



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Mikko Gröndahl

# InterCity-kaksikerrosvaunujen digitalisaatio

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.5.2021

Tekijä Otsikko	Mikko Gröndahl Intercity-kaksikerrosvaunujen digitalisaatio
Sivumäärä Aika	38 sivua + 1 liite 3.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Markku Inkinen Kunnossapitopäällikkö Riku Helanne (Škoda Transtech Oy)
<p>Tämä insinööri työ toteutettiin Škoda Transtech Oy:lle syksyn 2020 ja kevään 2021 aikana. Yrityksen päätuotteita tällä hetkellä ovat Helsingin ja Tampereen raitiovaunut, kaksikerroksiset Intercity-junavaunut sekä kaluston elinkaari- ja kunnossapitopalvelut. Vuonna 2017 Škoda Transtech Oy käynnisti raidekaluston älykkäisiin ja digitaalisiin ratkaisuihin sekä palveluihin keskittyvän SmartRail-ekosysteemin.</p> <p>Insinööri työn tavoite oli kartoittaa lähtötilanne uusien sekä jo toimitettujen Intercity-vaunujen digitaalisen kehityksen näkökulmasta. Työssä selvitettiin yrityksen asiantuntijoiden, tuotedokumentation sekä alan julkaisujen avulla rautateiden digitalisaation viitekehys. Tavoitteena oli myös selvittää, kenelle ja millä keinoin digitaalisen teknologian kehityksellä voidaan luoda arvoa tuottavia ratkaisuita. Lisäksi kartoitettiin Intercity-vaunujen nykyiset ohjaus- ja hallintajärjestelmät, niihin liitetyt alijärjestelmät sekä näiden teknistä toteutusta määrittävät standardit, määräykset ja suositukset.</p> <p>Selvitystyön perusteella tärkeimmät yhteiskunnalliset ajurit rautatiekaluston teknologian kehitykselle ovat globaalit ilmastotavoitteet sekä tarve suomalaisen rautatieliikenteen teknikan päivityksille. Osa nykyisen kaluston kriittisistä hallinta- ja ohjausjärjestelmistä tulevat elinkaarensa päähän lähitulevaisuudessa ja etenkin ilmastonäkökulmasta junaliikenteen markkinaosuutta liikenteessä halutaan lisätä. Ratkaisua näihin haasteisiin haetaan teknologian kehityksen sekä uusien digitaalisten palveluiden kautta. Uudet älykkäät ja digitaaliset ratkaisut myös parantavat kilpailukykyä ja luovat mahdollisuuksia kasvattaa liiketoimintaa vientivetoisten tuotteiden sekä uusien liiketoiminta-alueiden kautta.</p> <p>Tämä insinööri työ tarjoaa yritykselle käsityksen, mihin junakaluston ja uusien palveluiden tuotekehitystä olisi suunnattava ja mistä digitaalisen kehityksen arvo kalustonvalmistajalle, palveluntuottajille sekä eri käyttäjäryhmille muodostuu. Lisäksi insinööri työn nykyisen järjestelmän kuvaus antaa tarkemman kuvan käytössä olevan järjestelmän automaation ja digitalisaation tasosta. Se myös auttaa hahmottamaan, mitkä lainalaisuudet määrittävät myös uuden teknologian kehitystä ja helpottaa käytännön ratkaisujen suunnittelua.</p>	
Avainsanat	Digitalisaatio, junaohjaus, SmartRail, älykäs liikenne

Author Title	Mikko Gröndahl Digitalization of Intercity Double Deck Coaches
Number of Pages Date	38 pages + 1 appendix 3 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Markku Inkinen, Senior Lecturer Riku Helanne, Head of Maintenance (Škoda Transtech Ltd)
<p>This bachelor's thesis work was carried out for Škoda Transtech Ltd during autumn 2020 and spring 2021. Company's current main products are Helsinki and Tampere trams, double deck Intercity-coaches and fleet lifecycle and maintenance services. In 2017 Škoda Transtech Ltd started SmartRail-ecosystem, related to intelligent and digital solutions and services on rolling stock.</p> <p>The aim of the thesis work was to map the baseline from the perspective of the digital development of new and current Intercity coaches. With support of company's specialists, product documentation and other industry publications, this work sorts out frame of reference in rail industry digitalization. The goal was also to sort out to whom and how developing digital technology can provide value-added solutions. In addition, the aim was to clarify current control and management systems, attached sub-systems and standards, regulations and recommendations defining their technical implementation.</p> <p>Based on the study, it appears the most important public drivers for the development of rolling stock technology are global climate targets and the need for upgrades in the Finnish rail transport technology. Some of the critical control and management systems in the current fleet will come to the end of their lifecycle in the near future, and especially from climatic perspective, the aim is to increase the market share of rail transport. Solution to these challenges are being sought through technological developments and new digital services. New intelligent and digital solutions will also improve competitiveness and create opportunities to grow the business through export-driven products as well as new business areas.</p> <p>This thesis work provides the company understanding, where the product development of rolling stock and new services should be directed. It also shows how digital development forms value for the manufacturer, service providers and different user groups. In addition the description of the current system in this thesis gives a more accurate picture on the level of automation and digitalization of the system in use. It also helps to outline which regulations determine the development of the new technology and facilitates the design of practical solutions.</p>	
Keywords	Digitalization, train control, SmartRail, intelligent transport

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rautatiealan digitalisaatio	2
2.1	Arvon muodostuminen eri segmenteissä	4
2.2	Digitalisaatio liiketoimintaympäristössä	7
2.3	Digitalisaation tarjoamat mahdollisuudet kaksikerrosvaunujen kehitykselle	8
2.4	SmartRail-ekosysteemi	11
3	Kaksikerroksiset InterCity-junavaunut sekä käytössä oleva järjestelmä	12
3.1	Nykyinen kalusto	12
3.2	Nykyinen ohjaus- ja hallintajärjestelmä	14
3.3	Ohjaus- ja diagnostiikkadatan siirto yksiköiden välillä	15
3.3.1	Määräävät dokumentit	15
3.3.2	Junan sekä vaunun väylät	17
3.3.3	Vaunujen väliset kaapelit	19
3.4	Vaunumikro	20
3.4.1	Vaunumikron moduulit	22
3.4.2	Vaunun yleisohjausjärjestelmän tärkeimmät toiminnallisuudet	24
4	Vaunun alijärjestelmät	25
4.1	Informaatiojärjestelmä	25
4.1.1	Kuulutusjärjestelmä	26
4.1.2	Näyttöjärjestelmä	27
4.1.3	Viihdejärjestelmä	27
4.2	WC- ja vesijärjestelmä	28
4.3	Lämmitys ja ilmastointi	29
4.4	Sivu-, väli- ja päätyovet	30
4.5	Jarru- ja luistonestojärjestelmä	30
5	Yhteenveto ja loppusanat	32



## Lyhenteet

CAN	Controller Area Network. Tiedonsiirtoväylä automaatiolaitteiden tiedonsiirtoon.
ETCS	European Train Control System. Eurooppalainen junien kulunvalvontajärjestelmä.
HMI	Human Machine Interface. Käyttäjäpaneeli josta voi nähdä tilatietoja sekä tehdä ohjauksia.
HVAC	Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi.
IoT	Internet of Things. Esineiden internet.
JKV	Junan Kulun Valvonta. Käytössä oleva junan kulkua valvova järjestelmä.
MaaS	Mobility as a Service. Liikkuminen palveluna.
MVB	Multifunction Vehicle Bus. Vaunuväylä joka yhdistää yksikön sisäiset järjestelmät.
OEE	Overall Equipment Effectiveness. Käytettävyys, Nopeus, laatu (KNL). Tuotannon tehokkuuden mittaustapa ja tunnusluku.
PIS	Passenger Information System. Matkustajainformaatiojärjestelmä.
PMaaS	Predictive Maintenance as a Service. Ennakoiva kunnossapito palveluna.
TCMS	Train Control and Management System. Vaunun ohjaus- ja hallintajärjestelmä.
TCN	Train Communication Network. Junissa käytetty tiedonsiirtoverkko.

TCU	Traction Control Unit. Junaohjauksen järjestelmä, joka sisältää ajo-ohjauksen.
Trainnet	EKE-elektronikan junaohjausjärjestelmä tai junaväylä.
UIC	Kansainvälinen rautatieliitto. Lyhennettä käytetään myös kuvaamaan UIC-määrelehtien mukaisesti rakennettuja komponentteja, esim. UIC-kaapeli.
VCU	Vehicle Control Unit. Vaunun yleisohjaus järjestelmä.
WTB	Wire Train Bus. Junaväylä joka yhdistää erilliset yksiköt.

## 1 Johdanto

Automaatio ja digitalisaatio ovat suuressa roolissa nykypäivän junaliikennöinnin kehityksessä. Sen avulla kehitetään niin ajoturvallisuuden tekniikkaa kuin matkustajien uusia palveluitakin. Yhä suurempi rooli kehittyvällä teknologialla on myös kunnossapidon optimoinnissa. Tavoitena on saada kaluston kunnossapito toteutettua oikea-aikaisesti tehokkaalla läpimenoajalla, turvallisuudesta tinkimättä. Uusia automaation ja digitalisaation ratkaisuja hyödyntämällä kunnossapidon ja liikennesuunnittelun optimoinnissa voidaan myös saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä. Uuden teknologian avulla voidaan lisäksi helpottaa kuljettajien, konduktöörin sekä muun junahenkilökunnan työtä. Junaliikennettä matkustusmuotona ajatellen nämä kaikki vaikuttavat myös matkustusmukavuuteen. Hyödyntämällä uusia innovaatioita voidaan junamatkustamisesta saada entistä halutumpi tapa matkustaa. Ilmastoystävällisenä liikennemuotona rautatieliikenteen osuutta liikenteessä on kasvatettava parantamalla tehokkuutta sekä kaluston täsmällisyyttä ja kapasiteettia. Näiden tavoitteiden toteutumisessa digitalisaation kehitys ja automaation lisääminen ovat avainasemassa. [1, s.119.] Kalustonvalmistajana nämä samat aiheet ovat tärkeitä tavoitteita Škoda Transtech Oy:n tuotekehityksessä, jonka osana myös tämä opinnäytetyö toteutettiin. Yhtiö panostaa voimakkaasti kaluston, kunnossapidon sekä uusien matkustajapalveluiden digitaaliseen kehitykseen. Tavoitteena on olla pohjoismaiden halutuin kalustokumppani joukkoliikenteessä. [2.]

Škoda Transtech Oy on Suomessa toimiva kiskokalusto- ja konepajatuotteiden valmistaja. Yritys on perustettu vuonna 1985 ja on vuodesta 2015 lähtien ollut tšekkiläisen Škoda Transportation -konsernin omistuksessa. Yrityksen päätuotteita ovat Helsingin ja Tampereen raitiovaunut, VR:n liikennöimät kaksikerroksiset Intercity-junavaunut sekä kaluston elinkaari- ja kunnossapitopalvelut. Škoda Transtech Oy:n tehdas sijaitsee Oتامäessä ja pääkonttori Oulussa. Lisäksi sillä on kunnossapitoyksiköitä Helsingissä ja Tampereella. [3.]

SmartRail on Škoda Transtechin vuonna 2017 käynnistämä ekosysteemi, joka teknologisesti tähtää raideliikenteen turvallisuutta ja joustavuutta parantaviin ratkaisuihin siirtäessä kohti yhä autonomisempaa liikennettä. Tavoitteena on integroitujen digitaalisten

ratkaisujen avulla tuottaa sujuvaa matkustamista ja käyttäjäkeskeisiä palveluita kiskokalustoon sekä raideliikenteeseen. [4.]

Tämän insinööriyön tavoitteena oli kartoittaa lähtötilanne kaksikerroksisten Intercity-vaunujen digitalisaation sekä älyteknologian kehitystyön näkökulmasta. Työn tarkoitus on selvittää ja esitellä, mistä nykyinen kaksikerrosvaunukalusto koostuu, erityisesti ohjaus- ja hallintajärjestelmän osalta. Työssä perehdyttiin nykyisen kaluston yleisohjausjärjestelmään sekä siihen liitettyjen alijärjestelmien tärkeimpiin komponentteihin sekä toimintoihin. Lisäksi kartoitettiin, mitkä standardit, määreet, protokollat tai muut määräykset määrittävät nykyistä järjestelmää. Toinen tavoite työlle oli arvioida, mitä hyötyjä digitalisaation kehityksellä voidaan saavuttaa, sekä keinoja sen toteutukselle. Työssä esitellään raideliikenteen digitalisaation viitekehys ja kehityksen suunta Suomessa ja Euroopassa. Lisäksi arvioidaan, mitkä ovat niitä kokonaisuuksia rautatiekalustossa, joissa teknologian kehitystä ja digitalisaatiota hyödyntämällä voidaan muodostaa arvoa tuottavia palveluita ja toimintoja. Tuotekehitystyön tulevaisuuden tavoitteena on laajentaa SmartRail-ekosysteemi käsittämään entistä vahvemmin junakalustoa. Työn kartoituksiin ja arviointeihin hyödynnettiin julkisten dokumenttien lisäksi Škoda Transtech Oy:n asiantuntijoita ja tuotedokumentaatiota. Nykyinen järjestelmä ja laitteet kuvataan siitä näkökulmasta ja sillä tarkkuudella, kuin se vaunujen digitaalisen kehitystyön kannalta on olennaista.

## 2 Rautatiealan digitalisaatio

Kaluston tekniikan näkökulmasta Suomen rautatieliikenne on murroksessa. Toiminnan kannalta kriittiset ohjaus- ja hallintajärjestelmät tulevat elinkaarensa päähän, ja näihin etsitään kuumeisesti uuden teknologian ratkaisuja. Esimerkiksi junankulunvalvonnasta huolehtiva JKV-järjestelmä tuli varsinaisen elinkaarensa päähän vuonna 2020. Ratkaisua korvaavalle järjestelmälle haettiin Digirata-selvityksen kautta. Digirata-hankkeen toteuttivat yhteistyössä liikenne- ja viestintäministeriö, Väylävirasto, Liikenne- ja viestintävirasto, Traffic Management Finland Group Oy, Finrail Oy, VR-Yhtymä Oy sekä Helsingin seudun liikenne. Hankkeen tavoitteena oli selvittää digitalisaation mahdollisuudet kustannustehokkaana ratkaisuna, vanhentuvan JKV-järjestelmän korvaaminen sekä kytkeytyminen Euroopan rautatiejärjestelmiin. Selvityksen lopputuloksena esitettiin, että nykyinen järjestelmä korvattaisiin radiopohjaisella ETCS-järjestelmällä (European Train

Control System), joka täyttää Euroopan unionin sääntelyt ja mahdollistaa tulevaisuuden kehitysnäkymät. [5, s. 11.]

Välttämättömien turvallisuuskriittisten toimintojen korvaamisen lisäksi kehityshalu juna-liikenteen aseman vahvistamiseksi on suuri. Ilmastoystävällisenä vaihtoehtona joukkoliikenteen osuus liikenteestä on kasvava. Erityisesti junamatkustuksen toimivuuteen ja kaluston määrään sekä laatuun panostetaan tällä hetkellä niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin. Liikenteen osuus kasvihuonepäästöistä Suomessa on noin 21 %, joista junaliikenteestä aiheutuvat päästöt ovat noin 1 %. Rautateiden markkinaosuus koko matkustajaliikenteestä on noin 6 %. Ekologisena liikennevälineenä rautatieliikenteen vaikutus päästöjen alentamiseksi vaatii rautatiekuljetusten markkinaosuuden kasvattamista, jonka saavuttamiseksi on käynnistetty lukuisia hankkeita ympäri Eurooppaa. Tämä on tavoitteena niin Suomen ICT-alan ilmasto- ja ympäristötavoitteissa kuin Euroopan Unionin vihreän kehityksen *Green deal* -ohjelmassa. Edellytyksenä näiden tavoitteiden toteutumiselle on rautatieliikenteen digitalisaation kehittyminen ja älykäs rautatieinfrastruktuuri, joiden kehitystyön osana Digirata-selvitys myös toteutettiin. [1, s. 119.] Yksi merkittävimmistä hankkeista Euroopassa on Euroopan unionin 2014 käynnistämä Shift2Rail-hanke. Hankkeen tarkoitus on tarjota foorumi, joka koordinoi ja kehittää rautatiejärjestelmien tutkimus- ja innovaatiotoimintaa. Tavoitteena on puolittaa rautateiden elinkaarikustannukset ja tuplata kaluston käyttökapasiteetti sekä täsmällisyys. [6, s. 3.]

Rataverkon lisäksi rautateiden teknologian kehityksen keskiössä on käytettävän kaluston automaation aste sekä alusta digitaalisille ratkaisuille. Uuden kaluston tuotekehityksen lisäksi myös olemassa olevan kaluston junanohjaus- ja hallintajärjestelmät alkavat vanhemman kaluston osalta saavuttaa elinkaaren päänsä. Liikenneturvallisuuden ylläpidon sekä raideliikenteelle asetettujen kehitystavoitteiden saavuttamiseksi, nykyisen kaluston tekniset järjestelmät tulevat vaatimaan teknologian päivityksen (retro fit) lähitulevaisuudessa [5 s. 83]. Näitä järjestelmiä päivitettäessä on harkittava, kuinka kalusto pysyy vastaamaan kansallisiin ja kansainvälisiin tavoitteisiin osana älykästä rautatieinfrastruktuuria. [1, s. 119.]

## 2.1 Arvon muodostuminen eri segmenteissä

Digitalisaatio on tällä hetkellä megatrendi ympäri maailman, ja teollisen internetin tarjoamat mahdollisuudet uusien liiketoimintamallien ja palveluiden kehityksessä ovat vähintäänkin suurta kiinnostusta herättäviä tekijöitä jo itsessään. Vaikka digitaalisten ratkaisuiden kehittämisen tavoitteena on rautatieliikenteen markkinaosuuden lisääminen, on kehitystyön tuotettava arvoa myös valmistajalle, kalustonomistajalle tai loppuasiakkaille. [7, s. 28.] Yhtenä tämän insinööriyön tehtävänä oli kartoittaa ja arvioida kalustovalmistajan näkökulmasta, mistä osakokonaisuuksista arvoa voisi muodostua ja vastavuoroisesti millaisia ratkaisuja esimerkiksi SmartRail-ekosysteemin kautta voisi näihin tarjota. Kartoituksessa hyödynnettiin Euroopan eri kehityshankkeiden selvityksiä ja materiaaleja, sekä pidettiin palvelumuotoilutyöpajoja yrityksen asiantuntijoiden kanssa. Kaksikerroksiin Intercity-vaunuihin liittyvän liiketoiminnan kannalta arvon muodostumisen voi jakaa muodostuvaksi neljässä eri segmentissä.

Ensimmäinen ryhmä on kaluston valmistus ja tuotekehitys, tämän työn yhteydessä ensisijaisesti Škoda Transtech Oy, sekä yrityksen sidosryhmät. SmartRail-ekosysteemi on avoin kasvava ekosysteemi, jossa on raitiovaunujen kehitystyön yhteydessä käyty yhteistyökeskusteluja yli 60 toimijan kanssa. [8, s. 3.] Toinen ryhmä on tuotteen loppuasiakkaat, tärkeimpänä matkustajat. Raideinfran ja kaupunkien älyteknologian kehittymisen myötä myös esimerkiksi kaupungit ja liikelaitokset voidaan lukea tähän ryhmään. Kolmantena ryhmänä on kalustonomistajan toiminta, kuten operointi ja kalustonhallinta sekä näihin liittyvät kustannukset. Neljäs ryhmä on ulkoiset palveluntuottajat, kuten kunnossapito tai ravintolavaunujen palvelut.

Jotta junamatkailun osuutta liikennevälineenä saadaan kasvatettua, on pohdittava, mitkä ovat niitä tekijöitä, jotka saavat matkustajan valitsemaan juuri junan kulkuvälineekseen. Matkustajat haluavat ensisijaisesti päästä määränpäähensä turvallisesti, nopeasti ja täsmällisesti, kilpailukykyiseen hintaan. Yhä enemmän arvostetaan myös sitä, että matkustajan voi valita itselleen parhaaseen ajankohtaan. Eli liikkumiselle on oltava tarjonta silloin, kun asiakas kulkuvälinettä tarvitsee. Lisäksi päätökseen matkustustavasta vaikuttavat mukavuuteen liittyvät tekijät, yleinen matkan sujuvuus sekä palvelut ja viihtyvyys matkan aikana. [9, s. 24.] Tekniikan näkökulmasta matkan täsmällisyyteen ja nopeuteen

vaikuttavat etenkin kaluston luotettavuus ja käytettävyys sekä kaluston käytön ja liikennesuunnittelun optimointi.

Kalustonomistajan kannalta tärkeä kokonaisuus on kaluston operointi sekä operoinnin tuki ja työkalut. Samoin tärkeitä tekijöitä ovat muiden toimintojen, kuten teknisen asiantuntijaorganisaation työkalut. Myös muun junahenkilökunnan palvelut sekä resursointi ovat suuressa roolissa. Kalustonomistajalle on tärkeää tietää myös kaluston kunto, luotettavuus ja käytettävyys. Kokonaisvaltaisesta kalustonhallinnasta voitaisiin tärkeimpänä nostaa elinkaarenhallinta aina valmistuksesta romutukseen saakka sekä reaaliaikainen kalustonvalvonta. Edellä mainitut vaikuttavat olennaisesti koko liikennesuunnitteluun ja liikkumispalveluiden optimointiin, mikä tehostaa vaunujen käyttöastetta ja kaluston kohdentamista. Uuden teknologian avulla voidaan vaikuttaa raiteiden käytön optimointiin, mikä pienentää esimerkiksi ratamaksuja. Vähäisistä ilmastopäästöistä huolimatta on junaliikenteen energiankulutuksen tehokkuutta yhä mahdollista parantaa myös tulevaisuudessa. Kaiken kehityksen raideliikenteessä on myös tähdättävä turvallisuuden parantamiseen ja ylläpitoon niin liikenteessä kuin varikoillakin.

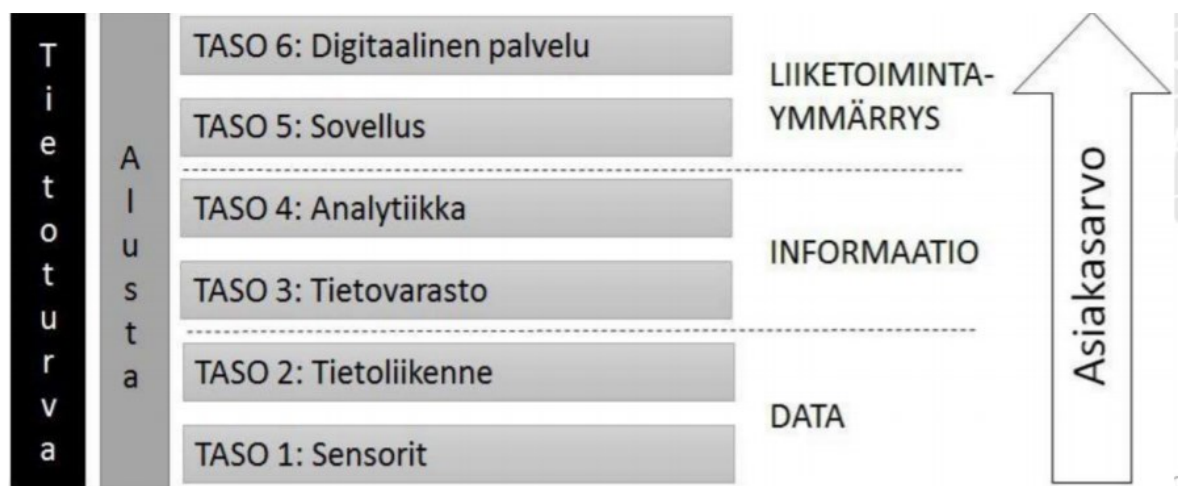
Vaunukaluston teknologisen kehityksen kannalta tärkeimmän kokonaisuuden palveluntuottajien ryhmästä muodostaa kunnossapito. Kunnossapidon optimointi digitalisaation keinoin sisältää valtavasti potentiaalia, etenkin kunnossapidon tehokkuuden kehityksessä. Kunnossapidon tehokkuutta voidaan arvioida kustannustehokkuudella, käytettävyydellä, epäkäytettyystkustannuksilla sekä kokonaistehokkuudella (KNL, englanniksi OEE). Kunnossapidon kustannukset ovat suuruudeltaan merkittäviä, ja ne voidaan jakaa välittömiin sekä välillisiin kustannuksiin. Erityisen haastavan kunnossapidon kustannuksista tekee niiden ominaisuus olla luonteeltaan hallitsemattomia. Etenkin vikakorjausten kustannus on hallitsematon erä, jonka hallittavuuteen voidaan vaikuttaa automaation sekä digitaalisten toimintojen avulla. Kunnossapidon välittömät kustannukset koostuvat pääosin kunnossapidon työtunneista ja materiaalikustannuksista. Välilliset kustannukset aiheutuvat muun muassa vaunujen seisotuksesta ja siirroista sekä varikkokustannuksista. [10, s. 12.]

Kunnossapito vaikuttaa välillisesti lähes kaikkeen toimintaan mutta erityisesti kaluston operointiin. Kunnossapidon suunnittelu onkin yhteispeliä kaluston operoinnin kanssa, jossa molemmat osapuolet hyötyvät lyhyestä, oikein ajoitetusta läpimenoajasta. Huollossa oleva vaunu on pois tuottavasta liikenteestä. Mitä pidempään huolto kestää, sitä suuremmat ovat niin kunnossapidon kuin vaunun seisonta-ajan kustannukset. Kunnossapidon välittömiin kustannuksiin vaikuttaa myös, paljonko resursseja ja materiaaleja kuuluu työn suoritukseen ja hallintaan. Lisäksi korjaus tai huolto on saatava suoritettua luotettavasti ja ammattitaitoisesti, jottei samaa komponenttia jouduta korjaamaan pian uudestaan. Kunnossapidon optimoinnin apuna voidaan hyödyntää dataa ja kuntoon pohjautuvaa kunnossapitoa. Tavoitteena on, että osattaisiin tehdä huollot ja korjaukset korkealaatuisesti silloin, kun vaunu olisi muutenkin sivussa liikenteestä. Tarkemmin kunnossapidon vaikutuksia koko toiminnan kannattavuuteen on esitetty liitteessä 1. Tämän työn yhteydessä ”tuotanto” -sana on korvattava sanalla ”liikenne”, ja raaka-aineet sekä materiaalit ovat junavaunuja. Oikeaan osuvat investoinnit liittyvät tässä yhteydessä teknologian kehitykseen.

Kalustonvalmistajan näkökulmasta suurin potentiaali arvomuodostumiselle liittyy tuotekehitykseen sekä uusien palvelukokonaisuuksien tarjontaan. Rautatieliikenteen markkinoilla on tällä hetkellä vahva kysyntä kalustolle, joka pystyy tarjoamaan korkean automaation asteen ja mahdollistaa digitaalisten palveluiden tarjonnan. Kalustovalmistaja voi parantaa tuotteensa kilpailukykyä ja hinnoittelua kyetessään toteuttamaan nämä tuotekehityksessään. Markkinoiden globaalistuessa etenkin ulkomaanmarkkinoita ajatellen suomalaisen tuotteen kilpailuvaltteja ovat korkea laatu ja teknologian taso. Pitkässä juoksussa tehokkaampi datan keräys myös tuottaa takaisin valmistajalle tietoa esimerkiksi tuotteidensa laadusta ja käyttäjäkokemuksista. Tämä mahdollistaa myös datapohjaisen tuotekehityksen ja auttaa optimoimaan suunnittelua sekä vähentämään suunnitteluvirheitä tulevaisuudessa. Digitaalisten palveluiden kysyntä tarjoaa mahdollisuuden myös täysin uusien palvelukokonaisuuksien markkinoihin. Toimiakseen digitaaliset palvelut tarvitsevat järjestelmien ja laitteiden välistä toimivaa integraatiota ja yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Järjestelmän keskiössä ovat itse kaluston ratkaisut, jotka tarjoavat myös kalustovalmistajalle täysin uusia liiketoimintamahdollisuuksia. [11; 12.]

## 2.2 Digitalisaatio liiketoimintaympäristössä

Digitalisaatiolla tarkoitetaan yleisesti datan siirtämistä ja käsittelyä tietokoneiden ymmärtämässä muodossa. Teollisuuden digitalisaatioon liittyy laajemmin älykkään data-analyysin, esineiden internetin (IoT, Internet of Things) ja uusien digitaalisten palveluiden hyödyntäminen liiketoiminnan kehityksessä. Siihen sisältyy myös fyysinen tiedonkeruu sensoreilta ja laitteilta sekä kerätyn tiedon muuttaminen digitaaliseen muotoon. Digitalisaatiolla automatisoidaan tai tehostetaan perinteisten palveluiden toteutusta sekä laitteiden, prosessien ja ekosysteemien toiminnan optimointia. Sitä hyödynnetään myös korkeamman arvoluonnin ja resurssitehokkuuden muodostumisessa. [7, s. 11.] Digitaaliset palvelut tarvitsevat integroidun pilvipohjaisen alustan datan keräystä, siirtoa, tallennusta, analytiikkaa sekä palvelun muodostamista varten. Kokonaisuuden komponentteja valittaessa on huomioitava tarkkaan datan laatu, jotta järjestelmä kykenee toteuttamaan eheän ja tehokkaan datan käsittelyn jokaisella tasolla siirryttäessä läpi teknologiapinon. Digitaalisten ratkaisuiden teknologiapino on esitetty kuvassa 2.



Kuva 1. Digitaalisten ratkaisuiden teknologiapino [12, s. 143].

Älykkäät, verkottuneet laitteet ja palvelut tarvitsevat toimiakseen myös yhdistävän verkko-yhteyden. Komponentteja, laitteita ja järjestelmiä toisiinsa ja internetiin yhdistävää verkkoa kutsutaan usein esineiden internetiksi (IoT). Junakaluston dataverkko-yhteydestä käytetään myös nimitystä junan internet (Internet of Trains), jossa junan älykkäät alijärjestelmät kommunikoivat dataa pilvipalvelun kautta keskusdata-alustalle. [13, s. 42.]

Rautatiekaluston digitaalisessa kehitystyössä on huomioitava, että älyliikenteen ratkaisut, etenkin autonomisen liikenteen kehittyminen, vaativat riittävää palvelutasoa langattomalta dataverkkoteknologialta. Tällä hetkellä kysyntä suuntautuu etenkin 5G-verkkojen sekä satelliittiverkkojen tarjontaan. Liitettäessä järjestelmiä yhä enemmän internetiin, etenkin kaupalliseen verkkoon, on myös äärimäisen tärkeää huomioida tietoliikenteen turvallisuus, yhteyden saatavuus sekä kyberturvallisuus. [5, s. 43–44.] Tietoturvan vuoksi myös käyttäjien sekä käyttöoikeuksien hallinta on tärkeää. Datavetoisten palveluiden markkinoiden kannalta tulee myös datan omistus olemaan erittäin tärkeässä roolissa.

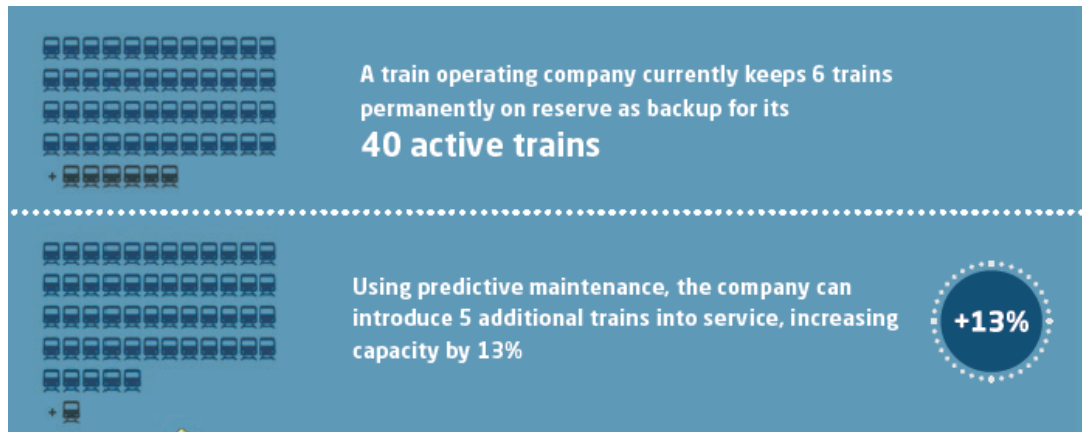
### 2.3 Digitalisaation tarjoamat mahdollisuudet kaksikerrosvaunujen kehitykselle

Rautateiden siirtyminen seuraavan sukupolven teknologiaan on valtava kokonaisuus, jossa eri alueiden teknologia yhdistyy monitasoisesti, muodostaen verkostomaisen kokonaisuuden. Älykäs Intercity-vaunu on yksi osa tätä kokonaisuutta. Täyttääkseen täyden potentiaalinsa, se tarvitsee ympärilleen toimivan infrastruktuurin sekä integroitavan pilvipohjaisen alustan datan käsittelylle. Kokonaisuuden valmistuminen on vuosien tai jopa vuosikymmenien prosessi, jossa useiden eri toimijoiden yhteistyöllä teknologiaa kehitetään erillisillä projekteilla. Vaunun älyratkaisuja kehitettäessä onkin tavoiteltava hyvää modulaarisuutta, jolloin ei olla sitouduttu lopullisesti yhteen ratkaisuun, vaan luodaan mahdollisuudet jatkuvalla kehitykselle. Modulaarisuus myös mahdollistaa vaunun teknologian hyödyntämisen eri infrastruktuureissa, joka on tärkeä tekijä kansainvälisiä markkinoita ajatellen.

Digirata on jo kehitteillä. Liittyminen älykkäisiin kaupunkeihin on ehkä vielä tulevaisuutta, mutta mitä mahdollisuuksia Intercity-vaunujen digitalisaatio tarjoaa junaliikenteen tarpeisiin? Lähtökohta vaunujen älyteknologian hyödyntämiselle on, että vaunusta saataisiin enemmän dataa anturointien, diagnostiikan, digitaalisten palveluiden, paikannuksen, järjestelmien integraation sekä simulaatioiden avulla. Lisäksi kerättävää dataa olisi saatava siirrettyä ja käsiteltyä laajemmin etäkäytettävän digitaalisen alustan kautta. Vaunun paikannustietoa ja digitaalisten palveluiden kuten matkustajalaskennan avulla, voidaan kehittää muun muassa liikkumispalveluiden optimointia. Näitä sekä etädiagnostiikkaa hyödyntämällä voidaan parantaa vaunujen reaaliaikaista valvontaa ja edelleen tarjota parempia palveluita liikenteen operoinnin hallintaan.

Uudet digitaaliset palvelut ja matkustajainformaatiojärjestelmä ovat avainasemassa myös matkustuksen mukavuuteen ja helppouteen liittyvissä innovaatioissa. Esimerkiksi sveitsiläinen Súdostbahn tarjoaa liputonta *JustGo*-palvelua, jossa lippua ei ollenkaan tarvitse ostaa erikseen. Järjestelmä tunnistaa matkustajan älypuhelimien BiBo (Be-in/Be-out) -puhelinsovelluksen, bluetooth-beacon-majakan avulla. Data käsitellään taustapalvelussa, jonka avulla lipun hinta veloitetaan automaattisesti kuljetun matkan mukaan. [13, s. 27.] Itävallan kansallinen rautatieyhtiö ÖBB puolestaan tarjoaa matkustajilleen yhdistetyn informaation ja viihteen *infotainment*-alustan, informaatiojärjestelmän innovaation tuloksena. Alusta tarjoaa muun muassa tietoa matkan kulusta ja palveluista sekä uutisia, lehtiä, televisiopalveluita sekä musiikkia. [14.] Etenkin kaupunkialueilla matkustajapalveluiden kehityksen suuntana on MaaS (Mobility As A Service), eli liikkuminen palveluna. Tällöin liikkumisen palvelut on koottu kokonaisuudeksi, josta matkustaja voi valita tarvitsemansa osat ”ovelta ovelle - yhdellä maksulla” -periaatteella. [15.]

Kaluston luotettavuuden, käytettävyyden ja kustannustehokkuuden hallinnassa kunnossapidolla on suuri merkitys. Etenkin ennakoiva, kuntoon ja dataan perustuva kunnossapito on avainasemassa tulevaisuuden kalustonhallinnan kehityksessä. Näiden edellytyksenä on aiemmin mainitut riittävä datan keräys ja hallinta. Datavetoisten digitaalisten palveluiden kehittyminen mahdollistaa myös kalustonvalmistajille edellytykset tarjota kunnossapidon työkaluksi digitaalisia palvelukokonaisuuksia. Viankorjauksen, simulaatioiden sekä ennakoivan kunnossapidon palvelut eivät ainoastaan palvele tehokkaampaa kunnossapitoa, vaan kaluston koko elinkaaren hallintaa. PMaaS (Predictive Maintenance as a Service) eli ennakoivan kunnossapidon palvelukokonaisuus mahdollistaa vikakorjauksen ja huoltojen optimoinnin tehtäväksi silloin, kun vaunut eivät muutenkaan olisi liikenteessä. PMaaS:n avulla voidaan vähentää myös linjavikaantumisia eli parantaa kaluston luotettavuutta. Tämä edelleen vähentää tarvetta varalla pidettävälle kalustomäärälle, jolloin enemmän kalustoresurssia vapautuu liikenteessä käytettäväksi. Esimerkki ennakoivan kunnossapidon vaikutuksesta sidottuun kaluston määrään on esitetty kuvassa 3. [13, s. 32.]



Kuva 2. Esimerkki ennakoivan kunnossapidon vaikutuksesta kaluston käytettävyyteen [13].

Ennakoiva kunnossapito sekä etädiagnostiikka myös parantavat kaluston ja liikenteen turvallisuutta. Yhdistettynä älykkääseen ratainfraan voidaan junaliikenteen turvallisuutta lisätä entisestään. Automaattisen kunnonvalvonnan avulla voitaisiin siirtyä tehokkaampaan valvontaan pienemmillä resursseilla ja saada nopeammin tarkempaa tietoa vaunujen kunnosta. Huoltojen ja viankorjauksien optimoinnin lisäksi digitaaliset alustat mahdollistavat kunnossapitotoiminnan jatkuvaa parantamista.

Kun saavutetaan riittävä datan keräyksen taso, tarjoaa kerätyn datan analysointi taas uusia mahdollisuuksia. Suuresta määrästä kasvavaa ja muuttuvaa dataa käytetään nimitystä *Big Data* ja sen analysointia hyödynnetään etenkin tekoälyyn perustuvissa ratkaisussa. Tekoälyä hyödyntämällä voidaan kehittää kaluston ominaisia algoritmeja ennakoivan kunnossapidon, operoinnin ja kaluston älykkään toiminnan tueksi. Algoritmit ovat toimintamenetelmiä tai sääntöjä, miten jokin tehtävä tai prosessi suoritetaan. Tekoäly voidaan ohjata ratkaisemaan jokin tietty tarkkaan määritelty ongelma algoritmien avulla. Koneoppiminen on yksi tekoälyn osa-alue, jossa ei ole määritelty algoritmeja, vaan tekoäly oppii itse päättämään haluttuun lopputulokseen. Koneoppimisen avulla on mahdollista löytää isosta data-aineistosta säännönmukaisuudet, joita ihminen ei löytäisi. Tekoälyn sovelluskohteita ovat muun muassa asiakaskäyttäytyminen, ennustaminen ja havainnointi sekä datan kerääminen toiminnan tehostamiseksi ja päätöksenteon tueksi. [1, s. 99.]

Reaaliaikaisen datankeräyksen ja tekoälyn avulla voidaan kehittää myös digitaalisia kaksosia (englanniksi digital twin), joka on käytännössä simuloitu digitaalinen kopio alkupe-  
räisestä reaali maailman kohteesta. Tekoälyä hyödynnetään jo esimerkiksi teollisuu-  
dessa ja lentoliikenteen autonomisen ohjauksen sekä liikennesuunnittelun kehityksessä  
[16]. Tekoälyyn pohjautuvat ratkaisut ovat myös tulossa osaksi rautatieliikenteen tekno-  
logista kehitystä. Esimerkiksi Britannian länsirannikon pääradan liikennesuunnittelussa  
sekä kunnossapidon optimoinnissa hyödynnetään tekoälyä ja digitaalisia kaksosia. Te-  
koälyä hyödynnetään myös autonomisen liikenteen ratkaisuja kehitettäessä. Euroo-  
passa on jo käynnissä hankkeita, jotka tähtäävät kohti autonomista liikennettä. [17, s. 8–  
9.] Myös Suomessa rautateiden teknologiaa kehitetään junahenkilökunnan tehtävien au-  
tomatisoinniksi. Autonomisessa liikenteessä etenkin uusi eurooppalainen junan kulun-  
valvontajärjestelmä ETCS on suuressa roolissa. Autonomisuuden tasoa kuvataan GoA-  
tasolla 1-4 (Grade of Automation). GoA-tasot ovat:

1. Veturinkuljettaja huolehtii junan kaikesta ohjauksesta, mutta automaattinen junan kulunvalvontajärjestelmä turvaa junan kulkua.
2. Kuljettaja käynnistää automaattiajon ja kuljettaja käyttää junan ovia ja voi tark-  
kailla junan kulkua. Muilta osin juna liikkuu automaattisesti.
3. Juna liikkuu täysin automaattisesti, mutta poikkeustilanteiden varalta myös hen-  
kilökunta on paikalla.
4. Juna liikkuu täysin automaattisesti eikä junassa ole henkilökuntaa edes poik-  
keustilanteiden varalta. [1, s. 119.]

#### 2.4 SmartRail-ekosysteemi

SmartRail on Škoda Transtech Oy:n vuonna 2017 käynnistämä raidekaluston älykkäisiin ja digitaalisiin ratkaisuihin sekä palveluihin keskittyvä ekosysteemi. Tavoitteena on siirtyä kohti kokonaisvaltaista raideliikenteen palvelu- ja liiketoiminta ekosysteemiä, joka tarjoaa digitaalisia integroituja toimintoja ja palveluita läpi tuotteen elinkaaren. Ekosysteemi synnyttää uuden sukupolven raidekalustotuotteita ja teknologiaratkaisuita sekä niihin liittyviä oheispalveluita. SmartRail-ekosysteemin tavoitteena on parantaa kilpailukykyä nykyisillä

markkinoilla sekä luoda liiketoiminnan kasvumahdollisuuksia uusilla markkinoilla. Tärkeimmät uudet markkinat muodostuvat uusien liiketoiminta-alueiden sekä vientivetoisten tuotteiden kehityksen kautta.

SmartRail on toistaiseksi keskittynyt raitiovaunujen teknologian ja palveluiden kehittämiseen. Se on vahvasti mukana tällä hetkellä etenkin Tampereen sekä Helsingin Jokeri-raitiovaunun projektien yhteydessä. Aluksi ekosysteemi perustettiin SmartTram-nimellä, mutta laajentuessaan myös raitiovaunujen ulkopuolelle on nimeksi vaihtunut SmartRail. Ekosysteemiin osallistuu useita eri toimijoita yrityksistä, oppilaitoksista, kuntien liikennelaitoksista sekä liiketoiminta-aloilta. Ekosysteemin ensimmäinen vaihe käynnistettiin 2019 Business Finlandin tukemana. Ekosysteemin innovaatiokumppanina sekä tutkimushankkeiden koordinaattorina toimii Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Vaikka SmartRail on toistaiseksi keskittynyt pääsääntöisesti raitiovaunuihin, ovat samankaltaiset tavoitteet myös junakaluston teknologisen kehityksen keskiössä. [18; 19.]

### **3 Kaksikerroksiset InterCity-junavaunut sekä käytössä oleva järjestelmä**

#### **3.1 Nykyinen kalusto**

VR:n Suomessa liikennöimä kaksikerroksinen Intercity-vaunukalusto koostuu Škoda Transtech Oy:n vuosina 1998-2021 toimittamista kaksikerroksisista matkustajavaunuista sekä autovaunuista. Vaunukalusto koostuu erityyppisistä vaunuista, joilla kaikilla on omat käyttötarkoituksensa. Eri vaunutyypit eroavat toisistaan varustelun tai järjestelmien osien suhteen, mutta ovat ohjaus- ja hallintajärjestelmiltään yhteneviä. Teknologian kehitys on kuitenkin tuonut vuosien varrella myös ohjaustekniikkaan eri versioita. Jokaisella vaunutyypillä on sarjatunnus eli kirjainlyhenne, jota vaunujen tunnistamiseen yleisesti käytetään. Kirjain E tarkoittaa Eko-luokan vaunua ja kirjain d, että kyseessä on kaksikerroksinen InterCity-vaunu. Perusmatkustajavaunusta käytetään siis lyhennettä Ed, josta business-varusteltu vaunu on edelleen Edb. Palveluvaunu Eds sekä perhepalveluvaunu Edfs sisältävät palveluita perheille ja liikuntarajoitteisille sekä konduktöörinmikron, joissa junahenkilökunnalla on laajemmat ohjausmahdollisuudet. Kaksikerroksisen ravintola-vaunun kirjainlyhenne on Erd ja makuuvaunun Edm. Nämä poikkeavat muista vaunuista

etenkin varustelun ja vesijärjestelmän osalta, mutta noudattavat niissäkin samoja periaatteita kuin muut vaunut ja sisältävät samanlaisen yleisohjausjärjestelmän kuin muut vaunut.



Kuva 1. Kaksikerroksinen Intercity-juna, keulalla Edo-ohjausvaunu.

Ohjausvaunu Edo on matkustamon varustelun puolesta samanlainen kuin tavallinen Ed-vaunu, mutta vaunun keulalla on veturia vastaava ohjaamo, josta koko junaa voi ohjata kuten veturista. Ohjausvaunun ansiosta veturia ei tarvitse ajaa rungon toiseen päähän junan vaihtaessa kulkusuuntaa vaan riittää, että kuljettaja siirtyy junan toisessa päässä sijaitsevaan ohjausvaunuun, josta junaa voi ohjata. Matkustajavaunujen lisäksi Škoda Transtech Oy on myös toimittanut 15 katettua Gd-autovaunua, jotka on tarkoitettu ainoastaan autojen kuljettamiseen junan mukana. Junavaunuista voidaan koota haluttu kokoonpano, jota vetää tai työntää veturi, yleisimmin Sr2- tai Sr3-mallin veturi. Tässä opinäytetyössä varsinaiseen junan ajotekniikkaan ei syvennytä tarkemmin, eli veturit sekä junan ajo-ohjauksen erillinen järjestelmä on jätetty pääosin ulkopuolelle. Kokonaisuudessaan kalustoon sisältyy yhteensä 312 kaksikerrosvaunua. Taulukossa 1 on lueteltu eri vaunusarjojen tyypit ja toimitusvuodet.

Taulukko 1. Vaunujen tyypit ja toimitusvuodet. [20]

Sarja								Toimitusvuodet
	Ed/Edb	Eds	Edfs	Edm	Edo	ERd	Gd	
ICS01	30	12						1998-2000
ICS02	34		16					2000-2002
VRAV01							15	2004-2005
VRMV01				20				2005-2006
ICS04	15		5					2007-2008
VRMV02				20				2010-2011
ICS06	30		10					2011-2012
ICS07					12	15		2013-2014
ICS08						11		2014-2015
ICS09					13			
ICS10	20			10	17	7		2016-2021

Nykyisessä Intercity-vaunukalustossa on toki jo olemassa oleva järjestelmä junan ohjaukselle ja palveluiden tuottamiselle. Näihin keskittyvässä tuotekehitystyössä on tiedettävä lähtötilanne eli mistä nykyinen järjestelmä koostuu ja millaisia toiminnollisuuksia on hyödynnettävissä. Tämän insinööryön yksi tehtävä oli koostaa yrityksen laajasta tuotedokumentaatiosta sekä sääntelevistä standardeista ja määräyksistä automatisoinnin ja digitaalisen kehitystyön kannalta olennaisimmat tiedot ja ominaisuudet.

### 3.2 Nykyinen ohjaus- ja hallintajärjestelmä

Junan ohjausjärjestelmän kautta sananmukaisesti ohjataan junan eri toimintoja ja kerätään tietoa tapahtumista. Nykyinen TCMS (Train Control and Management System) eli ohjaus- ja hallintajärjestelmä on EKE-elektroniikka Oy:n (tästä eteenpäin EKE) toimitama kokonaisuus, johon muut eri toimittajien alijärjestelmät on liitetty. Nykyisessä kalustossa on käytössä EKE:n kahden eri ikäpolven juna-pc-järjestelmää, Trainnet III sekä Trainnet IV. Näistä vanhempi, Trainnet III on käytössä ICS01–ICS06-sarjan vaunuissa. Näissä vaunuissa vaunujen välinen väyläkommunikointi tapahtuu vain EKE:n oman Trainnet-väylän kautta. Uudempi Trainnet IV on käytössä vaunusarjasta ICS07 lähtien ja sisältää Trainnet-väylän lisäksi IEC 61375-standardin mukaisen WTB-väylän.

Ohjausjärjestelmän perustana toimivat niin kutsutut vaunumikrot, joiden kautta datan siirto, ohjaus ja hallinta tapahtuu. Jokaisessa vaunussa on oma vaunumikronsa ja vaunumikrossa HMI-käyttäjäpaneeli (Human Machine Interface) tietojen selailua varten sekä ohjainpainikkeita junahenkilökunnan käyttöön. Lisäksi laajempia ohjauksia varten junarungossa on myös konduktöörin hytin sisältävä vaunu, jossa on kattavampi vaunumikro. Näitä ovat Edfs- ja Eds-sarjan vaunut.

Erillisistä vaunuista koostuvassa kalustossa on vaunujen välinen tiedonsiirto sekä kaapeloinnit erityisen tärkeässä roolissa, jotta ohjausdata kulkee luotettavasti läpi koko junarungon. Samoin on huomioitava vaunujen lisäksi itse junan ajo-ohjaus, joka tapahtuu vetureista sekä Edo-ohjausvaunuista. Edo-vaunujen sekä vetureiden ajoon liittyvä junaohjaus on toteutettu Siemensin järjestelmällä, ja koostuu ohjausyksiköistä ja niiden välisistä kaapeloinneista. Junaohjauksen järjestelmästä käytetään nimitystä TCU, joka tulee englannin kielen sanoista Traction Control Unit. Junan ajo-ohjaus on muusta ohjausjärjestelmästä erillinen kokonaisuus, joten se huomioidaan tässä työssä vain siltä osin, kuin se liittyy vaunujen yleisohjausjärjestelmään. Siemensin ajo-ohjauksen järjestelmä on yhdistetty EKE:n yleisohjausjärjestelmään ja siten käyttää osin samaa kaapelointia. [21.]

### 3.3 Ohjaus- ja diagnostiikkadatan siirto yksiköiden välillä

#### 3.3.1 Määrittävät dokumentit

Junakalustossa käytettävien sähköisten järjestelmien, ohjausten ja tiedonsiirron menetelmiä määrittävät useat kansainväliset standardit ja määreet. Tämän osuuden kannalta tärkeimmät ovat EN 61375 -standardit, jotka määrittelevät junakaluston tiedonsiirtoväylien fyysisen toteutuksen. Standardit olivat aikaisemmin yhdistettynä IEC 61375-1 -standardin alle, jonka mukaan suuri osa nykyisestä kalustosta on valmistettu. Tämän insinööriyön järjestelmäkuvauksissa viitataan siihen standardin versioon, johon on myös viitattu kyseissä tuotedokumentaatioissa tai määrelehdissä. EN 61375 -standardien lisäksi erittäin tärkeitä ovat Kansainvälisen rautatieliiton UIC:n määreet ja standardit. UIC on standardoinut junatermistöä sekä laatinut teknisiä määreitä junakaluston yhteensopivuuden parantamiseksi, joiden tavoitteena on varmistaa määreiden mukaan rakennettujen kalustojen yhteentoimivuus. [22.]

Datansiirtoa junakalustossa määrittelevät TCN-standardit, jotka koostuvat useista eri standardeista. EN 61375-1 erittelee tiedonsiirtomenetelmät kahteen kategoriaan rajapintojen mukaan. Ensimmäinen kategoria on eri yksiköissä, eli vaunuissa tai vetureissa, sijaitsevien laitteiden väliseen tiedonsiirtoon. Toinen on samassa yksikössä sijaitsevien laitteiden väliseen tiedonsiirtoon sekä liittymiseen varsinaiseen junaväylään. Nämä kaksi yhdessä muodostavat junan tietoliikenneverkon TCN:n (Train Control Network). [24, s.17.] TCN on läpi junan tiedonsiirron mahdollistava hierarkkinen infrastruktuuri, joka määrittää edelleen nämä kaksi eri tason väylää: yksiköiden eli vaunujen sekä veturin välisen tiedonsiirron junaväylän, WTB (Wired Train Bus) -väylän, joka on tarkemmin määritelty standardissa EN 61375-2-1 sekä yksikön sisäisen MVB (Multifunction Vehicle Bus) -väylän, joka on määritelty standardissa EN 61375-3-1. [25.]

UIC 556 -määrelehti täsmentää ja yhdenmukaistaa IEC 61375 -standardissa määritettyjä junakaluston datansiirron standardeja, jotta määreen mukaan rakennetut vaunut ovat kommunikointiin yhteensopivia [25, s. 11]. Väylien lisäksi ohjaus- ja kuulutusdatan siirrossa vaunujen välillä käytetään UIC-määrelehtien mukaisia signaaleja. UIC 558 määrittelee etäohjauksen ja datakaapeleiden rakenteelliset ominaisuudet ja UIC 568 määrittelee kaiutin- sekä puhelinjärjestelmän tekniset ominaisuudet. Lisäksi jarru- ja luistonesto data kulkee määrelehden UIC 541-5 -mukaisessa EP-linjassa. UIC 541-5 määrittelee EP (Electropneumatic brake) sekä EBO (Electropneumatic emergency brake override) -linjojen toteutuksen. [26.]

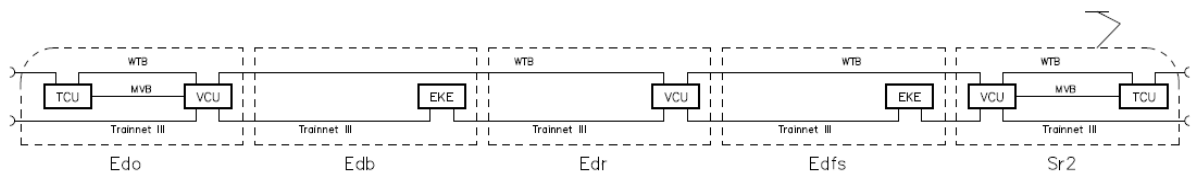
Junan tiedonsiirtoverkkoa rakennettaessa on myös huomioitava muut vaunukaluston teknisiä ratkaisuja ohjaavat määrittelyt ja standardit. Määrittelyistä tärkeimpiä ovat Euroopan unionin yhteentoimivuuden tekniset määrittelyt, kuten vetureita ja henkilöliikenteen liikkuvaa kalustoa koskeva yhteentoimivuuden tekninen määritelmä. Sähköturvallisuuden sekä sähkömagneettisen yhteensopivuuden varmistamiseksi vaunun ratkaisuiden on täytettävä liikkuvan kaluston sähköohjeiston LISO 1.8:n vaatimukset. Samoin on täytettävä EN 50500 -standardin vaatimukset, jotka määrittävät rautatieympäristön elektronisten ja sähköisten laitteiden tuottaman magneettikentän mittausmenetelmiä ihmisten altistumisen suhteen. Vaunun sähköisten järjestelmien täytyy myös noudattaa standardeja EN 50121-3 ja EN50155 sekä CNR:n (Community of Nordic Railways) liikkuvan kaluston sähköisten laitteiden spesifikaatiota. EN 50155 määrittelee rautatiesovellusten liikkuvassa kalustossa käytettävän elektronisen laitteiston ominaisuuksia esimerkiksi

lämpötilaan, kosteuteen ja värinään liittyen. EN 50121-3 määrittelee rautatiekalustossa käytettävien sähkö- ja elektroniikkalaitteiden EMC-säteilyä ja häiriönsietokykyä. [27, s. 9.] Myös tiedonsiirtoverkoissa on huomioitava paloturvallisuutta määrittelevät EN 45545-standardit [27, s. 10]. Kaikki vaunujen valmistusta määrittävät standardit ja määräykset löytyvät tarkemmin kaksikerrosvaunujen teknisestä spesifikaatiosta ja sen liitteistä. Näistä välillisesti datansiirron kannalta tärkeitä määrittäviä standardeja ovat esimerkiksi junakaluston elektronisia laitteistoja määrittävät standardit: EN 50126 – RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) määrittelee rautatiekaluston sovelluksien luotettavuutta, käytettävyyttä, huollettavuutta ja turvallisuutta. EN 50128 määrittelee rautatiekaluston viestintää, merkinantoa sekä näiden ohjelmia. EN 50129 -standardi määrittelee järjestelmäturvallisuutta.

### 3.3.2 Junan sekä vaunun väylät

Vetureissa, sekä ICS07 ja sitä uudemmassa vaunukalustossa ohjaus- ja diagnostiikkatietojen siirrossa yksiköiden välillä on käytössä IEC 61375-1 -standardin (uusimissa vaunuissa EN 61375-2-1) mukainen WTB-väylä. Käytössä oleva WTB-väylä täyttää myös UIC 556 -määrelehden mukaiset vaatimukset ja on ensisijaisesti erillisistä yksiköistä koostuvien junayksiköiden väliseen tiedonsiirtoon tarkoitettu väylä. WTB-väylä on pisimmillään tarkoitettu 22 yksikön väliseen tiedonsiirtoon ja voi pitää sisältään enintään 32 nodea eli liityntäpistettä. Väylän tiedonsiirtonopeus on 1 Mbit/s, joten se ei sovellu suurta datansiirtonopeutta vaativiin sovelluksiin kuten videokuvan siirtoon. Käytössä on kahdennettu väylä, joissa molemmissa on kaksi redundanttia signaalilinjaa, A ja B, jotka kiertävät vaunumikron WTF-moduulien kautta. WTB-väylän kaapelointi on kierretty ja häiriösuojattu parikaapeli, jotka kulkevat vaunujen välillä OduMacin UIC-kaapelissa sekä EP-kaapelissa. Väylä on itse konfiguroituva, eli jos junan kokoonpano muuttuu, väylä konfiguroituu automaattisesti. Samoin signaalien laatua monitoroidaan automaattisesti. [21; 23, s. 564.]

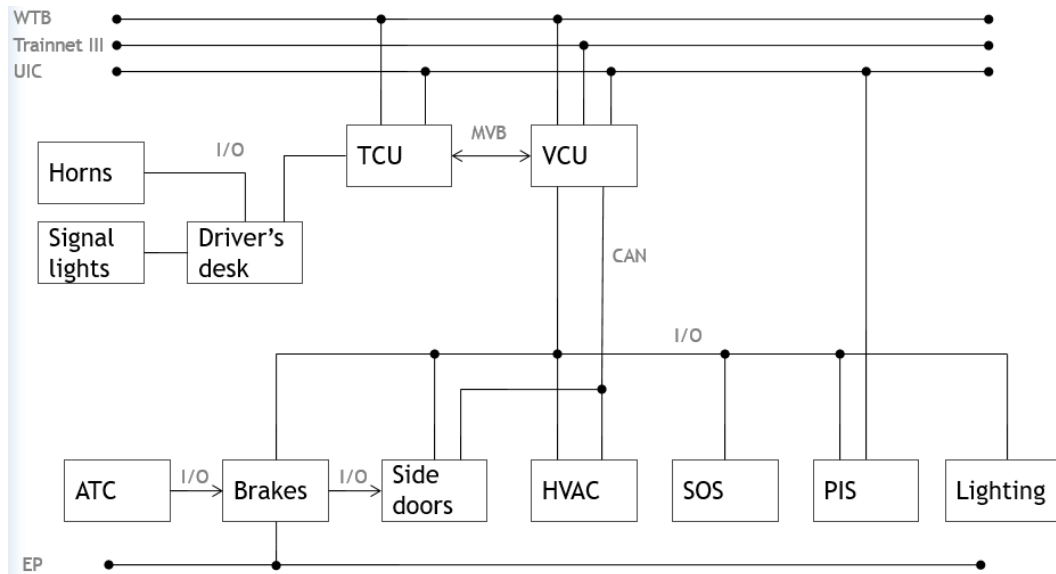
Lisäksi WTB-väylän rinnalla vaunujen välisessä tiedonsiirrossa käytetään EKE:n Trainnet-väylää. Trainnet oli ennen WTB-väylän käyttöönottoa ohjaus- ja diagnostiikka-datan siirtoon käytetty väylä. Sitä pitkin kulkee käytännössä sama data kuin WTB-väylässä, paitsi ei veturin ajo-ohjaukseen liittyvän TCU:n dataa. ICS07-sarjaa vanhemmissa vaunuissa ei ole WTB-rajapintaa vaunumikrolla, jonka vuoksi se on edelleen käytössä kaikissa vaunuissa. Trainnet-väylä ei ole standardien mukainen, vaan sen toiminnallisuudet ja toteutus ovat EKE:n määrittämiä, joista ei ole saatavilla tarkempaa tietoa.



Edo: steering coach with new VCU  
 Edb: existing ICS-coach with EKE Trainnet III  
 Edr: restaurant coach with new VCU  
 Edfs: existing ICS-coach with EKE Trainnet III  
 Sr2: locomotive with new VCU and TCU

Kuva 2. WTB, MVB ja Trainnet -väylien topologia [26].

Vaunujen sekä vetureiden laitteiden yhdistämiseen junan tietoliikenneverkkoon on olemassa erilliset väyläkaapeloinnit yksiköiden sisällä. MVB-väylää pitkin yhdistetään vetureiden ajolaitteiden data, tärkeimpänä jarrutestien data, junan tietoliikenneverkkoon. Toisin sanoen yhdistetään ajo-ohjausjärjestelmän data yleisohjausjärjestelmään, TCU–VCU:n (Vehicle Control Unit) välillä. Junaohjauksen väylien topologia on esitelty kuvassa 4. Lisäksi sivuovien, ilmastoinnin ja lämmityksen sekä WC-logiikoiden data yhdistetään vaunumikrolle CAN-väylällä. CAN-väylä on yleisesti ajoneuvoissa ja teollisuudessa käytetty luotettava automaatiöväylä, joka on määritelty ISO 11898 -standardeissa. Järjestelmien topologia ja liittyminen junan tiedonsiirtoverkkoon on esitelty kuvassa 5.



Kuva 3. Järjestelmien liittyminen junan tiedonsiirtoverkkoon [26].

Myös junakalustoon on laajenemassa nopeampaa tiedonsiirtonopeutta vaativia sovelluksia, kuten videomuotoisen datan lähettäminen. Tämän vuoksi standardia on laajennettu sisältämään myös Ethernetiin perustuvan junantiedonsiirtoverkon, jolla on mahdollista saavuttaa jopa 100Mbit/s tiedonsiirtonopeus. Ethernet-ratkaisua ollaan myös ottamassa käyttöön osana kaksikerroksisten Intercity-vaunujen tiedonsiirtoverkkoa. Olemassa olevat ethernet-väylän ratkaisut on rakennettu ESU- (Ethernet Switching Unit) sekä ERU (Ethernet Router Unit) -moduulien ympärille. Uusimmissa vaunuissa on junan kiinteän perusyksikön sisäisen verkon muodostava ECN (Ethernet Train Consist). ETB (Ethernet Train Backbone) eli yksiköiden välistä tiedonsiirtoa Ethernet-väylän avulla ei ole toteutettu. [28, s. 3.] Ethernet-pohjaisen junaväylän toteutus on määritelty standardissa EN 61375-3-4.

### 3.3.3 Vaunujen väliset kaapelit

Vaunujen välissä kulkee kolme erillistä kaapelia, joiden kautta dataa siirretään eri yksiköiden välillä. Jokainen kaapeli on rakennettu eri käyttötarvetta varten, ja ne eroavat toisistaan rakenteen, sisällön sekä standardienmukaisuuden osalta. Kahdennetut yhteydet kulkevat eri kaapeleissa, jotta yhteys säilyy myös jonkin kaapelin rikkoutuessa. Odu-mac-kaapelissa on käytössä yhteensä 18 johdinta, joista johtimet 1-8 ovat UIC-määrelehtien mukaisia signaalijohtimia kuulutusdatan siirtoa varten. Trainnet-väyläkaapeli on

kierretty nelijohdinkaapeli, jolla on oma häiriösuojausvaippa sekä muovikuori, mutta kulkee Odumac-runkokaapelin sisällä. Sen johtimet kaapelissa ovat numerot 9-12. Samoin WTB-väyläkaapelilla on IEC 61375-1 -standardin mukainen oma häiriösuojausverkko sekä muovikuori Odumac-runkokaapelin sisällä. Varajohtimina sekä muita ohjaustietoja varten kaapelissa on lisäksi johtimet 13-16, jotka myös ovat UIC-määreiden mukaisia. Odumac-kaapelin sisällä on myös Cat 6A -standardin mukainen kaapelointi videomuotoisen datansiirtoa tai muuta Ethernet-väylää vaativien sovellusten datansiirtoa varten. Odumac-kaapelin kokoonpanon rakenne tai liittimet eivät ole rakennettu UIC-määrelehden mukaisesti. [21.]

Toinen kaapeli on niin sanottu kuulutuskaapeli, joka puolestaan on myös kokoonpanoltaan sekä liittimien rajapinnoiltaan UIC 558 -määrelehden rakenteen mukainen. Määrelehti määrittelee kaapelille taipuvan kaapelin, jossa on 18-napainen pyöreä liitin. Nykyisessä kalustossa näistä on käytössä 13 johdinta, joista johtimet 1-8 ovat kuulutusdatan signaaleille vastaavasti kuten Odumac-kaapelissa. Samoin johtimissa 9-12 on Trainnet-väylän kahdennus. Lisäksi johtimen 13 kautta kulkee kaapelin häiriönpoisto, ja veturiin liittymistä varten kaapelin johtimissa 17 ja 18 on varaus WTB-väylän tiedonsiirtoa varten.

Kolmas kaapeli on niin kutsuttu EP-kaapeli, jossa kulkee jarrujen sähköisen ohjauksen ja monitoroinnin signaalit sekä WTB-väylän kahdennus. EP-kaapelin rakenne ja rajapinnat ovat UIC 541-5 -määrelehden mukaisia. Kaapelissa on pyöreä 9-napainen liitin ja vastaava määrä eri paksuisia johtimia: johtimet 1-4 sekä johtimet A-E. Näistä johtimet 1-4 ovat halkaisijaltaan 10mm<sup>2</sup> ja tarkoitettu EP-linjan signaaleille. Johtimet A ja B ovat 6mm<sup>2</sup> -johtimia tehonsyötölle ja johdin D on 2,5mm<sup>2</sup> johdin EBO-jarrun toiminnolle. Johtimet C ja E on varattu WTB-väylän parikaapelille. [29, s. 22-23.]

### 3.4 Vaunumikro

Jokaisessa vaunussa on oma vaunun ohjausyksikkö, englanniksi vehicle control unit, josta kiskokalustojen yhteydessä käytetään usein lyhennettä VCU. Sitä käytetään alijärjestelmien automatisoitujen toimintojen ohjaukseen ja diagnostiikan toimintoihin, sekä näiden yhdistämiseen junan tiedonsiirtoverkkoon. VCU on junatietokone, joka koostuu valituista moduuleista sekä kehikosta, johon moduulit on kiinnitetty. Kaksikerroksissa InterCity-vaunuissa CCS (Coach Command System) eli VCU:n pääkokoonpano sijaitsee

fyysisesti vaunun P-pään Q-sähkökaapissa, kuvassa 6. Samassa tilassa on myös ohjausyksikköön liitetty 6,5-tuumainen käyttöpaneeli. FDU-paneelin (Flat Display Unit) kautta voi selata yksittäisen vaunun sekä koko junan diagnostiikka- ja tilatietoja sekä versiotietoja. Lisäksi vaunun toisessa, R-päässä, on toinen hajautettu I/O-yksikkö, joka on liitetty vaunun VCU-yksikköön ethernet-yhteydellä.



Kuva 4. Vaunumikro uuden ICS10Ed-sarjan vaunun Q-kaapissa

Yhdessä tämä kokonaisuus muodostaa vaunun ohjausjärjestelmän perustan, vaunumikron. Edelleen vaunumikrot yhdistettynä junan tiedonsiirtoverkkoon sekä ajo-ohjausjärjestelmään muodostavat junan ohjaus- ja hallintajärjestelmän TCMS:n. EKE:n Trainnet IV -konsepti on rakennettu avoimen lähdekoodin, Linuxin ohjelmistoalustalle. Ohjelma on kirjoitettavissa C-kielellä tai EKE:n IsaGraf PLC -ohjelmalla. Käytössä olevat ohjelmaversiot ovat kuitenkin EKE:n toimittamia. VCU:n moduulit koostuvat prosessori ja tehonlähde moduuleiden lisäksi väylä- ja signaalirajapinnoista. Koska vaunusarjat poikkeavat toisistaan, ja käytössä on kahden eri sukupolven järjestelmää, on myös moduu-

lien kokoonpanoissa pieniä eroavaisuuksia. Vaikka eri-ikäisten vaunujen VCU-moduulien toiminnallisuudet poikkeavat toisistaan, ovat kaikki käytössä olevat kokoonpanot kuitenkin keskenään yhteentoimivia. [30, s.18; 25.]

#### 3.4.1 Vaunumikron moduulit

Vaunun Q-kaapin CCS-yksikön sekä R-pään I/O-yksikön moduulit on asennettu kehikoihin, joissa on emolevy moduulien yhdistämistä varten. Moduulit ovat alumiinirakenteisia ja niissä on maadoituspiste, josta kehikot on maadoitettu. Kehikot ovat modulaarisia eli niihin voidaan liittää tarvittavat moduulit. Seuraavassa esitellään Trainnet IV -järjestelmän tärkeimmät moduulit.

WTF-moduulien (Wire Train Bus Interface module + fritting source unit) kautta tapahtuu vaunujen välinen WTB-kommunikointi. Moduuli on WTB-väylän rajapinta vaunumikrolle, jossa ovat WTB-väylän liittämistä varten TCN-standardin mukaiset Sub D-9 -tyypin liittimet. Moduulissa on lisäksi Fritting-toiminto, joka pitää vapaissa johtimissa 50 voltin jännitteen, jotta liittimen kosketuspinnat eivät pääse hapettumaan. WTB-väylän link layer -toiminnot on toteutettu moduulin paikallisella prosessorilla. [30, s.45.]

MVB-moduulin (Multifunction Vehicle Bus Interface Modulen) kautta yhdistetään TCU:n junaohjausdata vaunujen yleisohjausjärjestelmään VCU:lle. Vaunukalustossa TCU on vain ohjausvaunujen ohjaamossa, joten MVB-moduulit ovat ainoastaan Edo-vaunujen yksiköissä. Väylän kautta siirtyy jarrujenkoettelu viestintä järjestelmien välillä. Moduulissa on niin ikään TCN-standardin mukaiset SUB D-9 -tyyppiset liittimet ja myös MVB-väylän link layer -toiminnot on toteutettu moduulin paikallisella prosessorilla. [30, s. 46.]

TTB-moduuli (Trainnet Train Bus Module) on vaunujen trainnet-väylän kommunikointia sekä Trainnet III- ja Trainnet IV -versioiden yhdistämistä varten. Trainnet III -versiossa on NAU (Network Attachment Unit) -moduuli.

CVB-moduuli (CAN Vehicle Bus Interface Module) yhdistää vaunun CAN-väylät vaunumikrolle. Moduulilla voidaan luoda kaksi erillistä CAN-väylää yleisohjausjärjestelmään. Yhdessä moduulissa on kaksi SUB-miniature D-tyypin 9-pinnistä liittintä erillisille CAN-verkoille. [30, s.47.]

CPG-moduuli (Central Processing Unit with Graphical Display Controller) hallinnoi vaunumikrolle liitettyjen järjestelmien ohjausta ja ohjelman suorittamista. Myös WTB- ja MVB-moduulien reititys ja TCN-standardin reaaliajan protokollat sekä UIC 556 -määrälehden toiminnot on toteutettu CPG-moduulissa. Moduuliin on myös liitetty käytössä oleva HMI-näyttö. Siinä on lisäksi liityntä PST (Portable System tester) -huolto-ohjelman käyttöä varten. R-pään yksikön ohjausmoduuli on CPS (Central Processin Unit with Serial Links), eli siinä on myös sarjaväylä rajapinta. [30, s.40.]

ESU (Ethernet Switching Unit) yhdistää hajautetun I/O-moduulin CCS-moduuliin ja sen kautta ohjataan reittikilpiä sekä myyntinumeronäyttöjä. ESU-moduulissa on 10 erillistä D-koodattua M12-porttia, joista yksi on käytössä gateway-liityntään. [30, s.50.]

Vaununohjauksen signaalitietojen lähetystä ja vastaanottoa varten CCS:ssä on viisi DIO-moduulia (Digital Input/Output) sekä AIO-moduuli (Analog input module). R-pään hajautetun I/O:n yksikössä on kolme DIO-moduulia ja kaksi AIO-moduulia. AIO-moduulissa on 10 tuloa jännitesignaalien ja 10 tuloa virtasignaalien vastaanottoa varten. Moduuli on tarkoitettu mittaamaan jännitesignaaleja -10 voltista + 10 volttiin. Virtasignaalin milliampeerisignaalin virta voi vaihdella -20 mA ja +20 mA välillä. Moduuliin on myös liitettävissä taajuustuloja, joita voidaan käyttää pulssien laskemiseen tai taajuuksien mittaamiseen. [30, s.56-57.]

Vaunumikron käyttöjännite 110 VDC tulee junasta PIU-moduulille (Power Input Unit), josta se edelleen siirretään PSV-moduulille (Power Supply unit for VME). PSV-moduuli jakaa edelleen elektroniikan tarvitseman käyttöjännitteen 24VDC, 110VDC, 72VDC tai 36-52VDC.

Lisäksi vaunumikron VCU:iin on mahdollista liittää muita tarvittavia moduuleja. Nykyisin käytössä on edellä lueteltujen lisäksi PTI (PT100 temperature sensor input) -moduuli vaunumuuntajan lämpötilan mittausta varten.

### 3.4.2 Vaunun yleisohjausjärjestelmän tärkeimmät toiminnallisuudet

Järjestelmän avulla junahenkilökunta pystyy valvomaan ja ohjaamaan haluttuja vaunun tai junan toimintoja. Konduktöörin on kyettävä matkan aikana ohjaamaan sivuovia, lämmitystä ja valaistusta. Vaunumikrolta näkee junan molempien puolien kaikkien sivuovien tilatiedon, onko ovi auki. Jos juna on pysähdyksissä, voi konduktööri avata ja sulkea vaunun sivuovet sekä lukita tai poistaa lukituksen koko junan sivuovista. Kun juna lähtee liikkeelle, ovet menevät kiinni ja lukkoon automaattisesti. Vaunun valaistukselle on kolme vaihtoehtoa: valot kokonaan pois, puolivalaistus tai täysivalaistus. Lukuvalojen kytkimet ovat kunkin matkustajan paikan yhteydessä, mutta konduktööri voi tarkastaa niiden toimivuuden lukuvalojen koestuksella, jolloin kaikki lukuvalot syttyvät viideksi minuutiksi. Ilmastoinnin ja lämmityksen ohjaukseen on neljä eri tilaa: lämmitys/ilmastointi pois sekä seisonta- huolto- ja matkalämmitys. Matkan aikana käytetään matkalämmitystä, jolloin lämmityksen automaatio hoitaa lämmönsäätelyn automaattisesti. Matkan aikana olennaisempaa lämmityksen kannalta on seurata ilmastoinnin ohjausyksiköltä, sulanapito- lämmityksiltä sekä vaunumuuntajan lämpötilanvalvonnalta vaunumikrolle tuotua informaatiota.

Matkustajille olennaiset junankulktiedot reittikilville ja myyntinumeronäytöille konduktööri saa myös asetettua vaunumikron HMI-näytön kautta. Näytön kautta niin konduktööri kuin huoltohenkilökuntakin voivat myös seurata tärkeitä diagnostiikkatietoja vaunun alijärjestelmiltä. WC- ja vesijärjestelmältä tulee näytön pääsivulle hälytystieto pakkastyhjennyksestä sekä Edfs ja Edm -vaunusarjojen SOS-hälytykset liikuntarajoitteisten tiloista. Lisäksi Edm-vaunujen palohälytykset näkyvät myös vaununmikron näytöllä. WC- ja vesijärjestelmästä näkee myös tuore-, siirto ja jäteveesisäiliöiden pinnankorkeustiedot sekä vessojen yksikkökohtaiset diagnostiikka- ja huuhtelulaskureiden tiedot. Jarrutiedot ovat myös junan kulun kannalta erittäin olennainen tieto. Vaunumikron näytöltä näkee valitun jarrulajin, sekä eriteltynä kisko- ja paineilmajarrujen sekä käsi- ja hätäjarrun tilatiedot. Paineilmajarruista näkee myös sylinterien paineet sekä pääsäiliön ja jarrujohdon paineen. Kuljettajan tehdessä jarrujenkoettelua EKE:n järjestelmä siirtää laskentaan tarvittavat tiedot vaunuilta MVB-väylää pitkin Siemensin järjestelmään, joka tekee laskennan ja ilmoittaa lopputuloksen kuljettajalle.

Alijärjestelmien lisäksi HMI-näytöltä voi seurata myös väylien kuntoa. WTB- ja Trainnet-väylästä on konfiguraatiolaskurit, jotka ilmoittavat kuinka monta kertaa väylä on luonut

itsensä uudelleen tietyn ajanjakson sisällä. Väylä konfiguroituu automaattisesti, kun runkoon kytketään tai siitä irrotetaan vaunuja. Myös vika väylässä aiheuttaa usein turhia konfigurointeja, eli laskureita voi myös hyödyntää vianhaussa. TTB/NAU -väylä sisältää myös kunnonmittaustoiminnon, jossa jokainen väylälinja saa lukuarvon välillä 0-9 sen mukaan, kuinka pitkään väylä on toiminut virheettömästi. Lukuarvot ilmaistaan jokaisen vaunun kohdalla. Täysin toimivan väylän kohdalla siis näkymä olisi 99 99. WTB-väylässä ei vastaavaa indikointia ole. *Väylän kunto* välilehdellä vaunuluettelossa ainoastaan näytetään kirjaimet WTB niiden vaunuyksiköiden kohdalla, joilla WTB-väylä on käytössä.

HMI-käyttäjäpaneelin kautta on mahdollista tarkastella järjestelmän ohjelma- ja konfiguraatioversioita sekä I/O-moduuleiden tilatietoja. Vikatilanteita varten myös vaunun tai koko junan vikailmoituksille on oma sivunsa. Viankuvaustekstin lisäksi ilmoitetaan toimenpidekuvaus, jos sellainen on määritetty. Lukuun ottamatta ovi-, WC- ja HVAC -järjestelmiä, on vikadiagnostiikka vaunumikrolle kovin kevyt ja epätarkka. Esimerkiksi vikatilanne informaatiojärjestelmässä ilmoitetaan ”informaatiojärjestelmävika” ilman tarkempaa kohdennusta. Lisäksi mitä vanhemmasta vaunusta on kyse, sitä suppeampi diagnostiikka on. Tapahtumalokeja sekä diagnostiikan historiatietoja on mahdollista nähdä huoltopäätteellä PST-ohjelman kautta. [31.]

## 4 Vaunun alijärjestelmät

### 4.1 Informaatiojärjestelmä

Informaatiojärjestelmän ensisijainen tehtävä on tarjota matkustajalle informaatiota junamatkan aikana sekä asemilla. Järjestelmä on myös junahenkilökunnan kommunikoinnin työkalu toisilleen sekä matkustajille. Informaation välittäminen tapahtuu äänen ja kuvan avulla. Lisäksi informaatiojärjestelmään kuuluu viihdejärjestelmä, jonka tarkoitus on tarjota matkustajille viihdettä matkan aikana. Informaatiojärjestelmä jakautuu kolmeen eri alijärjestelmästä: kuulutus-, näyttö- ja viihdejärjestelmään. Informaatiojärjestelmän välttämättömät sisältöjen ominaisuudet rautatiekalustossa on määritetty Euroopan komission asetuksessa N:o 1300/2014 – asetus vammaisten ja liikkumisesteisten henkilöiden esteetöntä pääsyä Euroopan unionin rautatiejärjestelmään koskevista yh-

teentoimivuuden teknisistä eritelmistä. Asetus määrittää informaatiojärjestelmän ominaisuuksia hyvinkin tarkasti. Esimerkiksi junan seuraavan pysähdysaseman tieto on oltava luettavissa vähintään 51 prosentista vaunun matkustajapaikoista. [32, s. 69.]

Lisäksi järjestelmän sisällön toteutukseen vaikuttaa rautatieliikenteessä käytettävien sähkölaitteiden EN 50155 -standardi [27]. Lopulliset vaatimukset ja sisältö informaatiojärjestelmälle sovitaan kaluston lopullisen omistajan kanssa ja on määritetty informaatiojärjestelmän teknisessä spesifikaatiossa. Yleisesti teknologian kehityksen ja tuotekehityksen myötä informaatiojärjestelmissä on eroja eri vaunusarjojen välillä. Kuitenkin kaikkien vaunusarjojen järjestelmien on oltava keskenään yhteensopivia. Informaatiojärjestelmän laitteet ovat pääosin Telesten toimittama kokonaisuus, mutta esimerkiksi uusien vaunujen informaationäytöt ovat Cinian toimittamia.

#### 4.1.1 Kuulutusjärjestelmä

Vaunuissa on oltava kuulutusjärjestelmä, jonka avulla kuljettaja tai konduktööri voi kuuluttaa rutiini- ja hätätilanteiden informaatiota. Junan kuulutukset voivat toimia käsikäyttöisesti, automaattisesti tai ennalta ohjelmoituna. Esimerkiksi junan määränpää ja seuraava pysähdysasema on kuulutettava aina junan lähtiessä asemalta, ja nämä kuulutukset tulevat usein ennalta ohjelmoituna nauhalta. [32, s. 69.] Automaattisten kuulutusten lisäksi henkilökunta usein tekee muita kuulutuksia matkan aikana, jotka tehdään junapuhelimien kautta. Puhelimet on tarkoitettu myös junahenkilökunnan kommunikointiin. Konduktööri esimerkiksi tavoittaa junan kuljettajan junapuhelimen kautta. Jokaisessa matkustajavaunussa on oltava junapuhelimet henkilökunnan käyttöön. Puhelimet liittyvät vaunuvahvistimen kautta junan kuulutuslinjaan, ja on tarkoitettu junarungon sisäiseen kommunikointiin.

Vaunun kuulutusjärjestelmä sisältää kaiutinverkoston, eli kaiuttimet ja niiden linjamuunnattajat, puhelimet sekä vaunuvahvistimen. Kaiuttimia on ympäri vaunua, vaunusarjasta riippuen yhteensä keskimäärin 20 kappaletta. Vaunuvahvistin ohjaa koko kuulutusjärjestelmän toimintoja ja junakuulutukset sekä taustaohjelma toimivat sen kautta. Se on modulaarinen laitteisto, joka sisältää erilaisia pistoyksiköitä: tehonlähde-, pääteaste-, UIC-liitäntä-, kuulopuhelin- sekä prosessoriyksikkö. Lisäksi ravintolavaunuissa sekä Eds- ja

Edfs-sarjan vaunuissa on radiopuhelinyksikkö RTU-10. Vaunuvahvistin sijaitsee fyysisesti samassa kehikossa vaunumikron kanssa vaunun Q-kaapissa. Vaunuvahvistin liittyy UIC-väylälle, jonka kautta kuulutuksien data kulkee vaunujen välillä. [33.]

#### 4.1.2 Näyttöjärjestelmä

Junamatkan ensimmäinen vaihe matkustajan näkökulmasta on löytää ensinnäkin oikea juna ja toisekseen oikea vaunu päästäkseen haluamaansa määränpään hänelle varatulla paikalla. Näiden matkan kannalta välttämättömien tietojen esittämiseen matkustajalle käytetään kuulutusten lisäksi vaunujen informaationäyttöjä. Vaunun molemmilla puolilla on ulko-ovien välittömässä läheisyydessä, vaunusarjasta riippuen, kaksi tai neljä reittikilpinäyttöä. Näytöistä selviää juna- ja vaununumero, määräsäema sekä kautta-asetmat. Lisäksi vaunun sisällä on kaksi myyntinumeronäyttöä, joista selviää vaunun myyntinumero. Informaationäyttöjen tekstin on oltava selkeästi luettavissa ja tekstin luettavuuden ominaisuudet kuten koko, laatu ja esitysaika on tarkkaan määritetty. Sekä reittikilvet että myyntinumeronäytöt ovat LED-näyttöjä, joita ohjataan vaunumikrolta ethernet-verkon kautta. [27.]

#### 4.1.3 Viihdejärjestelmä

Vaunun viihdejärjestelmän avulla voidaan tarjota matkustajalle muuta matkaan liittyvää informaatiota tai palveluita matkan ajalle. Viihdejärjestelmä sisältää videomonitoriverkon, jonka kautta matkustajille voidaan välittää videokuvaa, informaatiota ja karttatietoja. Kuvassa 7 on esillä matkustamon käytävän videomonitorreja ICS10Edo-sarjan vaunusta. Videomonitorien datan vastaanottotapa riippuu vaunun vastaanottojärjestelmästä. Uudemmissa vaunusarjoissa datansiirto tapahtuu JWLAN (Junan Wireless Local Area Network) -verkon yli VBOX:ien ja EDID-controllerin kautta. Vanhemmissa vaunusarjoissa taas datansiirto tapahtuu vaunun viihdekehikon kautta. Videomonitorien lisäksi ravintolavaunuihin on asennettu kabinetti- ja mainosnäytöt, sekä FM-radio, yläkerran lisäkaiuttimet ja esiintyjän mikrofoni sekä kaiuttimet. Viihdejärjestelmän laitteistojen lisäksi vaunun junaverkko tarjoaa matkustajille mahdollisuuden WI-FI:n käyttöön. [33.] Varsinaisen informaatiojärjestelmän lisäksi vaunuissa on joitain informaatiomerkkivaloja matkustajien opastamiseksi, kuten varattu-valot WC:ssä ja puhelinkopissa.



Kuva 5. Videomonitoria ICS10Ed-vaunun käytävällä.

#### 4.2 WC- ja vesijärjestelmä

WC- ja vesijärjestelmä sisältää kahden WC-yksikön istuimet ja hanat sekä näiden tuorevesi-, harmaa-vesi- ja mustavesijärjestelmät. WC-järjestelmän laitteet ovat pääasiassa paineilmatoimisia, mutta niiden ohjaus on toteutettu sähköisesti. Järjestelmä sisältää myös joitain pneumaattisia ohjauksia. Vesijärjestelmä on varustettu lämminvesivaraajilla, joilla käytettävä vesi lämmitetään. Makuuvaunuissa sekä ravintolavaunuissa on lisäksi huomattavasti laajemmät WC- sekä vesijärjestelmät. Kaikissa vaunutyypeissä on myös tuoreveden pakkastyhjennystoiminto. Järjestelmän laitteet ovat EVAC GmbH:n toimittama kokonaisuus. [34.]

WC-yksiköillä on EVAC:in omat ohjaukset huoltoliitynnällä, mutta koko WC- ja vesijärjestelmän toimintaa ohjataan ja valvotaan Omronin logiikoilla. Uudemmassa kalustossa WC- ja vesijärjestelmän ohjauksessa on käytössä Omronin Sysmac CJ2M -logiikkaohjain. Pakkastyhjennyksellä on oma logiikkansa, Omronin Sysmac CP1L, joka on myös WC- ja vesijärjestelmän ohjauksessa vanhemmassa kalustossa. Kaikki logiikoiden käyttämät ohjelmat ovat kuitenkin Škoda Transtech Oy:n tekemiä. WC:n logiikalta on CAN-väylä yhteys vaunumikrolle. Lisäksi suoraan logiikoilta sekä toimilaitteilta on johdotettu

I/O-signaaleita vaunumikrolle. Toistaiseksi vaunumikrolle tuodaan WC:n diagnostiikka ja muita tilatietoja sekä huuhtelulaskurin nollaus. [34.]

#### 4.3 Lämmitys ja ilmastointi

Vaunun lämmitys- ja ilmastointijärjestelmä on Lumikon toimittama kokonaisuus. Ed-matkustajavaunussa se koostuu R-pään laitetilassa sijaitsevasta matkustamokoneikosta, ilmastointikanavistosta sekä konvektiolämmittimistä. Järjestelmästä käytetään usein englanninkielistä lyhennettä HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Järjestelmä toimii automatiikan ohjaamana, jonka ohjausjärjestelmässä on kaksi logiikkamoduulia MOD.1 ja MOD.2. Järjestelmä sisältää sisäisen vikamuistin ja diagnostiikan historiatietoja voi selata erillisen huolto-ohjelmiston kautta. Huoltoliityntää varten järjestelmässä on RS232-liityntä USB-adapterilla. Järjestelmään on myös mahdollista liittää GSM-lisäosa, joka mahdollistaa toiminnan seuraamisen sekä parametrien muutokset etäohjauksella. Edo-ohjausvaunuissa on lisäksi ohjaamokoneikko sekä ohjaamon logiikkamoduuli. Logiikkamoduuleista on CAN-väyläyhteys vaunumikrolle sekä joitain I/O-tilatietoja. HVAC-järjestelmä on varustettu paineiskujärjestelmällä, jolloin antureiden havaitessa paineiskun poisto- ja tuloilma-aukot suljetaan automaattisesti. Paineiskujen toimintaa ohjataan PCU500-logiikkayksiköillä. Myös sivuovet kuuluvat paineiskujärjestelmään, jonka vuoksi CAN-väylä kiertää vaunumikrolle sivuovien kautta. Paineiskusuojauksen tarkoitus on pitää sisäpaineen vaihtelu alle 300 Pa/s.

Järjestelmän käyttö tapahtuu pääasiallisesti vaunumikron kautta. Q-kaapilla, jossa vaunumikrokin sijaitsee, on toimitilojen valintapainikkeet, joista tilatieto menee vaunumikron kautta CAN-väylää HVAC-järjestelmän ohjauslogiikoille. Valittavia tiloja on neljä: lämmitys/ilmastointi pois, huoltolämmitys, seisontalämmitys ja matkalämmitys. HVAC-järjestelmästä vaunumikrolle tulee vikadiagnostiikka sekä vaunun lämpötilat. Lämmitys ja ilmastointi säätyvät näiden toimintatilojen sisällä automaattisesti logiikoiden ohjaamana, mitkä pyrkivät pitämään sisäilman lämpötilan asetusarvoissaan antureiden avulla. Vaunussa on myös hiilidioksiditason (CO<sub>2</sub>-tason) anturi, jonka mukaan vaunun raitisilmamäärä määräytyy. Kylmällä säällä lämmitystä tehostetaan myös konvektiolämmittimillä. [35.]

#### 4.4 Sivu-, väli- ja päätyovet

Vaunun sivuilla molemmin puolin on vaunusarjasta riippuen yhteensä kaksi tai neljä sivuovea, joiden kautta kulkeminen vaunun sisälle tapahtuu. Matkustajat saavat ovet auki ovien sisä- ja ulkopuolelle sijoitetuista painikkeista. Junahenkilökunnalla on lisäksi mahdollisuus hallita ovien liikkeitä vaunukohtaisesti jokaisen vaunun oman vaunumikron painikkeista. Kuljettajat voivat avata ja sulkea koko junarungon ovet ohjaamon hallintapainikkeista. Ovien lukitsemiselle on myös omat painikkeet vaunumikroilla sekä ohjaimossa, jos matkustajien ei haluta avaavan ovia. Ovet lukittuvat myös automaattisesti nopeuden ylittäessä 5 km/h. Sivuovijärjestelmässä on useita hallinta ja signaalelementtejä ovien toimintaa varten, kuten turva- ja rajakytkimiä, asentoantureita ja summereita. Jokaisella ovella on oma ohjausyksikkö DCU, joka ohjaa kaikkea oven toimintaa. Ohjausyksiköt on yhdistetty vaunumikrolle josta ovien kiinni/auki- ja nopeustiedot tulevat I/O-signaaleina ja lisäksi diagnostiikkatieto kulkee CAN-väylää pitkin. CAN-väylää hyödyntämällä voidaan kaikki oviohjausyksikön diagnostiikka tiedot välittää ja esittää vaunumikrolla. [36.]

Vaunun pääty- ja väliovilla on niin ikään omat erilliset ohjausyksikkönsä, jotka ohjaavat ovien toimintaa. Näiltä ei ole kuitenkaan yhdistetty vaunun yleisohjausjärjestelmään CAN-väylällä, vaan vikatiedot indikoidaan LED-merkkivaloilla oviohjaimessa. Tarkempaa diagnostiikkaa tai dataa nähdäkseen ohjainyksikköön on liityttävä huoltotietokoneella. Vaunumikrolle on tuotu vain yksittäisiä I/O-signaaleja, kuten vikaantumisen tilatieto vikareleeltä, sekä päätyovien SYNC-signaali, jonka avulla seuraavan vaunun päätyovi synkronoidaan avautumaan ja sulkeutumaan yhtäaikaaisesti avattavan oven kanssa helpottaen kulkua vaunusta toiseen. [37; 38.]

#### 4.5 Jarru- ja luistonestojärjestelmä

Vaunujen varsinaisena käyttäjarruna ovat itsetoimiset paineilmaohjatut levyjarrut. Lisäksi jarrutusta voidaan tehostaa magneettisilla kiskojaruilla. Vaunujen yhtäaikainen jarrutus saadaan aikaan UIC 541-5 -määrelehden mukaisella itsetoimijarrun EP-ohjauksella. Kuljettaja ohjaa koko junan jarrutoimintoja sähköisillä jarrujen ohjauskahvojen signaaleilla.

Lisäksi pitkin junarunkoa on sijoitettu hätäjarrukahvoja, joista kenen tahansa on hätätilanteessa mahdollista suorittaa hätäjarrutus. Vaunut on varustettu matkustajan hätäjarrun ohitustoiminnolla, EBO. Jarrujärjestelmään kuuluu myös lisäksi luistonestolaitteet, joiden tehtävänä on estää pyöriä lukkiutumasta jarrutuksessa. Jokaisessa akselissa on oma luistonestoanturi, joka mittaa akselin nopeutta ja tarvittaessa elektroninen ohjauslaite keventää jarrusylinteripainetta.

Koko jarru- ja luistonestojärjestelmää ohjaa kiskoajoneuvosektorin sovelluksiin tarkoitettu ESRA-moduulijärjestelmä (Electronic System for Railway Applications). Jarrujärjestelmän ohjelma sekä laitteiden signaalit toimivat ESRA-järjestelmän ohjainkorttien kautta. Lisäksi ESRA sisältää MMI (Multi Media Interface) -käyttöliittymän, jossa on 4-merkkinen aakkosnumeerinen näyttö sekä RS232-liityntä käyttäjäkommunikointia, esimerkiksi vikaselailua varten. Yleisohjausjärjestelmän ja jarrujenohjausjärjestelmän välillä ei ole väyläyhteyttä, mutta jarru- ja luistonestolaitteiden diagnostiikka ja tilatiedot, vaunun akseleiden nopeustiedot sekä kiskoajarrujen tila- ja koestustiedot siirtyvät järjestelmien välillä digitaali ja analogia signaaleina. Jarrujen puoliautomaattisen koettelussa veturin sähköiset ohjaukset käsitellään vaunumikrolla, joka myös valvoo ja vertailee jarrusylintereiden paineita. Vaunumikro ohjaa myös luistonestolaitteen testausohjelman käynnistyksen ja ilmoittaa, mikäli siinä ilmeni ongelmia. Jarrulaitteiden toimintatilan valvontaa varten vaunussa on anturoitu seuraavat toiminnot:

- matkustajan hätäjarru
- kiskoajarru ylhäällä teli 1 ja teli 2
- jarrut suljettu teli 1 ja teli 2
- luistonestolaitteevika ja häiriö
- paineilmajarru suljettu
- seisontajarru kiinni/auki
- kiskoajarru virrallinen teli 1 ja teli 2

- kiskojarrun ohjauspaine
- pääsäiliöjohdon paine
- jarrujohdon paine
- jarrusylinterin paine, teli 1 ja teli 2.

Jarru- ja luistonestojärjestelmän komponentit ovat Knorr Bremsen toimittamia.

[39; 40.]

## 5 Yhteenveto ja loppusanat

Tämän insinööriyön tarkoitus oli kartoittaa lähtötilanne Škoda Transtech Oy:n valmistamien kaksikerros-Intercity-junavaunujen digitalisaation kehityksen kannalta, sekä tärkeimpien kohtien dokumentointi tähän raporttiin. Työssä esitellään nykyisen kaluston järjestelmät, rautatieliikenteen digitalisaation viitekehys sekä vaihtoehtoja, mistä ja miten kehitystyön arvo muodostuu eri segmenteissä.

Ilmastonmuutoksen vastaisessa taistelussa junaliikenteen markkinaosuuden kasvattaminen on globaalisti nostettu merkittäväksi tavoitteeksi. Tavoitteen toteutumisessa digitalisaatio ja automaation aste ovat avainasemassa. Hyödyntämällä digitaalista teknologiaa ja uusia automaatoratkaisuja voidaan junaliikenteen alalla saavuttaa myös merkittäviä kustannussäästöjä ja parantaa tehokkuutta sekä turvallisuutta. Etenkin kunnossapidon, kalustonhallinnan ja liikennesuunnittelun optimoinnissa on valtavasti potentiaalia kehitykselle. Julkisen liikenteen toimintaan tavoitellaan myös palveluistumista eli haetaan uusia palvelukokonaisuuksia loppuasiakkaille sekä alan eri toimijoille. Raideliikenteessä ajankohtaisia kokonaisuuksia ovat esimerkiksi liikkuminen palveluna (MaaS) ja ennakoiva kunnossapito palveluna (PMaaS). Palvelukokonaisuudet tarvitsevat uusia pilvipohjaisia, digitaalisia ratkaisuja sekä laitteiden ja järjestelmien integraation parantamista.

Rautatiealan digitalisaation ja automaation asteen parantaminen ovat tavoitteena niin julkisella sektorilla, esimerkiksi Euroopan unionissa ja Suomen liikenne- ja viestintä ministeriössä sekä yksityisten sektorin toimijoilla. [1.] Osa VR:n strategiaa on panostaa digitalisaatioon ja uuteen teknologiaan [41] ja automaation lisääminen sekä älykkäiden liikenteenohjausjärjestelmien käyttöönotto ovat osa Fintraffic Raiteen strategiaa [42]. Myös Škoda Transtech Oy:n tavoitteena on tuotekehityksessään lisätä automaatiota ja luoda digitaalisia uuden teknologian ratkaisuja. SmartRail on Škoda Transtech Oy:n käynnistämä ekosysteemi, joka toimii alustana juuri tällaiselle kehitystyölle.

Haasteena uuden teknologian käyttöönotolle on nykyisen kaluston ja raideinfran riittämätön datan keräys ja hallinta. Muutokset on saatava toteutettua riittävän kattavasti täyttääkseen täyden potentiaalinsa, joten ainoastaan uusien tuotteiden tuotekehitys ei yksin riitä. Käytössä olevan kaluston järjestelmät sisältävät rajallisen määrän automaatiota, eikä dataa saada riittävästi digitaalisten palveluiden tarpeita varten. Nykyinen InterCity-vaunukaluston tekniikka on etenkin vanhemmasta päästä tulossa elinkaarenpäähän, ja teknologian päivityksien yhteydessä tehty retrofit-muutos olisi tehokas keino päivittää myös automaation ja digitalisaation aste riittävälle tasolle. Myös digirata-hankkeen aikataulu on sidoksissa tuleviin kaluston retrofit-päivityksiin. [5, s. 49.] Niin kaksikerroksisten Intercity-junanvaunujen kuin koko rautatieliikenteen digitalisaation kehitykseen tarvitaan alan eri toimijoiden yhteistyötä kuten SmartRail-ekosysteemissä.

Vastatakseen niin kansallisiin kuin kansainvälisiin raideliikenteelle asetettuihin tavoitteisiin on kehitystyötä varten muodostettava verkosto tai ekosysteemi alan toimijoista ja jakaa raideliikenteen digitalisaation kokonaisuus kehitysalueisiin, joissa vastuut voidaan tarkemmin määritellä. Oikeiden toimijoiden löydyttyä määritetään tarkemmat tavoitteet, aikataulut sekä innovaatiovaiheet. Hankkeen käynnistyminen edellyttää, että kokonaisuudelle sekä erillisille kehitysalueille löydetään niin kutsutut veturiyrietykset, joilla on osaamista ja halua kiihdyttää raideliikenteen innovaatiokenttää globaaleissa verkostoissa. [43.] Suomessa on käynnissä jo näihin tavoitteisiin tähtäviä hankkeita, kuten JKV-järjestelmän korvaamiseen keskittynyt digirata-hanke. Näiden vaikutusta koko raideliikenteen digitaaliselle kehitykselle ei tässä insinööriyössä käsitellä tarkemmin.

Intercity-vaunujen digitalisaation kannalta on selvitettävä Škoda Transtech Oy:n sekä SmartRail-ekosysteemin rooli Suomen raideliikenteen teknologisen kehityksen kokonaisuudessa. Seuraavana vaiheena on muodostaa konkreettiset tavoitteet sekä se, miten näiden toteutus Intercity-vaunuissa käytännössä voidaan ratkaista. Konkreettisina teknisinä toimenpiteinä Intercity-vaunujen digitalisaatiota ajatellen on kartoitettava, mitä laitteita ja järjestelmiä on saatavilla sekä niiden yhteentoimivuuden määrittely. Digitaalisten palveluiden alusta ja datanhallinta sekä omistusjako on huomioitava jo kehitystyön alkuvaiheessa. On myös arvioitava investointien suuruus sekä niiden vaikutukset eri toimijoille sekä matkustajaliikenteelle. Intercity-juna on Suomen kaukoliikenteen yleisin ja palvelutarjonnaltaan monipuolisin juna, joten vaunujen digitaalisten palveluiden sekä uusien teknologisten ratkaisuiden merkitys junaliikenteen kehitykselle on merkittävä [44].

## Lähteet

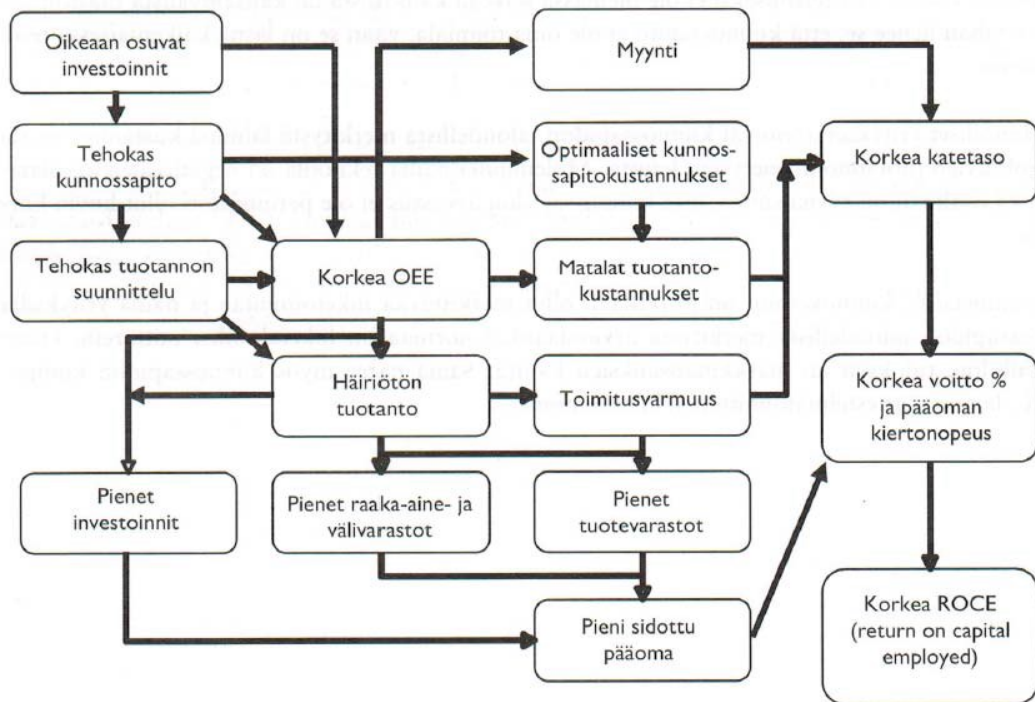
- 1 ICT-alan ilmasto ja ympäristöstrategiaa valmistelevan työryhmän väliraportti 2020. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu.
- 2 Korhonen, Antti. 2021. Director, services. Yhtiön strategia. Sähköpostikeskustelu 31.3.2021.
- 3 Yrityksen historia. 2020. Škoda Transtech Oy. Verkkoaineisto. <<https://www.transtech.fi/yritys/historia>>. Luettu 2.4.2021.
- 4 ITS-Finland. 2020. Smartrail ekosysteemi laajenee- toinen innovaatiovaihe käynnistynyt. Verkkoaineisto. ITS-Finland < <https://its-finland.fi/smartrail-ekosysteemi-laajenee-toinen-innovaatiovaihe-kaynnistynyt/>> Luettu 2.4.2021.
- 5 Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. Digirata selvityksen loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu.
- 6 Digitalisation in railway transport. 2019. Euroopan parlamentin kirjelmä.
- 7 Martinsuo Mia. & Kärri, Timo. 2017. Teollinen internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa. Helsinki: Kunnossapito yhdistys ProMaint ry.
- 8 Luhtala, Matti. 2019. SmarRail- ekosysteemi, Kohti yhteiskehittämiskokonaisuutta. TransDigi, Tiedonvaihtoseminaarin diat. VTT.
- 9 Shift2Rail Strategic master plan. 2015. Hankkeen pääsuunnitelma. Shift2Rail.
- 10 PSK 6201. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 2011. Kunnossapidon kustannustehokkuus. PSK Standardointiyhdistys ry.
- 11 Palvelumuotoilun työpajojen yhteenveto. 2021. Škoda Transtech Oy.
- 12 Collin, Jari & Saarelainen, Ari. 2016. Teollinen internet. Helsinki: Talentum Media Oy.
- 13 Pieriegud, Jana. 2018. Digital transformation of trains. Raportti. Department of transport SGH Warsaw school of Economics.
- 14 Travel planning & services. Verkkoaineisto. Itävallan kansallinen rautatieyhtiö ÖBB < <https://www.oebb.at/en/reiseplanung-services/im-zug/wlan-im-zug>> Luettu 2.4.2021.

- 15 Liikenne palveluna (MaaS). Verkkoaineisto. Motiva. < [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/liikenne\\_palveluna\\_%28maas%29](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/liikenne_palveluna_%28maas%29)> Päivitetty 4.8.2020. Luettu 2.4.2021.
- 16 Finnair parantaa lentoliikenteen tilannekuvaa uudella tekoälyratkaisulla. Verkkojulkaisu. < [https://www.lentoposti.fi/uutiset/finnair\\_parantaa\\_lentoliikenteen\\_tilannekuvaa\\_uudella\\_teko\\_lyratkaisulla](https://www.lentoposti.fi/uutiset/finnair_parantaa_lentoliikenteen_tilannekuvaa_uudella_teko_lyratkaisulla) > päivitetty 23.5.2019. Luettu 2.4.2021.
- 17 Artificial intelligence in transport. 2019. Euroopan parlamentin kirjelmä.
- 18 SmartTram-ekosysteemi tuo houkuttelevia ratkaisuja kestävään liikkumiseen ja luo kilpailukykyä. 2019. Verkkojulkaisu. Valtion teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/smarttram-ekosysteemi-tuo-houkuttelevia-ratkaisuja-kestavaan-liikkumiseen-ja-luo>>Päivitetty 18.10.2019. Luettu. 3.4.2021.
- 19 SmartRail Ecosystem. 2019. Verkkoaineisto. SmartRail Ecosystem.< <https://smartrailecosystem.com/about/> > Luettu 3.4.2021.
- 20 Knuuti, Jouko. Aftersales manager. 2021. Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 9.3.2021.
- 21 Ruuska, Jari & Helanne, Riku. ICS-vaunujen ohjausjärjestelmät. Palaverimuistio. Helsinki 10.12.2020.
- 22 International Union of Railways. Verkkosivusto. <[https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Union\\_of\\_Railways](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Union_of_Railways)> Viitattu 3.4.2021.
- 23 IEC 61375-1. Train communication network. Second edition. 2007. International Electromechanical Commission.
- 24 Train Communication network (TCN). 2021. Verkkoaineisto < <https://www.eke-electronics.com/train-communication-network-tcn>>. Viitattu 3.4.2021.
- 25 UIC Code 556. Information transmission in the train (train bus). 5<sup>th</sup> edition. 2010. International Union of Railways.
- 26 Steering coach control system. 2011. Tekninen määritelmä. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 27 ICS Double Deck Coach, Main Technical Specification. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.

- 28 Aarnio, Antti. 2013. Web-teknologioiden käyttö junien tietoliikennejärjestelmissä. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 29 UIC Code 541-5. Brakes – Electropneumatic brake (ep brake) Electropneumatic emergency brake override (EBO). 4<sup>th</sup> edition. 2006. International Union if Railways.
- 30 EKE Trainnet-järjestelmän esite. 2021. EKE-elektroniikka Oy.
- 31 Yleisohjauksen yleinen kuvaus ja toimintaseloste. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 32 Komission asetus (EU) N:o 1300/2014, Vammaisten ja liikkumisesteisten henkilöiden esteetöntä pääsyä Euroopan unionin rautatiejärjestelmään koskevista yhteentoimivuuden teknisistä eritelmistä. 2014. EUR-lex.
- 33 Informaatiojärjestelmä, yleinen kuvaus. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 34 WC- ja vesijärjestelmä, yleinen kuvaus. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 35 Lämmitys- ja ilmastointi, yleinen kuvaus. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 36 Sivuovet – toiminnan kuvaus, käyttöönotto ja huolto-ohjeet. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 37 Sähkötoiminen päätyovijärjestelmä – toiminnan kuvaus, käyttöönotto ja huolto-ohjeet. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 38 Sähkötoiminen väliovijärjestelmä – toiminnan kuvaus, käyttöönotto ja huolto-ohjeet. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 39 Luistonestojärjestelmä ESRA. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Skoda Transtech Oy.
- 40 Paineilma- ja jarrujärjestelmän yleinen kuvaus. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentaatio. Škoda Transtech Oy.
- 41 Visio, strategia ja arvot. 2021. VR Group. Verkkojulkaisu. Viitattu 3.4.2021.
- 42 Fintraffic Raiteen strategia. 2021. Fintraffic. Verkkojulkaisu. Viitattu 3.4.2021.

- 43 Veturiyrityksistä vipuvartta. 2021. Verkkojulkaisu. Business Finland. Viitattu 3.4.2021.
- 44 Intercity. 2021. Verkkojulkaisu. VR-yhtymä Oy. Viitattu 3.4.2021.
- 45 Mikkonen, Henry, Kunnossapitoyhdistys. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: käsikirja. Helsinki: KP-Media.

## Liite 1 Kunnossapidon vaikutus kannattavuuteen [45]



Kuva 3-1. Kunnossapidon vaikutus kannattavuuteen (Komonen 2009).