion omistama erityistehtäväkonserni. TMF:n tehtävä on tarjota ja kehittää liikenteenohjauksen ja -hallinnan palveluita kaikissa liikennemuodoissa sekä varmistaa liikenteen turvallisuus ja sujuvuus vastuullisesti. Finrailin lisäksi Traffic Management Finlandiin kuuluu Intelligent Traffic Management Finland (teliikenteen ohjauksesta ja hallinnasta), Vessel Traffic Services Finland (meriliikenteen ohjaus) sekä Air Navigation Services Finland (lennonvarmistus). (Traffic Management Finland 2020.)

Finrailin tarjoaa rautatieliikenteen ohjaus- ja hallintapalveluita. Sen palveluihin kuuluu rautateiden liikenteenohjaus, liikennesuunnittelu ratatyön ja liikenteen yhteen sovittamiseksi, kapasiteettihallinta, käyttökeskustoiminta sekä junamatkustukseen liittyvät matkustajainformaatiopalvelut. (Traffic Management Finland 2020.)

## 4.2 Rautatieliikenteen säädökset

### 4.2.1 Suomen lainsäädäntö

Suomessa keskeisiin lainsäädäntöihin kuuluu ratalaki (110/2007), rautatielaki (304/2011) sekä raideliikennelaki (1302/2018). Näistä sekä ratalaki että rautatielaki ovat tällä hetkellä uudistuksen alla. (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 18.)

Ratalain (110/2007) tarkoituksena on ylläpitää sekä kehittää rautateiden henkilö- ja tavaraliikenteen vaatimia toimivia, turvallisia ja kestävästä kehitystä edistäviä rautatieyhteyksiä, jotka ovat osana liikennejärjestelmää. Lain tarkoituksena on myös turvata rautateiden ylläpitäminen, kehittäminen ja rakentaminen Suomen eri osia yhdistävänä liikennemuotona. Lisäksi se turvaa osallistumismahdollisuudet rautatieliikennetarkaisuja koskevaan suunnitteluun toteuttamalla ja edistämällä hyvää hallintoa ja oikeusturvaa rataverkkoa koskevissa asioissa. (Ratalaki 2.2.2007/110.)

Rautatielain (304/2011) tarkoituksena on edistää rautatieliikennettä, rautatiejärjestelmän turvallisuutta ja yhteentoimivuutta sekä rataverkon tehokasta käyttöä. Lain tavoitteena on myös luoda tasapuoliset ja syrjimättömät edellytykset rautatiemarkkinoinnin toiminnalle. Rautatielakia sovelletaan Suomen rautatiejärjestelmään, ratatyöhön, liikennöintiin rataverkolla sekä sillä käytettäviin kalustoyksiköihin. (Rautatielaki 304/2011.)

Muita rautateillä sovellettavia lakeja ovat mm. rautatiekuljetuslaki (15.12.2000/1119), rikoslaki (19.12.1889/39), turvallisuustutkintalaki (20.5.2011/525), laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (2.8.1994/719), laki liikenteen palveluista (24.5.2017/320), raideliikennelaki (28.12.2018/1302) sekä raideliikennevastuulaki (5.2.1999/133).

## 4.2.2 Euroopan unionin lainsäädäntö

Suomessa rautatieliikennettä ja sen kehitystä ohjaa Euroopan unioni, jonka rautatieliikennepolitiikan päämääränä on yhtenäisen eurooppalaisen rautatiealueen luominen. Alan avaaminen on avattu kilpailulle vuonna 2001 ja tämän jälkeen siitä on annettu kymmenessä vuodessa kolme lainsäädäntöpakettia ja yksi uudelleen laadittu säädös. Neljäs lainsäädäntöpaketti on hyväksytty huhtikuussa 2016 (tekninen osio) ja joulukuussa 2016 (markkinoita koskeva osio). Tämän lainsäädäntöpakettin tarkoituksena on saattaa valmiiksi yhtenäinen eurooppalainen rautatiealue. (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 15.)

Ensimmäisen rautatiepakettiin sisältyvät säädökset muodostavat keskeisen lainsäädäntökokonaisuuden, jolla EU:n rautatieliikennepolitiikan mukaisesti muodostettiin lainsäädännölliset puitteet rautatiekuljetusliiketoiminnan organisatorisen ja hallinnollisten kysymysten järjestämiseksi. Tähän pakettiin kuuluvat direktiivit 2001/12/EY (rautateiden kehittämisdirektiivin muutosdirektiivi), 2001/13/EY (toimilupadirektiivi) sekä 2001/14/EY (kapasiteetti- ja ratamaksudirektiivi.) (Mäkitalo, Paasikivi & Mäkilä 2004, 12.)

Toinen rautatiepaketti koostuu komission tiedonannosta ja neljästä lainsäädäntöehdotuksesta. Näiden keskeinen sisältö koskee rautateiden tavaraliikenteen kansallisen kilpailun avaamista (2004/51/EY), Euroopan rautatieviraston perustamisesta, rautateiden eurooppalaisen turvallisuussäädösten muodostamista sekä yhteentoimivuussäätelyn kehittämistä (2004/49/EY sekä 2004/50/EY). (Mäkitalo, Paasikivi & Mäkilä 2004, 13.)

Kolmas Euroopan komission rautatiepaketti koskee erilaisia lainsäädäntöehdotuksia. Näihin kuuluvat rautateiden tavaraliikenteen korvausvastuu ja laatuvaatimukset (2007/58/EY), veturinkuljettajien koulutus- ja pätevyysvaatimukset (2007/59/EY) sekä EU-alueen sisäisen henkilöliikenteen kilpailun avaaminen. (Mäkitalo, Paasikivi & Mäkilä 2004, 14.)



## 5 AUTONOMISEN LIIKENTEEN VAATIMUKSET

Autonominen liikkuminen ja liikenne on yleistymässä kovaa vauhtia; Volvo ja Uber ovat vuonna 2019 ottanut käyttöön yhteistyössä kehittämänsä ensimmäisen robottiauton, joka kykenee täysin itsenäiseen ajamiseen. Sandvik on tuonut maailmaan vuotta aikaisemmin ensimmäisen kaivoksiin suunnitellun autonomisen lastauskoneen. Maailmalla ajetaan tällä hetkellä metroja täysin ilman kuljettajaa esimerkiksi Barcelonassa, Unkarissa ja Ranskassa. (Järveläinen 2019; Sandvik n.d.; Zasiadko 2019.)

Autonominen juna ei ole maailmalla täysin uusi hanke. Australiassa kaivosyhtiö Rio Tinto on heinäkuussa 2018 tehnyt ensimmäisen tavarakuljetuksen autonomisella junalla, joka operoi ilman kuljettajaa. Kyseessä on yli 820 miljoonaa euroa maksanut tavarajuna, joka liikennöi Pilbaran alueella Länsi-Australiassa. Operoitavaa rataverkkoa on tällä hetkellä yli 1500 kilometriä ja siellä kuljetetaan pääosin rautamalmia. Rio Tinton autonomisessa junassa hyödynnetään yhdessä uutta eurooppalaista junakulunvalvontajärjestelmää sekä junien automaattista ope-  
rintia. (Briginshaw 2018; Rio Tinto 2020.)

Venäjällä on myös aloitettu automaattisen junan koeajot vuonna 2019. Koeajo on toteutettu Lastochka-junalla (Intercity-juna), joka on varustettu junan automaattisella ajolla. Kyseistä junaa operoidaan automaattisesti junan ohjaamosta tai ohjauskeskuksesta liikenteenohjauksen toimesta. Venäjä haluaa automaattisen ajon avulla lisätä kuljetusten turvallisuutta ja luotettavuutta. Juna havainnoi ympäristöä ultraääniantureilla sekä videokameroilla. Tällä hetkellä Venäjällä automaattisia junia suunnitellaan käytettäväksi vaihtotöissä. (Zasiadko 2019.)

Nykyisellään ei ole olemassa yhtä toimivaa ja hyväksi havaittua tapaa autonomisen liikkumisen toteuttamiseen vaan eri toimijat ja valmistajat tutkivat sekä testaavat eri tekniikoita sekä niiden yhdistelmiä. Autonominen ajaminen ei itsessään tuo sinänsä suurta etua, mutta sillä voidaan alentaa rautateille aiheutuvia kustannuksia sekä helpottaa hankalasti ratapihoilla tehtäviä töitä. Tässä nousee pintaan vaihtotyö, joka on oleellista saada automatisoitua.

Autonomisen junan tapauksessa ollaan vielä alkutekijöissä ja suuret toimijat, esimerkiksi Bombardier ja Thales, ovat selvitysvaiheessa autonomisen junan vaatiman tekniikan kanssa, joten tulevaisuudessa tullaan näkemään eri toteutustapoja sekä näiden yhdistelmiä. Isona kysymyksenä tulee myös olemaan tulevan junan liikenteenohjausjärjestelmä, miten se rakentuu ja miten se voidaan mahdollisesti sovittaa yhteen nykyisen järjestelmän kanssa.

Suomessa autonomisen junan kehityksessä on huomioitava tulevaisuudessa uusittava junakulunvalvontajärjestelmä, joka on pidettävä suunnittelussa mukana. Yhteiseurooppalainen junakulunvalvontajärjestelmä on tavoitteena saada toimintaan Suomen rautateillä seuraavan vuosikymmenen aikana. Lisäksi Suomessa on erittäin tiukat määräykset rautatieliikenteen toiminnanharjoittajalle, jotka tuovat oman haasteensa junan saattamiseksi raiteille.

## 5.1 Julkinen rataverkko

Suomessa on valtion rataverkolla liikennöinti ja sinne pääsy on luvanvaraista ja tarkoin säädettyä toimintaa. Samat vaatimukset pätevät sekä tavara- ja henkilöliikenteelle. Toistaiseksi henkilöliikennettä hoitaa vain VR, mutta se on vapautumassa kilpailutukselle kesäkuuhun 2026 mennessä. Valtion rataverkolle pääsyn edellytykset on kuvattu raideliikennelaissa. Valtion rataverkolla pitää noudattaa lainsäädännön lisäksi Traficomien sekä rataverkon haltijan määräyksiä ja ohjeita. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 20.) Ohessa on lueteltu vaatimukset, jotta liikennöinti julkisella rataverkolla on mahdollista:

- JKV-/ERTMS/ETCS-veturilaite
- Rautatieyrityksen toimilupa
- Turvallisuusasiakirja/-lupa
- Myönnetty ratakapasiteettia
- Vastuuvakuutus
- Käyttösopimus Väyläviraston tai rataverkon haltijan kanssa
- Kaluston käyttöönottolupa (rekisteröintivaraus sekä ensirekisteröinti)
- Henkilöstön koulutus ja pätevyyden varmistaminen

Tärkein radalle pääsyn edellytys on, että kalustossa on toimiva junakulunvalvonnan veturilaite (JKV-veturilaite, tulevaisuudessa ERTMS/ETCS-veturilaite). Poikkeuksena radalla saa liikennöidä ilman junakulunvalvonnan veturilaitetta Traficommin myöntämällä erikoisluvalla. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 20.)

Rautatieyrityksellä tulee olla raideliikennelain mukainen rautatieyrityksen toimilupa sekä turvallisuusasiakirja. Suomessa toimiluvan myöntää Traficom, mutta vastaava Euroopan talousalueella myönnetty toimilupa kelpaa myös. Turvallisuusasiakirjalla halutaan varmistaa, että rautatieyritys täyttää toiminnallaan asetetut turvallisuusvaatimukset ja että toiminnan harjoittajalla on edellytykset toimia turvallisesti rataverkolla. Turvallisuuslupa haetaan myös Traficomilta ja se myönnetään viideksi vuodeksi kerrallaan, jonka jälkeen on haettava uutta lupaa. Toiminnan harjoittajalla on oltava myös riittävä vastuuvakuutus, joka on voimassa. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 21–22.)

Suomessa rautatieliikenteen harjoittajan tulee hakea ratakapasiteettia kullekin aikataulukaudelle Väylävirastolta ja tämä tulee olla myönnettynä aiottua liikennettä varten. Lisäksi yrityksen pitää tehdä käyttösopimus rataverkosta Väyläviraston kanssa. Käyttösopimuksia on olemassa useanlaisia, esimerkiksi rataverkon käyttösopimus, yksittäisen liikennepaikan käyttösopimus, ratapihasopimus sekä radan kunnossapitoyritysten välinen käyttösopimus. Luonnollisesti myös raideliikennelain ja sen nojalla säädetyt tai määrätyt rautatieliikenteen harjoittamisen edellytykset tulee täytyä. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 21.)

Toiminnan harjoittajan on haettava kalustonsa käyttöön ottamiseen käyttöönottolupaa. Tämä vaaditaan kaikilta valtion rataverkolla käytettäviltä kalustoilta. Käyttöönottolupa haetaan Traficomilta ja se voidaan myöntää sellaiselle liikkuvalle, joka täyttää Suomessa voimassa olevan lainsäädännön asettamat vaatimukset, jotka perustuvat Euroopan unionin oikeuden mukaisiin rautatiejärjestelmän yhteentoimivuusvaatimuksiin. Traficom antaa näihin tarvittaessa täydentäviä sekä tarkentavia vaatimuksia. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 25–26.)

Käyttöönottoluvan saaneista kalustosta pidetään yllä liikkuvan kaluston rekisteriä Traficommin toimesta, johon kalusto rekisteröidään. Rekisterin avulla halutaan valvoa liikkuvan kaluston kelpoisuutta rataverkolla sekä liikenneturvallisuutta. Mikäli

valtion rataverkolla käytettävä kalusto on saanut käyttöönottoluvan muualla Euroopan talousalueella tai sen ulkopuolisessa valtiossa, merkitään ne myös rekisteriin. Lisäksi yksityisraiteilla käytettävä liikkuva kalusto merkitään rekisteriin. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 25–26.)

Rautatieyritysten sekä rautatieverkon haltijoiden on erittäin tärkeää pitää huolta koulutus- ja pätevyystasosta turvallisuuden kannalta olennaisia tehtäviä hoitavan henkilöstön osalta. Väylävirasto omistaa valtion rataverkon ja näin ollen sen tehtäviin kuuluu vastata siitä, että se asettaa osaamis- ja pätevyysvaatimukset. Tämä koskee rataverkolla rataverkon haltijan toimeksiannosta ja rataverkon haltijan yhteistyöhankkeissa työskenteleviä henkilöitä. Lisäksi Väyläviraston tulee varmistaa, että henkilöt saavat riittävän koulutuksen. Työturvallisuuslain 738/2002 11 § edellyttää myös, että työnantaja varmistuu henkilöstönsä riittävästä pätevydestä erityistä vaaraa aiheuttavissa töissä. Näihin kuuluu erilaiset rautateilla ja rataverkolla tapahtuvat työt. (Rautateiden verkkoselostus 2021 2019, 27.)

## 5.2 Yksityinen rataverkko

Yksityisraiteet ovat tärkeä osa Suomen raitainfrastruktuuria; valtaosa valtion rataverkolla tapahtuvista kuljetuksista alkaa tai päättyy yksityisraiteille (Rataverkon kokonaiskuva 2018, 72). Yksityisraiteita koskevat vaatimukset eivät ole yhtä tiukkoja kuin julkisella rataverkolla, mutta siellä toimiakseen on myös täytettävä tietyt vaatimuksia. Yksityisen rataverkon vaatimukset liikennöintiin ovat seuraavat:

- Ilmoitusmenettely
- Turvallisuudenhallinta järjestelmä
- Kaluston käyttöönottolupa, mikäli sillä liikutaan julkisella rataverkolla (rekisteröintivaraus sekä ensirekisteröinti)
- Jos on uusi rata, haettava erikseen käyttöönottolupaa
- Väyläviraston tai rataverkon haltijan kanssa on tehtävä sopimus

Yksityisraiteiden haltijan on noudatettava ilmoitusmenettelyä, joka tehdään kirjallisesti Traficomille joka kolmas vuosi. Tämä korvaa valtion rataverkolla tehtävän

turvallisuuslupahakemuksen. Olennainen osa ilmoitusmenetelmää on turvallisuuden hallintajärjestelmä. Tällä varmistetaan yksityisraiteen turvallinen käyttö sekä hallinnointi. Traficomille tehtävästä ilmoituksesta tulee käydä ilmi rautatieliikenteen harjoittajan nimi ja yhteystiedot, turvallisuuden hallintajärjestelmän dokumentaatio sekä vakuutukset vaatimuksen täyttymisestä. (Traficom 2020.)

Turvallisuuden hallintajärjestelmällä tarkoitetaan rautatieliikenteen harjoittajan tai rataverkon haltijan organisaatiota sekä järjestelyitä, joilla halutaan varmistaa sen toimijoiden turvallinen hallinnointi. Kyseessä on siis suurempi kokonaisuus, jota käytetään turvallisuuden hallinnan työkaluna. (Traficom 2020.)

Turvallisuuden hallintajärjestelmä on laaja dokumentti, josta tulee käydä ilmi toiminnanharjoittajan tai rataverkon haltijan toiminnan laatu sekä laajuus ja organisaatio ja tämän välinen vastuunjako. Dokumentaation tulee sisältää kuvaus rataverkon käytettävyydestä sekä erillinen suunnitelma kalustoyksikön kunnossapidosta. Siirtotyö sekä liikennöinti on myös kuvattava erikseen hallintajärjestelmässä. Oleellinen osa järjestelmää ovat myös omavalvontasuunnitelma sekä riskien hallinta. (Traficom 2020.)

Myös yksityisraiteille tuleva kalusto tarvitsee saman käyttöönottoluvan kuin julkisella rataverkolla mikäli sillä aiotaan liikkua myös julkisella rataverkon puolella. Tällöin tulee huomioida, ettei kalustoa voi siirtää edes huoltoon rautatieyhteyksiä käyttäen, mikäli käyttöönottolupaa ei ole. Lisäksi uusille raiteille on haettava erikseen käyttöönottolupa. Mikäli uuden yksityisraiteen yhteydessä rakennetaan raitetta, joka tulee osaksi valtion rataverkkoa, tulee tämän raiteen laitteiden sekä materiaalien olla erikseen Väyläviraston hyväksymiä. (Traficom 2019; Traficom 2020; Rataverkon kokonaiskuva 2018, 72.)

Yksityisen rataverkon haltijan on tehtävä sopimus Väyläviraston tai rataverkonhaltijoiden (esimerkiksi satamat ja teollisuuslaitokset) kanssa. Kun yksityinen rataverkko liittyy valtion rataverkkoon, on sovittava Väyläviraston sekä rataverkon haltijan kanssa rataverkkojen välisestä liikennöinnistä, liikenteenohjauksesta, rataverkkojen rajakohdasta, sen omistuksesta ja kunnossapidosta sekä rataverkon haltijoiden välisestä yhteistyöstä. (Traficom 2020.)

## 6 ERTMS/ETCS-JÄRJESTELMÄ

### 6.1 ERTMS/ETCS-järjestelmän perusteet

Suomessa junien kulkua valvotaan junakulunvalvontajärjestelmän eli JKV:n avulla. Se on kuitenkin lähestymässä elinkaarensa loppua 2020-luvulla ja tilalle tuleva uusi kulunvalvontajärjestelmä tulee olemaan yleiseurooppalainen ERTMS/ETCS-järjestelmä. Sen päämääränä on edistää rajat ylittävää liikennöintiä, joka on yhteinen tavoite kaikille EU-maille. ERTMS/ETCS on liikennepoliittinen hanke, jota ajetaan usein direktiivein ja asetuksin. (Mantsinen, Sunnari & Tiilikainen 2018, 12.)

ERTMS (European Rail Traffic Management System, eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä) on eurooppalaisen teollisuuden toteuttama merkittävä projekti junaliikenteen turvallisuuden ja kilpailukyvyn kehittämiseksi. ERTMS:n liittyy oleellisena osana myös eurooppalainen junakulunvalvontajärjestelmä ETCS (European Train Control System), joka on yhteentoimiva eurooppalainen standardijärjestelmä, joka aikanaan korvaa olemassa olevat kansalliset järjestelmät. Suomessa tämä tarkoittaa junien kulunvalvonnan JKV:n korvaantumista. ERTMS:n tarkoituksena on yhdenmukaistaa Euroopan unionin rautatiejärjestelmää. Tämä tapahtuu standardisoimalla rata- ja veturilaitteiden yhteentoimivuuden teknisten eritelmien (YTE) mukaisesti ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmät sekä kommunikaatiojärjestelmät. Tällä edesautetaan rajat ylittävää liikennöintiä. (Härkönen, Julku, Myyrä, Nieminen, Ristolainen & Sunnari 2016, 3; Mantsinen, Sunnari & Tiilikainen 2018, 14.)

ERTMS/ETCS jaetaan kolmeen eri toimintatasoon, jotka kuvaavat järjestelmän ominaisuuksia. Tasolla 1 radan tiedot veturilaitteelle välitetään pistemäisesti eurobaliisien avulla ja radalla on käytössä myös näkyvät opastimet. Tasoilla 2 ja 3 käytetään GSM-R-verkkoa (Global System for Mobile communications – Railway) sekä eurobaliiseja. Näiden avulla tieto kuljettajalle menee veturin ohjaamoon asennetun kuljettajan päätelaitteen kautta näkyvien opastimien sijaan. Opastimet voidaan kuitenkin säilyttää häiriötilanteiden varalta. Tasojen valinta

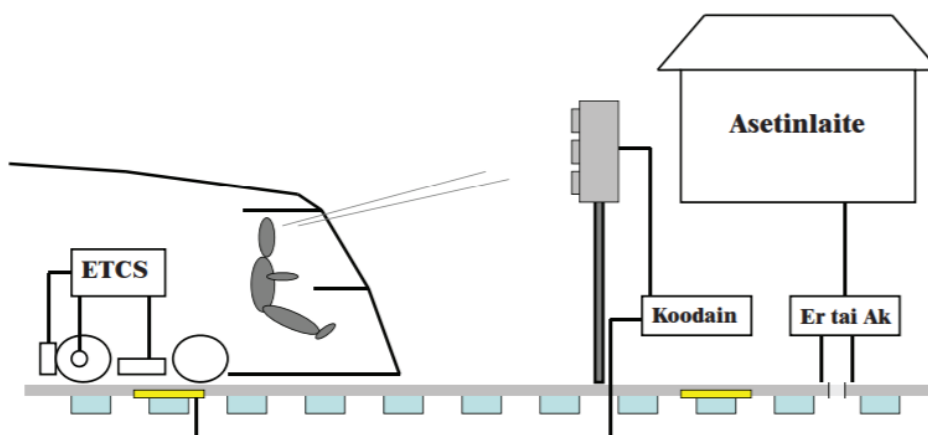
määräyty käytettävän radanvarsilaitteiston mukaan. (Mantsinen, Sunnari & Tiilikainen 2018, 17.)

### ERTMS/ETCS-taso 1

ERTMS/ETCS-taso 1 vastaa nykyistä JKV-järjestelmää. Siinä tieto radanvarren laitteiston ja junan välillä välitetään kuljettajalle pistemäisesti baliisien avulla. Taso 1 vaatii näkyvät opastimet sekä akselinlaskijat (Ak) tai raidevirtapiirit (Er) ilmaisemaan raiteen vapaana olon. (Mantsinen, Sunnari & Tiilikainen 2018, 17.)

Akselinlaskijoita sekä raidevirtapiirejä käytetään raideosuuksien vapaanaolon valvontaa. Akselinlaskija tunnistaa kahden havainnointipään avulla ohikulkevan junan pyörökertojen aiheuttaman magneettikentän muutoksen sekä junan liikesuunnan. Raidevirtapiirin toiminta perustuu taas releen vetämiseen; osuuden ollessa vapaa rele on kiinni ja vastaavasti varattuna rele päästää. (Härkönen, Järvinen, Katajala, Koro, Lehikoinen, Matikainen, Sorsimo, Tuomi & Viitanen 2018, 95-99.)

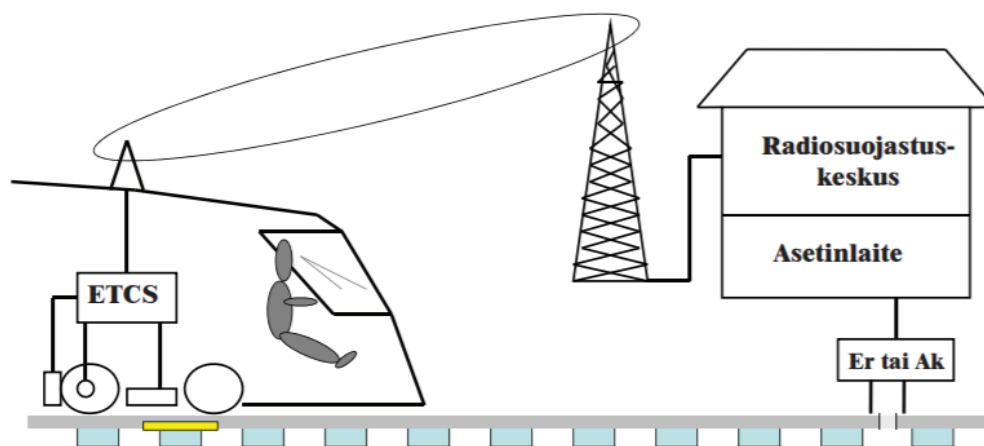
Kuvassa 4 on esitetty ERTMS/ETCS-tason 1 toimintaperiaate. Näkyvä opastin antaa kuljettajalle tiedon varmistetusta kulkutiestä eli ERTMS/ETCS:n ajoluvista ja asetinlaite varmistaa kulkutiet liikenteenohjauksen toimesta. Varmistuneesta kulkutiestä välittyy tieto radanvarren koodaimen (Lineside Electronic Unit, LEU) avulla ohjattavien eurobaliisien kautta veturilaitteille. (Järvinen 2012, 13.)



KUVA 4. ERTMS/ETCS-tason 1 toimintaperiaate (Järvinen 2012, 13)

## ERTMS/ETCS-taso 2

ERTMS/ETCS-tasolla 2 asetinlaite varmistaa kulkutiet ja ajolupa tulee radiosuojastuskeskuksen (Radio Block Center, RBC) kautta GSM-R-verkossa veturilaitteelle ja kuljettajalle (kuva 5). Tasolla 2 ei käytetä enää fyysisiä ratalaitteita, mutta junan sijainnin ilmaisemiseen käytetään raidevirtapiirejä tai akselinlaskijoita sekä eurobaliisien kautta junan sijainti varmistetaan referenssipisteinä. Tällä tasolla hyödynnetään jatkuvaa kulunvalvontaa GSM-R-verkon kautta. (Järvinen 2012, 13.)

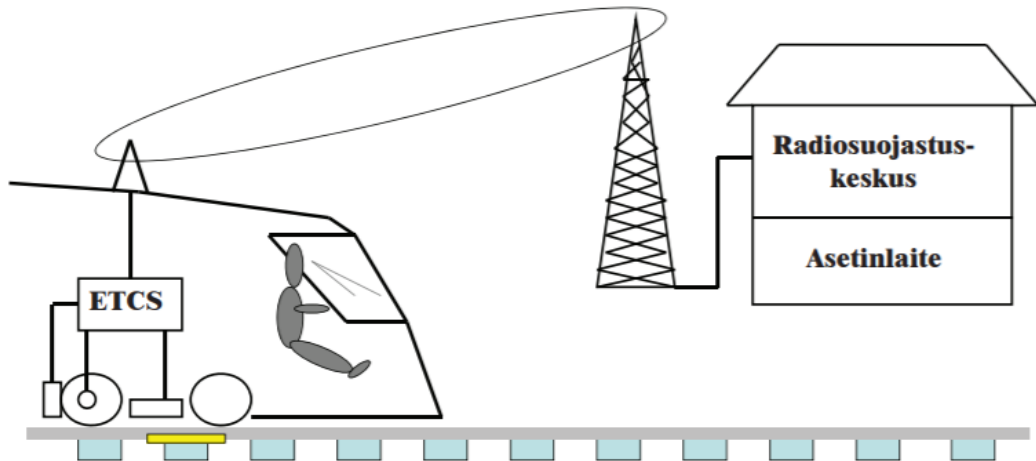


KUVA 5. ERTMS/ETCS-tason 2 toimintaperiaate (Järvinen 2012, 14)

## ERTMS/ETCS-taso 3

ERTMS/ETCS-tasolla 3 sijaintia ei määritetä enää radanvarsilaitteiden avulla vaan junan sijainti määritetään GSM-R-verkon kautta (kuva 6). Tasolla 3 ei siis käytetä enää ollenkaan fyysisiä ratalaitteita. (Mantsinen, Sunnari & Tiilikainen 2018, 19.) ERTMS/ETCS-tasolla 3 on mahdollista käyttää ns. liikkuvaa suojaväliä. Tässä peräkkäiset yksiköt voivat ajaa niin lähekkäin, että kulunvalvonnan valvoma etäisyys on käytännössä junan sen hetkisen nopeuden ja ominaisuuksien mukaan laskettu jarrutusmatka turvamarginaalilla lisätynä. (Järvinen 2012, 14.)





KUVA 6. ERTMS/ETCS-tason 3 toimintaperiaate (Järvinen 2012, 14)

### Junien automaattinen ajo eli ATO (Automatic Train Operation)

ERTMS/ETCS-tasoon 3 liittyy myös vahvasti omana järjestelmänä junien automaattijäjo ATO (Automatic Train Operation). Esimerkkejä päivittäin käytössä olevista autonomisen junan sovelluksista ovat metrot. Metroissa käytetään junien automaattista ajoa, joka voidaan toteuttaa osittaisena tai täysautomaattisena. Automaattijäjo jaetaan neljään eri tasoon (GoA, Grade of Automation) seuraavasti:

1. GoA1: Kuljettaja ohjaa junaa ja JKV tai ERTMS/ETCS valvoo turvallisuutta
2. GoA2: Automaattinen ajo, kuljettaja mukana
3. GoA3: Kuljettaja on mukana vain häiriötilanteiden varalta (DTP, Driverless Train Operation)
4. GoA4: Junassa ei ole lainkaan kuljettajaa (UTO, Unmanned Train Operation)

Automaattiotasot on määritelty standardissa EN 62290-1:2006. (Mantsinen, Sunnari & Tiilikainen 2018, 37.)

Helsingin metroa operoidaan esimerkiksi GoA-tasolla 2.

## 6.2 ERTMS/ETCS:n hyödyntäminen autonomisessa junassa

ERTMS sisältää kaksi pääkomponenttia: ETCS ja rautateiden langattoman matkaviestijärjestelmän (GSM-R). Toistaiseksi Suomessa ei ole käytössä ERTMS/ETCS-järjestelmää ja tällä hetkellä eri tasojen käyttöä sekä niihin siirtymistä Suomessa kartoitetaan. Suomessa on myös käytössä viranomaisverkko (VIRVE), jolla on korvattu muualla Euroopassa käytössä olevan GSM-R-järjestelmä. Viranomaisverkolla tuotetaan korotetut turvallisuus- ja varautumistason radioviestintäpalveluja viranomaisten ja luvan saaneiden yhteiskunnan kriittisen infrastruktuurin toimijoiden yhteiskäyttöön. (Artukka, Brotherus, Lehtola, Pylvänäinen, Nieminen, Sandelin & Wallin 2020, 18–19.) Seuraavia ERTMS/ETCS-järjestelmän elementtejä on mahdollista hyödyntää autonomisen junan kehityksessä:

- Tiedonsiirto
- ERTMS/ETCS-taso
- ATO
- Paikannus

### Tiedonsiirto

Pian on valmistumassa laajakaistaisen internetyhteyden käyttöön suunniteltu langattomaan tiedonsiirtotekniikkaan (Long Term Evolution, LTE) perustuva seuraavan sukupolven radioverkkojärjestelmä (Future Radio Mobile Communication System, FRMCS). Kun tämä on saatavissa, Suomi siirtyy käyttämään sitä. FRMCS tulee todennäköisesti perustumaan teknisesti 5G-standardille ja on päivitettävissä edelleen 6G-standardiin. FRMCS perustuu Internet Protocol -käyttöön (IP). Suomessa FRMCS-verkkoon siirtyminen on erilainen, koska Suomella ei ole käytössä GSM-R-verkkoa. Lisäksi oman haastavuutensa GSM-R-verkkoon siirtymisessä tuo sen teknisen tuen loppuminen vuoteen 2035 mennessä. Tämä johtaa siihen, että siirtymä suoraan FRMCS-verkkoon on järkevämpää ja helpompaa. Lisäksi Suomi voi siirtyä käyttämään suoraan uutta teknologiaa ensimmäisten joukossa. (Artukka, ym. 18–19.)

## **ERTMS/ETCS-taso**

Tämänhetkisen tiedon valossa Suomessa ei aiota hyödyntää ERTMS/ETCS-tasoa 1, koska kyseessä on vanhentuva järjestelmä sekä se muistuttaa paljon nykyistä JKV-järjestelmää. Lisäksi on jo avattu keskusteluja siitä, että sen kehitystä ei jatketa enää. ERTMS/ETCS-tasolla 2 kulunvalvonnan periaate taas muuttuu jatkuvatoimiseksi ja kulkuluvat junille toimitetaan radioverkon kautta, jolloin kulkulupien toimittamiseen tarvitaan turvalaitejärjestelmän ja junan välille radiokommunikaation mahdollistava radiosuojastuskeskus. Tason 2 etuna pidetään sitä, että siinä ei tarvita opastimia, mikä laskee kustannuksia. Olemassa olevat opastimet voidaan kuitenkin pitää radalla mahdollisia häiriötilanteita sekä huoltotöitä varten. ERTMS/ETCS-tason 2 teknologia perustuu tällä hetkellä vanhentuvan teknologian GSM-R-verkkoon, joka ei ole Suomessa enää käytössä. Radioteknologia kehittyy kuitenkin nopeasti ja uutta radioverkkostandardia valmistellaan parhaillaan. Uutta raideliikenteeseen suunnattua radioverkon FRMCS-standardia joudutaan kuitenkin odottamaan vielä vuosia. Pääsääntöisesti Euroopassa tapahtuvat ERTMS/ETCS-hankinnat ovat painottuneet tasolle 2. (Artukka, ym. 2020, 20–21.)

## **ATO:n hyödyntäminen**

Metrojen lisäksi rautateillä hyödynnetään GoA-tasoja. Suomessa on tällä hetkellä taso 1 eli kuljettaja ohjaa junaa ja JKV tai ERTMS/ETCS valvoo turvallisuutta. Ilman veturinkuljettajaa toimivat ATO-ratkaisut ovat yleistyneet jo varsin laajasti kaupunkiraideliikenteessä. Toistaiseksi yksinään GoA-tasoja ei voi hyödyntää samalla tavalla rautateillä kuin metroilla ja kaupunkiraideliikenteellä erilaisten rautatieympäristöjen takia. Rautatieympäristön moninaisuus ja liikennöintitarpeiden erilaisuus tekevät ATO:n kehittämistä vaativaa. Junien automaattinen ajo ottaa kuitenkin askeleita eteenpäin, kun rataverkon ja vetokaluston yhteentoimivuuden edellytykset paranevat ERTMS:n myötä. (Mantsinen, ym. 2017, 37; Artukka, ym. 2020, 26.)

Tällä hetkellä autonomisten junien kulunvalvonnan sekä ohjauksen osalta on suosittu tulevaa ETCS-järjestelmän sekä ATO:n yhdistelmää, jota käytetään esimerkiksi Rio Tintossa. Siellä käytetään ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmää sekä ATO:n yhdistelmää GoA-tasolla 4. Tässä tapauksessa siis junan ATO:lla on rajapinta ERTMS/ETCS-järjestelmään, joka suojaa junan kulkua raiteilla ATO:n ajaessa junaa automaattisesti. (Briginsshaw, D. 2018; EEIG ERTMS users' group n.d.) Vahvemmin ATO kuitenkin liittyy ERTMS/ETCS-tason 3 käyttöön. ATO itsessään ei ole turvallisuuskriittinen järjestelmä, vaan turvallisuuden kannalta kriittiset toiminnot määritellään muissa järjestelmissä kuten ERTMS/ETCS:ssä, joten ATO-ratkaisut eivät mahdollista junien liikkumista itsenäisesti ilman sitä tukevaa junien kulunvalvontajärjestelmää. ATO:n rajapinta ERTMS/ETCS-järjestelmään on vielä avoinna, eikä täyttä integraatiota vaadita. (Mantsinen, ym. 2017, 37.)

Euroopassa on parhaillaan menossa Shift2Rail-hanke, joka pyrkii tuomaan GoA-tason 4 myös rautatiejärjestelmille. Hankkeen ATO on suunniteltu ERTMS:lle, joka on junien suojaamisen eurooppalainen standardi. Ensimmäisessä kehitysvaiheessa Shift2Rail keskittyy saamaan ATO:n käyttöön päälinjoilla GoA-tasolle 2 saakka, jolloin kuljettaja valvoo järjestelmää ja avaa/sulkee ovet, kun juna ajaa ja pysähtyy automaattisesti. Hanke on esitellyt vuonna 2019 ensimmäisen ERTMS:ää ja GoA-tasoa 2 hyödyntävän junan, joka liikennöi Alankomaissa. (Shift2Rail 2020.)

Hanke keskittyy kehittämään ERTMS:n ja GoA-tason 4 täysin automatisoitua ja miehittämätöntä yhdistelmää. Tässä tapauksessa esille nousee viestintäjärjestelmä, joka mahdollistaa täysin valvomattoman junan automaation. Shift2Rail-hankkeessa ollaan siirtymässä pois GSM-R-verkon käytöstä ja sen tilalla tullaan käyttämään LTE-, 5G-, Wi-Fi-, satelliitti- tai julkisia verkkoja, jotta voidaan tarjota ääni- ja datayhteys radan sekä junan välille. ATO:n on yksi keskeisistä osista muuttuvassa junakulunvalvontajärjestelmässä. Sen avulla on mahdollista kasvattaa kapasiteettia, vähentää energiankulutusta ja kustannuksia samalla, kun se tarjoaa suuremman joustavuuden ja paremman täsmällisyyden. (Shift2Rail 2020.)

## Paikannus

Suuri kysymys autonomisen junan kohdalla tulee olemaan paikannus. Tällä hetkellä olemassa olevien autonomisten junien paikannukseen käytettävästä teknologiasta ei ole tietoa. Nykyisin rautateillä olevien junien sijaintitieto voidaan päätellä akselinlaskijoiden ja raide-eristysten varautumistietojen perusteella. Junan paikannusta pystytään hoitamaan eri sensoreiden, prosessorien sekä algoritmien avulla. Tulevaisuudessa tekoäly (AI, Artificial Intelligence) tulee paikannuksen tapauksessa esille. Autonominen juna tulee aluksi yksityisraiteille, joka on suljettu alue, joten junan sijainti on helppo saada tietää. (Mantsinen, ym. 2017, 29.)

Vahvasti ERTMS/ETCS-kehitykseen liittyy satelliittipaikannus. Yksityisraiteilla paikannus on helppo hoitaa junaan tulevan tekniikan avulla, mutta raideliikenteen sekaan mentäessä se ei välttämättä enää riitä. Satelliittipaikannusta pidetään yhtenä mahdollisuutena määrittää junan sijainti ja eheys. Nykyisen ERTMS-määrittelyn mukaan ERTMS/ETCS-tasolla 3 junan paikantaminen tapahtuu vetokalustossa. Juna paikantaa itsensä suhteellisesti eurobaliiseihin nähden hitaus- ja takometritiedon (kierroslukumittari) perusteella ja ilmoittaa sijaintinsa radiosuojastuskeskukselle, joka välittää saamiensa junien sijaintitietojen perusteella kulkulupia. Sijainnin määrittely on mahdollista toteuttaa tasolla 3 myös satelliittipaikannuksella. Suomen pohjoinen sijainti aiheuttaa satelliittipaikannukselle ongelmia, kuten se tekee myös tietoliikennesatelliiteille (pois lukien matalan maan ja keski korkean maan kiertoradan tietoliikennesatelliitit). Ongelmia satelliittipaikannuksen hyödyntämiselle luovat muun muassa ympäristö, esimerkiksi rakennukset ja tunnelit, sekä moniraideosuudet. (Mantsinen, ym. 2017, 29–31.)

Autonomisen junan tapauksessa kannattaa hyödyntää samaa tulevaa ERTMS/ETCS-tasoa kuin Suomen rautatieverkolle tuleva taso on sekä sen sisältämiä komponentteja. Autonominen juna ei toistaiseksi tarvitse JKV- tai ERTMS/ETCS-veturilaitetta. Mikäli juna saadaan joskus rautatieliikenteen sekaan julkiselle radalle autonomisen veturin kanssa, on se varustettava tarvittavalla kulunvalvontalaitteella. Toisaalta jatkuvan kulunvalvonnan takia junan kulunvalvontalaitte on hyödyllinen, koska sen avulla voidaan toimittaa baliisisanoimia, joiden avulla junalle saadaan tietoa nopeuden valvonnasta.

## 7 AUTONOMISEN JUNAN TEKNIikka

Autonomisen junan vaatimasta tekniikasta ei ole yhtä ja toimivaa ratkaisua ja tietoa tekniikasta on rajallisesti, koska kyseessä on melko uusi konsepti. Nykytekniikka tarjoaa kuitenkin paljon mahdollisuuksia sen toteutukseen. Autonomisen junan tapauksessa myös tarkastelun kohteeksi on kannattavaa ottaa autonomiset autot, koska niissä käytettävää tekniikkaa on mahdollista hyödyntää junissa. Erona on se, että juna liikkuu kiskoilla ja auto tiellä muun liikenteen seassa.

Thalesin mukaan autonomisen junan on kyettävä tekemään kolme asiaa; ensin sen on tiedettävä, missä se on, toiseksi sen on kyettävä tunnistamaan, mitä sillä on edessä ja lopuksi junan on kyettävä tekemään päätös siitä, liikkeuko se eteenpäin vai ei. Junassa olevat anturit ovat keskeisessä asemassa. (Thales 2018.)

### 7.1 Ympäristön havaitseminen

Ympäristön havaitseminen on tärkeä osa autonomisen junan toimintaa. Tähän eri toimijat ovat pohtineet seuraavia mahdollisuuksia:

- Tutka sekä lisäksi kamera ja sensoreita tukemaan toimintaa
- LiDAR
- Konenäkö
- Tekoäly

Juna voi hahmottaa ympäristöä tutkien avulla. Tutkalla tarkoitetaan radioteknistä mittauslaitetta, joka havainnoi ympäröivää maailmaa sähkömagneettisen säteilyn avulla (Niemi 2015). Tutkat ovat hyviä havaitsemaan esimerkiksi muita junia, mutta ei ihmisiä. Tutkan tueksi juna tarvitsee esimerkiksi kameran ja optisia sensoreita. NVIDIA pitää tutkan positiivisena puolena sen kykyä havaita objekteja pimeässä. Vastaavasti kalliimpina vaihtoehtona Thales esittää valotutkaa eli LiDAR:ia, joka on jo käytössä autonomisissa autoissa. (Burke 2019; Thales 2018.)

LiDAR tulee sanoista Light Detection and Ranging ja se tarkoittaa suomeksi valotutkaa. Kyseessä on optinen tutkan tapaan toimiva laite, joka toimii näkyvän

valon, lähi-infran tai ultravioletin alueella. Se on niin sanotusti aktiivinen kauko-kartoitusjärjestelmä eli se tuottaa itse energiaa mittaamaan asioita maassa. LiDAR-järjestelmässä on nopeasti ampuva laser, joka säteilee valoa. Tämä valo kulkee maahan ja heijastaa esimerkiksi rakennuksia. Heijastunut valoenergia palaa takaisin anturiin, johon se tallentuu. LiDAR-järjestelmä siis mittaa ajan, joka kuluu emittoidun valon kulkemiseen maahan ja takaisin. Järjestelmää käytetään esimerkiksi robotiikassa, maanmittauksessa, geologiassa ja metrologiassa. (Wasser n.d.) LiDAR on myös yleistymässä autonomisessa liikkumisessa, etenkin autoissa. Huonona puolena valotutkassa on sen kalliit kustannukset verrattaessa tutkaan. Todennäköisesti kustannusten puolesta halvemmaksi tulee tavallinen radioaalloilla toimiva tutka, jonka tueksi asennetaan toimintaa tukevia sensoreita sekä kameroita.

Venäjällä käytössä oleva automaattijuna hyödyntää konenäköä, joka on rakennettu kameroiden sekä ultraääniantureiden avulla. Autojen tapaan autonomisessa junassa on myös otettava huomioon sen tarve nähdä 360° ympärilleen. AI:n kehitys on vielä vaiheessa, mutta yhtenä vaihtoehtona on esitetty sen käyttöä autonomisessa ajamisessa. Tekoälyn avulla junan on mahdollista tunnistaa sijaintinsa ympäröivän ympäristön perusteella ilman erillistä infrastruktuuria. Juna voi hyödyntää tekoälyä myös visuaalisten signaalien tai radalla laitteiden tilan määrittämisessä. Tämän avulla juna voi päättää tulevat liikkeensä. AI:n avulla on myös mahdollista tunnistaa mahdolliset vaaratilanteet, sää sekä laitteiston viat, jotka voivat vaikuttaa junan liikkumiseen. Parhaassa tapauksessa juna osaa ajatella itse ja toimia parhaalla mahdollisella tavalla mahdollisimman turvallisesti. (Besse 2019.)

## **7.2 Muu tekniikka**

Muita mahdollisesti tarvittavia antureita ovat nopeusmittari, takometri, kiihtyvyyssanturi sekä matkamittari. Autonomisessa junassa haasteeksi tulee muodostumaan datan siirto, ohjausjärjestelmä sekä vaunujen välinen kommunikointi sekä mahdolliset radanvarsilaitteet.

## **Datan siirto**

Haasteeksi autonomisessa junassa tulee datan siirto. Junassa olevat järjestelmät keräävät päivän mittaa paljon dataa ympäristöstä, sen omasta käyttäytymisestä (esimerkiksi jarrutukset sekä kiihdytykset) sekä radan laitteiden toiminnasta. Tämä data tulee saada siirrettyä junasta ohjaamoon käsiteltäväksi. Tähän ei vielä ole olemassa ratkaisua, mutta ratkaisevassa asemassa on tällä hetkellä verkon vahvuus. 5G-verkko on tällä hetkellä laajenemassa vauhdilla ympäri maailmaa ja sen hyödyntäminen tässä tapauksessa voi olla järkevää. (Thales Talk, YouTube 2019.)

Tärkeässä asemassa datan siirtämisen kannalta tulee myös olemaan lähettävä ja vastaanottava laite eli tietokone. Näiden on oltava tarpeeksi tehokkaita, jotta ne pystyvät suorittamaan tehtävänsä sekä käsittelemään suuria määriä dataa, jota junan sensorit keräävät.

## **Kommunikointi ja radan laitteet**

Autonomisten ominaisuuksien käyttöönotolla tulee olemaan merkittävä vaikutus radalla olevien laitteiden määrään, koska sillä on mahdollista vähentää niiden määrää merkittävästi. Jos autonomiset vaunut käyttävät juna-juna -kommunikointia (V2V, Vehicle-to-Vehicle) voidakseen kommunikoida keskenään ja koordinoita tämän avulla toisiaan, poistuu tarve opastimille, jotka on suunniteltu seuraamaan junan sijaintia sekä varmistamaan turvallinen liikkuminen. Junan tarve kommunikoida joihinkin turvalaitteisiin säilyy, esimerkiksi tasoristeysten turvalaitteisiin sekä erinäisiin kytkimiin. Tulevaisuudessa viestintäinfrastruktuuri tullaan todennäköisesti korvaamaan koko rautateillä uuden tekniikan myötä, jolloin langattoman viestinnän merkitys alkaa kasvamaan. Tässä tapauksessa kuvaan astuu 5G, jonka merkitys rautatieliikenteen kannalta tulee tulevaisuudessa kasvamaan. (Besse 2019.)

Mikäli kuitenkin ollaan tilanteessa, että fyysisiä opastimia tarvitaan radalle, voidaan tässä hyödyntää ajoneuvon ja infrastruktuurin välistä viestintäteknologiaa juna-infrastruktuuri -kommunikointia (V2I, Vehicle-to-Infrastructure). Laitteisto-,



ohjelmisto- ja laiteohjelmistojärjestelmän avulla V21-viestintä on tyypillisesti langatonta ja kaksisuuntaista: infrastruktuurikomponentit, kuten junan tapauksessa opastimet, radan merkit, akselinlaskijat tai raidevirtapiirit sekä varoituslaitoslaitteet voivat tarjota tietoja langattomasti junalle ja päinvastoin. Kun dataa on kerätty ja jaettu paljon, oikea-aikaisia tietoja voidaan käyttää monenlaisten turvallisuus-, liikkuvuus- ja ympäristöetujen mahdollistamiseksi. (3M 2020.)

Toistaiseksi tätä teknologiaa ei ole vielä testattu käytännössä edes autonomisilla autoilla, joten varmuutta sen toiminnasta rautateillä ei ole näyttöä. Kyseinen teknologia on myös toistaiseksi suunniteltu vain kaupunkiliikenteeseen eli vain autojen käyttöön. Autonomisen junan tapauksessa infrastruktuuri eli radan laitteet siirtyvät ihmisen silmälle suunnitelluista analogisista viesteistä digitaalisiin viesteihin. Nämä tulisi suunnitella niin, että autonomisen junan tekniikka voi tulkita ympäröivän ympäristön ja reagoida nopeasti, joka lisää junan luottamusta kriittisten ajopäätösten tekemiseen. (3M 2020.)

### **Ohjausjärjestelmä**

Yksityisraiteiden hyvä puoli projektin kannalta verrattain julkiseen rataverkkoon on niiden vapaampi operointi. Venäjällä on kehitetty autonomisen junan tueksi oma automatisoitu merkinantojärjestelmä nimeltä MALS. Se on yhteydessä aseitinlaitteeseen sekä vaihtotöissä käytettäviin vaunuihin ja vetureihin. MALS:llä on tietoa reiteistä, signaaleista, raidevirtapiireistä sekä vaihtovetureiden sijainneista. MALS:n avulla on automatisoitu yhden suljetun piirin toiminta, jonka sekvenssi on seuraava:

1. Vaihtoveturin liikkeellelähtö
2. Yhdistyminen vaunuihin
3. Vaunujen siirtely raiteistoilla

Tämä silmukan operaatiot toistuvat itsenäisesti ratapihalla usean kerran päivässä. (Popov 2020.)

Ongelmaksi muodostuu julkisilla rautateilla se, että kuski ei ole tavoitettavissa. Autonomisten junien yhteydessä on noussut keskusteluun myös etävalvonta- ja ohjaus, jolla epäillään olevan ratkaiseva rooli autonomisten junien kehityksessä. On pohdittu, että autonomisilla junilla ei ole mahdollista ajaa ilman kauko-ohjausta, koska on olemassa suuri määrä skenaarioita, joissa ei ole mahdollista liikennöidä ilman jonkinlaista kuljettajan panosta. Tähän on kehitteillä etäohjattava juna, jossa ihminen ohjaa ja valvoo etänä junaa ja sen kulkua. Tämä tehdään osana Venäjän autonominen juna -hanketta. (Popov 2020.)

## 8 YHTEENVETO

Autonominen juna on Suomessa uniikki hanke ja maailmalla sen tuomia mahdollisuuksia ollaan kartoittamassa. Autonominen liikkuminen yleisesti on haastava aihe, koska se on vielä osa tulevaisuutta ja sen tuomia mahdollisuuksia kartoitetaan vielä. Siitä löytyy toisaalta paljon tietoa, mutta toisaalta myös hyvin rajallisesti. Autonomista liikkumista kehitetään koko ajan, luodaan uusia teknologioita ja isot sekä pienet yritykset kilpailevat keskenään kuka saa markkinoille ensimmäisen toimivan ja täysin autonomisen kulkuvälineen. Aiheesta löytyy hyvin paljon tekstejä, joissa pohditaan mahdollisia teknologioita ja vaikutuksia ympäröivään infrastruktuuriin, mutta yleensä lopputulos on sama tahosta riippumatta; kaikissa hyödynnetään samoja mahdollisuuksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää autonomisen ajamisen vaatimukset sekä mahdolliset esteet, jotka voivat vaikuttaa autonomiseen liikennöintiin. Autonomista junaa ei Suomessa ole vielä missään muodossa, joten ensin oli selvitettävä mitä viranomaiset vaativat, jotta liikennöinti Suomen julkisella tai yksityisellä rataverkolla on ylipäättään mahdollista edes normaalilla junakalustolla. Lisäksi tutkittiin mahdollista tekniikkaa, jota junassa voi hyödyntää sekä miten tulevaa yhteiseurooppalaista junakulunvalvontajärjestelmää voidaan hyödyntää junan kehityksessä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää autonomisen junan vaikutus raitinfralta vaadittavaan tekniikkaan.

Suomessa on hyvin konservatiivinen raideliikenne ja siinä ei juuri ole tapahtunut uudistuksia viime vuosisadan aikana. Suomessa on myös hyvin tiukka lainsäädäntö ja määräykset rautateiden suhteen, koska turvallisuuden taso halutaan pitää erittäin korkeana. Nykyisen lainsäädännön ja ohjeistuksen perusteella autonominen juna ei saa liikennöidä julkisella eikä yksityisellä radalla. Kääntöpuolena asiassa on kuitenkin se, että varsinaista kohdistettua lainsäädäntöä ja ohjeistusta autonomiseen liikkumiseen ei ole eli se antaa tilaa luoda uutta ja tulevaisuudessa neuvoteltavaa ja suunniteltavaa asioista päättävien tahojen kanssa.

Uusi yhteiseurooppalainen junakulunvalvonta tulee tarjoamaan paljon mahdollisuuksia autonomisen junan kehitykselle. Näitä ovat muun muassa tiedonsiirto, joka voidaan hoitaa tulevan FRMCS-verkon kautta sekä ERTMS/ETCS-tason 2

ja tulevaisuudessa tason 3 hyödyntäminen. Tason 3 yhteyteen liittyy myös vahvasti automaattinen junaoperointi, joka edesauttaa autonomisen junan kehitystä. Automaattinen junaoperointi on myös osa tason 3 kehitystä eli autonominen liikenne tulee myös tätä myöten väistämättä eteen tulevaisuudessa. Lisäksi paikannuksen kehittyessä autonomisen junan tapauksessa voidaan hyödyntää ERTMS/ETCS-tasolla 3 käytettävää satelliittipaikannusta.

Autonomisen junan varsinaisesta tekniikasta ei ole olemassa yksiselitteistä ohjetta vaan eri valmistajat ovat kokeilleet eri tekniikoita ja ehdotuksia on myös laaja määrä. Käytetyimmäksi kuitenkin nousi tutka yhdistettynä erilaisiin antureihin sekä konenäkö ympäristön havaitsemiseksi. Lisäksi vahvana ehdokkaana isommat junavalmistajat näkivät valotutka LiDAR. Usean yrityksen suusta esiin nousi vahvasti myös tekoälyn hyödyntäminen autonomisessa junassa. Tekoäly on vielä kehitteillä, mutta tulevaisuudessa se tulee tarjoamaan laajoja mahdollisuuksia autonomiseen liikkumiseen kuin muillekin yhteiskunnan osa-alueille.

Haasteeksi muodostuu muun muassa tiedonsiirto junasta valvomoon. Junassa olevat järjestelmät keräävät paljon dataa ympäristöstä, junan omasta käyttäytymisestä sekä radan laitteiden toiminnasta päivän mittaa. Tähän on toistaiseksi esitetty ratkaisuksi vain 5G-verkon hyödyntäminen sen nopeamman tiedonsiirron takia.

Ratainfraan muutosten osalta esille nousi kaksi erilaista kommunikointitapaa V2V sekä V2I, joiden avulla vaunut kommunikoivat keskenään sekä ratainfraan kanssa. Autonomisten ominaisuuksien käyttöönotolla tulee olemaan merkittävä vaikutus radalla olevien laitteiden määrään, koska sillä on mahdollista vähentää niiden määrää merkittävästi tai jopa poistaa radan laitteiden tarve kokonaan. Toisaalta joihinkin turvalaitteisiin kommunikointitarve säilyy, joten tämä luo tilaa myös rata-laitteiden kehitykselle.

Työn haasteeksi nousi erityisesti lähteiden löytyminen sekä se, että asiasta on todella vähän tietoa. Lähes kaikki autonomiseen liikkumiseen liittyvät tekstit ovat artikkeleita ja keskittyvät pääsääntöisesti junan tekniikkaan. Työn kannalta hankaluuksia tuotti kirjoittaa aiheesta, josta ei käytännössä katsoen ole mitään isompaa mihin tarttua kiinni. Hyväksi vertailukohteeksi muodostui autonomiset autot,

joiden kehitys on huomattavasti pidemmällä kuin junien ja ne käyttävät samaa teknologiaa kuin junat tulevat käyttämään. On ymmärrettävää, että yritykset, jotka ovat onnistuneet rakentamaan toimivan autonomisen junan, pitävät tietonsa salassa, koska tästä on yritykselle suuri kilpailuetu. Tämä toisaalta tuo vapauden myös kehittää ja tuoda esille omia ideoita sekä näkemyksiä aiheeseen liittyen. Tämä on myös Suomessa täysin uusi projekti, joten mitään virallista kirjoitettua autonomiseen liikkumiseen ei ole, joten oli sovellettava normaaliin rautatieliikenteeseen käytettäviä ohjeistuksia ja lainsäädäntöä.

Projekti on kokonaisuudessaan erittäin laaja ja autonomiseen liikkumiseen liittyy paljon tekijöitä ja erittäin paljon tutkittavaa jo pelkästään tekniikkaan liittyen. Oman haasteensa projektiin tulee tuomaan Suomen pohjoinen sijainti ja vaihtelevat sääolosuhteet; junan ja siihen liittyvän tekniikan on kestävä sään vaihteluita aina helteistä pakkasiin asti. Lisäksi varsinaisista ratainfraan muutoksiin on hankala ottaa kantaa, koska mitään todennettua ja toimivaa ratkaisua ei ole tiedossa ja kuinka tämä vaikuttaisi radan laitteisiin. Suurin kysymys kuitenkin on käytettävä tekniikka, koska sillä voidaan saavuttaa paljon ja poistaa muiden laitteiden tarve lähes kokonaan.

Opinnäytetyön valmistumishetkellä projekti on vielä selvitysvaiheessa ja eri yhteistyökumppaneita sekä viranomaisten kantaa asiaan sekä junan tekniikkaa selvitetään. Opinnäytetyön avulla projektin henkilöstö sai kuvan nykytilanteesta Suomen lainsäädännön puolelta sekä katsauksen mitä tekniikkaa maailmalla on pohdittu hyödynnettävän sekä mitä annettavaa tulevalle junakulunvalvontajärjestelmällä on. Paljon on vielä tutkittavaa ja selvittävää, mutta opinnäytetyöstä saa hyvän pohjan. Autonominen juna -hankkeen onnistuessa ja mennessä eteenpäin, se tarjoaa yritykselle mahdollisuuden aivan uudelle liiketoiminnalle sekä liiketoiminnan osa-alueille. Tämä tulee työllistämään yrityksen nykyisiä työntekijöitä sekä tarjoamaan uusille osaajille mahdollisuuden olla mukana Suomessa uniikissa raideliikenteen hankkeessa, joka tulee onnistuessaan muuttamaan rai-demaailmaa.

## LÄHTEET

3M. n.d. What is Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication and why do we need it? Ei päivitystietoja. Luettu 12.9.2020.

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795](https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795)

Artukka, J., Brotherus, M., Lehtola, J., Pylvänäinen, J., Nieminen, T., Sandelin, E. & Wallin, J. 2020. Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä. Digirataselvityksen loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:6. Pdf-tiedosto. [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162151/LVM\\_2020\\_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162151/LVM_2020_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Autotuojat- ja teollisuus. N.d. Autonomisen liikenteen edistäminen edellyttää uutta mahdollistavaa lainsäädäntöä ja aiempaa älykkäämpää liikenneinfraa. Ei päivitystietoja. Luettu 5.8.2020. <https://www.autotuojat.fi/linjaukset/autonomisen-liikenteen-kehitys>

Besse, A. RailProfessional. 2019. Autonomous trains – what’s driving this? Verkkouutinen. Julkaistu 2.9.2019. Luettu 16.8.2020. <https://www.railprofessional.com/magazine/sept-2019/autonomous-trains-whats-driving-this>

Briginshaw, D. International Railway Journal. 2018. Rio Tinto completes automation of Pilbara rail network. Verkkouutinen. Julkaistu 31.12.2018. Luettu 10.8.2020. [https://www.railjournal.com/freight/rio-tinto-completes-automation-of-pilbara-rail-network/?utm\\_source=&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=456](https://www.railjournal.com/freight/rio-tinto-completes-automation-of-pilbara-rail-network/?utm_source=&utm_medium=email&utm_campaign=456)

Burke, K. 2019. How Does a Self-Driving Car See? Blogikirjoitus. Julkaistu 15.4.2019. Luettu 16.8.2020. <https://blogs.nvidia.com/blog/2019/04/15/how-does-a-self-driving-car-see/>

EEIG ERTMS users group. 2020. Automatic train operation. Ei päivitystietoja. Luettu 13.8.2020. [https://ertms.be/workgroups/automatic\\_train\\_operation](https://ertms.be/workgroups/automatic_train_operation)

Härkönen, A., Julku, A., Myyrä, P., Nieminen, J., Ristolainen, K. & Sunnari, H. 2016. ERTMS/ETCS-järjestelmän suomalainen toiminnallinen vaatimuseritelmä (ETCS FI-FRS). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 47/2016. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2016-47\\_ertms-etcs\\_jarjestelman\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2016-47_ertms-etcs_jarjestelman_web.pdf)

Härkönen, A., Järvinen, L., Katalaja, M., Koro, M., Lehikoinen, H., Matikainen, L., Sorsimo, T., Tuomi, J & Viitanen, J. 2018. Rautatieturvallitteet. Helsinki: Liikennevirasto. 2. painos.

Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuusohjeet (Jt). 2019. Väylävirasto. Julkaisuja 26/2019. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2019-26\\_jt\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2019-26_jt_web.pdf)

Järveläinen, V. MTV Uutiset. 2019. Tässä on ensimmäinen tuotantovalmis auto, joka kykenee täysin autonomiseen ajamiseen. Verkkouutinen. Julkaistu

13.6.2019. Luettu 10.8.2020. <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/tassa-on-ensimmainen-tuotantovalmis-auto-joka-kykenee-taysin-autonomiseen-ajamiseen/7447640#gs.d2p3kl>

Järvinen, L. 2012. Tulevaisuuden junien kulunvalvontajärjestelmän (ERTMS) rajapinnan sovittaminen nykyisiin rautateiden turvalaitteisiin. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2012. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts\\_2012-47\\_tulevaisuuden\\_junien\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2012-47_tulevaisuuden_junien_web.pdf)

Mantsinen, JJ., Sunnari, H. & Tiilikainen, A. 2018. Satelliittipaikannus ja eurooppalainen junien kulunvalvonta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 35/2018. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2018-35\\_satelliittipaikannus\\_eurooppalainen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-35_satelliittipaikannus_eurooppalainen_web.pdf)

Mäkitalo, M., Paasikivi, J. & Mäkilä, M. 2004. Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun nykytila. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 7/2004. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk\\_2004-a7\\_ratakapasiteetin\\_jakamisen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_2004-a7_ratakapasiteetin_jakamisen_web.pdf)

Niemi, T. 2015. Nykyaikainen Itämeren alueen pintataistelualuksen valvontatutka. 82. merikadettikurssi. Merivartio-opintosuunta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Kandidaatin tutkielma.

The path to an autonomous train - Thales Talk. YouTube 2019. Katsottu 16.8.2020. [https://www.youtube.com/watch?v=cdzVgj1Cvds&feature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=cdzVgj1Cvds&feature=emb_title)

Popov, P. 2020. Global Railway Review. Developing and deploying Automatic Train Operation in Russia. Julkaistu 10.3.2020. Luettu 16.9.2020. <https://www.globalrailwayreview.com/article/98087/automatic-train-operation-ato-russia/>

Popov, P. 2020. International Railway Journal. Remote control opens up autonomous operation. Julkaistu 13.7.2020. Luettu 16.9.2020. [https://www.railjournal.com/in\\_depth/remote-control-opens-up-autonomous-operation](https://www.railjournal.com/in_depth/remote-control-opens-up-autonomous-operation)

Proxion. 2019. Proxion käynnistää uraaurtavan autonomisen junan pilottihankkeen. Julkaistu 9.8.2019. Luettu 5.8.2020. <https://www.proxion.fi/en/proxion-kaynnistaa-uraaurtavan-autonomisen-junan-pilottihankkeen/>

Proxion. 2020. Tietoa meistä. Ei päivitystietoja. Luettu 16.5.2020. <https://www.proxion.fi/tietoa-meista/>

Proxion Wiki. 2020. Yhtiöt, yksiköt ja tiimit. Päivitetty 10.2.2020. Luettu 16.5.2020. Vaatii pääsyn yrityksen tietokantaan.

Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). 2020. Väylävirasto. Julkaisu A 10/2020. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2020-10\\_turo\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-10_turo_web.pdf)

Ratalaki 2.2.2007/110.

Rataverkon kokonaiskuva – Lähtökohtia ja näkökulmia. 2018. Liikennevirasto, liikenne ja maankäyttö 37/2018. Helsinki: Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/its\\_2018-37\\_rataverkon\\_kokonaiskuva\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/its_2018-37_rataverkon_kokonaiskuva_web.pdf)

Rautatielaki 8.4.2011/304.

Rautateiden henkilöliikenteen kilpailu avautuu. 2017. Liikenne- ja viestintäministeriö. Julkaistu 9.8.2017. Luettu 23.5.2020. <https://www.lvm.fi/-/rautateiden-henkiloliikenteen-kilpailu-avautuu-949421>

Rautateiden verkkoselostus 2021. 2019. Väylävirasto. Väyläviraston julkaisuja 46/2019. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2019-46\\_vs2021\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-46_vs2021_web.pdf)

Rio Tinto. 2020. How did one of the world's biggest robots end up here? Ei päivitystietoja. Luettu 10.8.2020. <https://www.riotinto.com/en/news/stories/how-did-worlds-biggest-robot>

Savolainen, T. 2019. Autonominen juna. PP-esitys. Vaatii pääsyn yrityksen tietokantaan.

Sandvik. n.d. Glass labyrinth – 38 tonne automated loader. Ei päivitystietoja. Luettu 10.8.2020. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/labyrinth/>

Shift2Rail. 2019. Innovation in the Spotlight: Towards unattended mainline train operations (ATO GoA 4). Päivitetty 30.9.2019. Luettu 3.9.2020. <https://shift2rail.org/highlight/innovation-in-the-spotlight-towards-unattended-mainline-train-operations-ato-go4/>

Thales. 2018. Travelers to the autonomous train! Julkaistu 4.12.2018. Luettu 13.8.2020. <https://www.thalesgroup.com/en/spain/magazine/travelers-autonomous-train>

Traffic Management Finland. 2020. Finrail lyhyesti. Ei päivitystietoja. Luettu 17.5.2020. <https://tmfg.fi/fi/finrail/finrail-lyhyesti>

Traffic Management Finland. 2020. Traffic Management Finland lyhyesti. Ei päivitystietoja. Luettu 30.4.2020. <https://tmfg.fi/fi/tmfg/traffic-management-finland-lyhyesti>

Traficom. 2020. Haluatko rataverkon haltijaksi? Ei päivitystietoja. Luettu 12.7.2020. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/raideliikenne/haluatko-rataverkon-haltijaksi>

Traficom. 2019. Raideliikenteen toimijoiden koulutus- ja keskustelutilaisuus. Ei päivitystietoja. Luettu 24.10.2020. PowerPoint-esitys. [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Toimijakampanja\\_2019%20esitykset.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Toimijakampanja_2019%20esitykset.pdf)

Traficom. 2020. Rautatietoimijoiden turvallisuusjohtamisjärjestelmä. Ei päivitystietoja. Luettu 12.7.2020. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/raideliikenne/rautatietoimijoiden-turvallisuusjohtamisjarjestelma>



Traficom. 2020. Tietoa Traficomista. Ei päivitystietoja. Luettu 30.4.2020.

<https://www.traficom.fi/fi/traficom/tietoa-traficomista>

Traficom. 2020. Yksityisraiteen haltijan ilmoitusmenettely. Ei päivitystietoja. Luettu 12.7.2020.

<https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/yksityisraiteen-haltijan-ilmoitusmenettely>

Zasiadko, M. RailTech. 2019. Fully automated metros run in six EU countries.

Verkkouutinen. Julkaistu 19.11.2019. Luettu 10.8.2020. <https://www.railtech.com/infrastructure/2019/11/19/fully-automated-metros-run-in-six-eu-countries/>

Zasiadko, M. RailTech. 2019. Russian autonomous train makes first test run.

Verkkouutinen. Julkaistu 30.8.2019. Luettu 10.8.2020. <https://www.railtech.com/digitalisation/2019/08/30/russian-autonomous-train-makes-first-test-run/>

Viinonen, R. 2020. Autonominen juna ja vaihtotyö. PP-esitys. Vaatii pääsyn yrityksen tietokantaan.

VR Group. 2020. Rautatiealan keskeiset toimijat. Ei päivitystietoja. Luettu 19.3.2020.

<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/toimintaymparisto/rautatiealan-keskeiset-toimijat/>

VR Group. 2020. VR. Ei päivitystietoja. Luettu 23.5.2020.

<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/vr-group-yrityksena/liiketoiminnot/vr/>

VR Group. 2020. VR Transpoint. Ei päivitystietoja. Luettu 23.5.2020.

<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/vr-group-yrityksena/liiketoiminnot/vr-transpoint/>

VR Transpoint. n.d. Yleistä rautatieliikenteestä. Ei päivitystietoja. Luettu 12.9.2020.

<https://www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/asiakkaan-opas/yleista-rautatieliikenteesta/>

Väylä. 2020. Euroopan laajuinen liikenneverkko (TEN-T). Päivitetty 20.4.2020.

Luettu 7.5.2020. <https://vayla.fi/liikennejarjestelma/cef-liikennehaku/ten-t>

Väylä. 2020. Rataverkko. Päivitetty 25.2.2020. Luettu 7.5.2020.

<https://vayla.fi/rataverkko>

Väylä. 2020. Tapamme toimia. Päivitetty 24.2.2020. Luettu 16.3.2020.

<https://vayla.fi/tapamme-toimia>

Väylä. 2020. Yksityisraiteet. Päivitetty 15.5.2020. Luettu 16.5.2020.

<https://vayla.fi/rataverkko/yksityisraiteet>

Väylä. 2020. Yksityisraiteiden haltijoiden verkkoselostukset. Päivitetty 27.1.2020.

Luettu 10.5.2020. <https://vayla.fi/ammattiliikenne-raiteilla/rautateiden-verkkoselostus/yksityisraiteiden-haltijoiden-verkkoselostukset>

Wasser, L. Neon science. 2020. The Basics of LiDAR - Light Detection and Ranging - Remote Sensing. Verkojulkaisu. Ei julkaisutietoja. Luettu 13.8.2020. <https://www.neonscience.org/lidar-basics>

Yksityisraiteet ja ratamaksumenettely. 2011. Liikenne- ja viestintäministeriö. Julkaisu 34/2011. Pdf-tiedosto. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78081/Julkaisu\\_34-2011.pdf?sequence=1](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78081/Julkaisu_34-2011.pdf?sequence=1)