



Azat Kuitunen ja Oscar Nissin

Liikenteen automatisoitumisen perusteet -opintojakson kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Ajoneuvotekniikka

Opinnäytetyö

21.5.2024

Tiivistelmä

Tekijät:	Azat Kuitunen ja Oscar Nissin
Otsikko:	Liikenteen automatisoitumisen perusteet -opintojakson kehittäminen
Sivumäärä:	24 sivua + 1 liite
Aika:	21.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ohjaaja:	Lehtori Heikki Parviainen

Tässä opinnäytetyössä on suunniteltu ja luotu Metropolia Ammattikorkeakoululle oppimateriaali uuteen opintojaksoon nimeltä "Liikenteen automatisoitumisen perusteet", perustuen Metropolia Ammattikorkeakoulussa vuosina 2015–2023 toteutettuihin älykkään liikkumisen projekteihin.

Opintojakson tavoitteena on antaa ajoneuvotekniikan insinööreille ymmärrys liikenteen automaation monimutkaisuudesta ja sen vaikutuksesta yhteiskuntaan. Opintojakson keskeisinä teemoina ovat älykäs liikkuminen sekä liikkuminen palveluna (MaaS) ja liikkumisketju käsitteenä sekä älykkään liikkumisen teknologiset ratkaisut ja toimintaympäristö.

Opinnäytetyössä esitellään Metropolian rooli älykkään liikkumisen TKI-toiminnan historiaa sekä kuvataan opintojakson sisällön suunnittelua. Opintojakso on jaettu kuuteen eri aihekokonaisuuteen: johdanto ja historia, liikkuminen palveluna, liikkumisjärjestelmien muutosten tarve, teknologiset ratkaisut automaattisessa liikkumisessa, liikenneinfrastruktuuri ja telematiikka sekä lainsäädäntö.

Opinnäytetyössä laadittu oppimateriaali toimii pohjamateriaalina opintojaksolle. Sen tarkoituksena on tarjota opiskelijoille ymmärrys älykkään liikkumisen kehityksestä, teknologioista, haasteista sekä sääntely-ympäristöstä. Opintojakson avulla opiskelijat oppivat arvioimaan ja ymmärtämään älykkään liikkumisen merkitystä nyky-yhteiskunnassa ja tulevaisuudessa. Oppimateriaali on luovutettu vain työn tilaajan käyttöön.

Opintojakso toteutettiin ensimmäisen kerran syksyllä 2022 ajoneuvo- ja kuljetustekniikan insinööriopiskelijoille. Opintojakson kehitystyössä havaittiin, että aihe on erittäin laaja ja monitieteinen.

Avainsanat:	MaaS, Mobility as a Service, autonominen liikenne, automaattiset ajoneuvot, älykäs liikkuminen
-------------	--

Abstract

Authors: Azat Kuitunen and Oscar Nissin
Title: Development of the course Basics of Automated Mobility
Number of Pages: 24 pages + 1 appendix
Date: 21 May 2024

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Supervisor: Heikki Parviainen, Senior Lecturer

The aim of this thesis is to provide Metropolia University of Applied sciences with a new course, "Basics of Automated Mobility", based on smart mobility projects undertaken in the Metropolia UAS between the years 2015 – 2023.

The aim of the course is to provide automotive engineers with an understanding of the complexity of traffic automation and its impact on society. The main themes of the course are smart mobility, mobility as a service (MaaS) and the concept of the mobility chain, technology of smart mobility and the operating environment of future smart traffic.

The thesis presents Metropolia's role in smart mobility and describes the design of the course content, which is divided into eight different topics: introduction and history of smart mobility, mobility as a service, driving factors of the development of traffic systems, technological solutions of robotic vehicles, smart traffic infrastructure and legislation.

The learning material developed in this thesis will serve as a basis for the course. It aims to provide students with an understanding of the development of smart mobility, the technologies, the challenges and the regulatory environment. Through the course, students will learn to assess and understand the role of smart mobility in today's society and in the future. The course material has been made available for the exclusive use of the commissioner of the work.

The course was first implemented in autumn 2022 for students of automotive engineering. During the development of the course, it was recognised that the subject is particularly broad and multidisciplinary.

Keywords: MaaS, Mobility as a Service, autonomous mobility, smart mobility, automated mobility

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Työn määrittely	2
3	Opintojakson rakenne	3
4	Liikkuminen palveluna (Mobility as a Service) ja liikkumisketjun käsite	4
4.1	Liikkuminen palveluna	5
4.2	Liikkumisketjun (matkaketjun) käsite	6
5	Liikkumisjärjestelmien muutoksen tarve	7
5.1	Ilmastonmuutos	7
5.2	Kaupungistuminen ja ruuhkat	8
5.3	Muut megatrendit	9
6	Kutsu- ja kysyntäohjattu liikenne (on-demand mobility services) ja kalustonhallinta (fleet management)	9
6.1	Kutsuohjattu liikenne	9
6.2	Kalustonhallinta	10
7	Automaattisten ajoneuvojen teknologiaa	11
7.1	Teknologisten ratkaisujen jaottelu	11
7.2	Robottibussiteknologian nykytila	12
7.3	Hardware	14
7.4	Software	14
8	Liikenneinfrastruktuuri ja -telematiikka (intelligent transport systems, ITS)	15
9	Lainsäädäntö	16
10	Opintojakson ensimmäinen läpivienti	17
11	Opintojakson jatkokehitys ja tiedostojen tallennuspaikka	18
11.1	Palaute työryhmän ulkopuoliselta opettajalta	19
11.2	Opintojakson tiedostojen tallennuspaikka	20

12	Lopuksi	20
	Lähteet	22

Lyhenteet

ADAS	<i>Advanced Driver Assistant Systems.</i> Edistyneet kuljettajan avustinjärjestelmät.
FLMP	<i>First/last-mile problem.</i> Ensimmäisen/viimeisen mailin ongelma.
GRVA	<i>Working Party on Automated / Autonomous and Connected Vehicles.</i> Automatisoitujen/autonomisten sekä yhteyksellisten ajoneuvojen työryhmä.
MaaS	<i>Mobility as a Service.</i> Liikkuminen palveluna.
TKIO	Tutkimus, kehitys, innovaatio, opetus.
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe.</i> Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio.
V2I	<i>Vehicle-to-Infrastructure.</i> Ajoneuvosta infrastruktuuriin.
V2V	<i>Vehicle-to-Vehicle.</i> Ajoneuvosta ajoneuvoon.
V2X	<i>Vehicle-to-Everything.</i> Ajoneuvosta kaikkeen, kattotermi ajoneuvon suorittamalle viestinnälle

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty tilaustyönä Metropolia Ammattikorkeakoululle, ja tavoitteena on ollut luoda oppimateriaali uuteen opintojaksoon.

Metropolian ajoneuvotekniikan koulutusohjelmassa alkoi 2022 uusi opintojakso nimeltä ”MaaS - Liikkuminen palveluna”. Nimi muutettiin ensimmäisen toteutuksen jälkeen muotoon ”Automaattisen liikkumisen perusteet”, joka kuvasi paremmin opintojakson sisältöä. Alkuperäistä seuraaville opintojaksoille nimi muuttui vielä toistamiseen muotoon ”Liikenteen automatisoitumisen perusteet”. Opintojakso on opetussuunnitelman mukaisesti 3. lukuvuoden syksyllä. Tämä työ tehtiin pohjamateriaaliksi kyseiselle opintojaksolle.

Opintojakson tavoitteet on määritelty opetussuunnitelmassa seuraavasti:

Opintojakson käytyään opiskelija osaa liikkumisketjun ja liikkuminen palveluna -käsitteet, tuntee liikkumisjärjestelmien muutostarpeen sekä uudentyyppisten liikenneteknologioiden tuomat mahdollisuudet sekä niiden haasteet. (1)

Opintojakso on pidetty vuosina 2022 ja 2023 tässä työssä luodun materiaalin pohjalta. Materiaalin kehittämistä on jatkettu samanaikaisesti. Työn pääasiallinen tarkoitus oli opintojakson suunnittelu ja materiaalin luominen. Oppimateriaali on tuotettu vain tilaajan käyttöön, minkä vuoksi se on osana työtä vain salattuna liitteenä. Materiaali koostuu PowerPoint-dioista, jotka muodostavat pääosan opintorungosta, opetussuunnitelmasta suunnittelutaulun muodossa, harjoitustehtävistä sekä nauhoitetuista luennoista ensimmäiseltä toteutuskerralta. Tämä opinnäytetyö ei sisällä oppijakson pedagogista tarkastelua tai suunnittelua.

Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvo- ja konetekniikan osaamisalue on toteuttanut vaativia ajoneuvotekniikan projekteja jo edeltäjäoppilaitosten ajoilta

saakka, vähintään vuodesta 1991 alkaen (2). Vuonna 2015 Metropolia Ammattikorkeakoulu osallistui Vantaan asuntomessuilla toteutettuun automaattisten ajoneuvojen pilottiin, ja vuonna 2016 Metropolia koordinoi Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamaa SOHJOA-hanketta, jossa toteutettiin maailman ensimmäinen sekaliikenteessä toteutettu automaattisen ajamisen pilotti. (3, s. 20.)

Vuonna 2019 Metropolia perusti tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan (TKI) koordinoimiseksi viisi temaattisesti jaettua innovaatiokeskittymää: Asiakaslähtöiset hyvinvointi- ja terveystalvelut, Puhtaat ja kestävätk ratkaisut, Toimiva ihmisten kaupunki, Tieto-ohjattu rakentaminen sekä Älykäs liikkuminen. Innovaatiokeskittymien tarkoituksena on paitsi ohjata TKI-toimintaa omilla teema-alueillaan ja fasilitoida monialaisten hankkeiden toteutusta myös esimerkiksi kehittää oppimistoiminnan ja hanketoiminnan yhteyttä. Tästä toiminnasta käytetään nimitystä TKIO (lyhenne sanoista tutkimus, kehitys, innovaatio ja opetus).

Älykkään liikkumisen innovaatiokeskittymässä teemaa on toteutettu automaattiseen liikenteeseen, älyliikenteen innovaatioihin sekä liikennejärjestelmien kehittämiseen liittyvien hankkeiden kautta.

2 Työn määrittely

Opintojakson sisällön rakentaminen aloitettiin käytettävissä olevien opintopisteiden kautta määrittelemällä sisällön laajuus. Opintojakso on viiden opintopisteen laajuinen, mihin on varattu Metropolia Ammattikorkeakoulun linjausten perusteella 50 opetustuntia. Koko opintojakson sisältö jaettiin ensimmäisessä vaiheessa kahdeksaan myöhemmin esiteltävään aihekokonaisuuteen, mikä tarkoittaa käytännössä 6,25 oppitunnin kohdistusta jokaiselle kokonaisuudelle. Tämä jaettiin edelleen noin kolmeen kahden tunnin luento- ja näiden luentojen otsikointien kautta lähdettiin rakentamaan tuntien oppisisältöä. Pääosaa tätä opinnäytetyötä on opintojakson oppimateriaalien luominen sekä siihen sisältyvä taustakartoitus.

Opintojakson nimi kirjattiin alun perin Metropolian opintojärjestelmään nimellä “MaaS – Liikkuminen palveluna”, joka viittaa suomalaisten Sampo Hietasen ja Sonja Heikkilän tunnetuksi tekemään Mobility as a Service -käsitteeseen (4). MaaS on kuitenkin vain yksi osa-alue älykkäässä liikkumisessa (ks. luku 4), joten työn laajuuden sekä aiheiden määrittelyn jälkeen opintojakson nimi päätettiin muuttaa kuvastamaan sisältöä paremmin. Opintojakson nimeksi päädyttiin ottamaan “Liikenteen automatisoitumisen perusteet”, joka kuvaa sisältöä paremmin. Opintojakso käsittelee älykästä liikkumista ilmiölähtöisesti ja laaja-alaisesti, taustoittaen muutosajureita sekä teknologian kehittymiskaarta ja sääntelyympäristöä, joka vaikuttaa älykkään liikkumisen kehittymiseen.

3 Opintojakson rakenne

Opintojakso rakennettiin kahdeksan osa-alueen varaan ja nämä osa-alueet jaettiin edelleen alaotsikoiksi. Suunnittelussa käytettiin hyväksi Microsoft Teams -ympäristön Planner-työkalua.

Opintojakso jaettiin ensimmäisessä vaiheessa seuraaviin aihekokonaisuuksiin, joskin ensimmäisen toteutuksen jälkeen kokonaisuuksia yhdisteltiin ja päivitettiin:

1. Johdanto
2. Liikkuminen palveluna ja liikkumisketjun käsite
3. Liikkumisjärjestelmien muutosten tarve
4. Kutsuohjattu liikenne ja kalustonhallinta
5. Teknologiset ratkaisut
6. Liikenneinfrastruktuuri ja telematiikka
7. Laki, sääntely ja standardointi

8. Vierasluennot.

Näiden lisäksi määriteltiin opiskelijoille useita ryhmätehtäviä opintojaksolla ratkaistavaksi ja varattiin mahdollisuus vierasluennoitsijoiden antaa opiskelijoille omaan aiheeseensa liittyviä tehtäviä.

Pääosin jaottelu noudattelee opintojakson kronologista jaksottelua siten, että opintojakso alkaa johdanto-osuudesta ja päättyy osuuteen, jossa käsitellään lakeja, sääntelyä ja standardointia, mutta vierasluennot sisältyvät aihekokonaisuuksiin 2–7 eikä ole kronologisesti yhtenä osuutenaan. Tässä kokonaisuudessa sanalla ”laki” viitataan annettuun lainsäädäntöön ja sanalla ”sääntely” viitataan niihin, erityisesti viranomaisten, toimenpiteisiin, ohjeisiin ja käytännön prosesseihin, jotka pohjautuvat annettuihin lakeihin.

Kunkin aihealueen tarkempi jaottelu sekä sisältöä esitellään tarkemmin luvuissa 4–9.

4 Liikkuminen palveluna (Mobility as a Service) ja liikkumisketjun käsite

Opintojakson alkuperäinen nimi oli opintojakson alkuperäisen ideoijan ehdotukseen perustuen ”MaaS – Liikkuminen palveluna”. Ajatuksena oli rakentaa opintojakso liikkuminen palveluna -konseptin ympärille. Tämän konseptin nähtiin olevan jossain määrin vieras keskiverrolle ajoneuvotekniikan opiskelijalle eikä sitä käsitelty muissa opintojaksoissa. Liikkuminen palveluna on käsitteenä kuitenkin merkittävä tulevaisuuden liikkumisen järjestelmien hahmottamisessa, sillä toisiinsa linkittyvien matkaketjujen sekä liikenteen teknisten ratkaisuiden verkottuessa tulee myös teknisten järjestelmien suunnittelussa ottaa huomioon kokonaisvaltaiset matkaketjun muodostumisen periaatteet.

Tekijöiden omakohtaisien kokemusten vuoksi opintojakson aihealueita päätettiin kuitenkin laajentaa luvun 3 mukaiseksi. Näin katettaisiin älykkään liikkumisen teemaa laaja-alaisemmin kuin vain yhden palvelumekanismen kautta sekä päättäisiin käsittelemään myös insinööriopiskelijoille tärkeitä teknisiä ratkaisuja.

Opintojakson aihealueet laajenivat käsittelemään älykästä liikkumista ilmiöläh- töisesti laajana kokonaisuutena. Tämän ajatellaan palvelevan yleiskäsityksen muodostumista opiskelijoille siitä, mitkä ovat ne muutosajurit, jotka ovat vaikut- tamassa ilmiön syntyyn ja liikkumisen tilanteen muutokseen. Opintojakson sisäl- tövalinnalla ja rakenteella pyritään varmistamaan ymmärryspohjan muodostumi- nen myös niin, että teknologisten ratkaisuiden, komponenttien, konseptien, pal- veluiden sekä sääntelykehysten kehittyessä opiskelija voi peilata nykytilaa op- pimansa kokonaisuuden pohjalle eivätkä opintojaksolla opitut asiat vanhene yhtä nopeasti kuin kehittyvä teknologia ympärillä. Opintojakso myös antaa näky- mää siihen, kuinka laaja ja monisyinen käsite liikkuminen ja sen kehittyminen on, ja luo valmiudet syventyä yksittäisiin asioihin, joita opintojakso esittelee opiskelijoille.

4.1 Liikkuminen palveluna

Liikkuminen palveluna -käsite, englanniksi *Mobility as a Service*, lyhennettynä MaaS, on suomalaisten Sampo Hietasen sekä Sonja Heikkilän esittelemä ja tunnetuksi tekemä käsite. Sen ydinajatus on tuottaa liikkujalle yksittäinen pal- velu, joka kattaa kaikki (tai suurimman osan) päivittäisistä liikkumistarpeista yh- tenä pakettina. Käsitteestä on käytetty myös markkinointimielessä nimitystä ”liikkumisen Netflix” (6) viitaten tilausperustaiseen kuluttamismalliin (englanniksi *subscription based model*). Erinäisiä MaaS-palveluita on kehitetty Euroopassa jo hyvissä ajoin ennen Heikkilän opinnäytetyön julkaisua, mutta vain harvat näistä kokeiluista ovat päätyneet pitkäikäisiksi tai pysyviksi palveluiksi asti. Sampo Hietasen perustaman MaaS Global -yrityksen Whim-palvelu on yksi laa- jimmista palveluntarjoajista Suomessa. Palvelu yhdistää yhden tilauksen alle useita eri liikkumismuotoja. Palvelu tarjoaa esimerkiksi HSL:n kuukausilipun alennettuun hintaan sekä esimerkiksi tavallista, maksunvälityspalvelun kautta suoraan tilattua kyytiä edullisempia taksitilauksia ja tarjouksia auton vuokrahi- noista. MaaS-palveluiden ongelmana on perinteisesti ollut heikot tiedonjakoraja- pinnat eri kulkutapapalveluntarjoajien järjestelmien välillä (6) sekä ihmisten tot- tumuksiin vaikuttamisen vaikeus (7). Toimiva MaaS-järjestelmä kykenee tuotta-

maan sulavan matkansuunnittelu- ja maksamiskokemuksen liikkujalle (4) ja parhaimmassa tapauksessa vähentämään henkilöautolla liikuttuja kilometrejä ja liikenteen CO₂-päästöjä, lievittämään ruuhkaa, vähentämään liikenneonnettomuuksia ja vapauttamaan pysäköintitilaa. (8, s. 15–23.)

4.2 Liikkumisketjun (matkaketjun) käsite

Jotta opiskelija ymmärtää paitsi *liikkuminen palveluna* -käsitteen, täytyy hänen ymmärtää *liikkumisketjun* käsite. Liikkumisketjusta käytetään myös nimeä matkaketju. Liikkumisketju määritellään opintojakson aikana varsin intuitiivisesti: ketju käsittää kaikki liikkumismuodot matkan alku- ja päätepisteen välillä. Matkaketjuun liittyy paljon ulkoisia ja sisäisiä tekijöitä ja sekä lisäkäsitteitä, joista merkittävimpiä on ns. matkavastus ja siihen liittyvät ensimmäisen ja viimeisen kilometrin ongelma. Jälkimmäinen tunnetaan paremmin englanninkielisellä nimellä *first/last-mile problem*.

First/last-mile problem (FLMP) liittyy erityisen vahvasti älykkään liikkumisen ja vielä erityisemmin robottibussien kehityshistoriaan, minkä vuoksi käsitteen ymmärtäminen on merkityksellistä opintojakson opiskelijan kannalta. First/last-mile problem viittaa matkaketjun päiden haasteeseen, joka tuottaa matkaketjulle ns. korkean *lähtökynnyksen* ja liittyy näin osaltaan matkan *rasittavuuskertoimiin*. Korkea lähtökynnys muodostuu useista eri tekijöistä, jotka voivat olla hyvin subjektiivisia. Yleisesti ottaen lähtökynnykseen vaikuttaa esimerkiksi sääolosuhteet, ympäristötekijät ja merkittävässä määrin se, kuinka pitkä kävelymatka pääasiallisen kulkumuodon ja lähtöpisteen välillä on. Korkean rasittavuuskertoimen matkaketjun toteutuvuus on epätodennäköisempää kuin matalamman rasittavuuskertoimen matkaketjun, minkä vuoksi matkaketjun päiden ongelman ratkaisu on ensiarvoisen tärkeää toimivan joukkoliikennejärjestelmän rakentamisen kannalta. Matkaketjun päät ovat suhteessa matkan keston paitsi kallein ja haastavin toteuttaa joukkoliikenteen keinoin ja esimerkiksi sukkulamaisista robottibusseista on suunniteltu ratkaisua automatisoiduksi, kutsuperustaiseksi syöttöliikenteeksi runkolinjan liikennöintiin rasittavuuskertoimen madaltamiseksi.

5 Liikkumisjärjestelmien muutoksen tarve

Opintojakson johtajatukseksi muodostui aiheiden hahmottelun jälkeen käsitellä älykästä liikkumista ilmiölähtöisesti. Ilmiölähtöisyys on yksi Metropolia Ammatti-korkeakoulun strategian mukaisista pedagogisista linjauksista (9), ja se on erityisen sopiva näkökulma lähtökohdaksi laaja-alaista ilmiön, kuten älykkään liikennejärjestelmän tarkasteluun. Älykkään liikkumisen katsottiin edustavan ilmiönä liikkumisen tulevaisuutta ja tämän johdosta myös muutokseen johtavia ajureita tulee tarkastella opintojakson aikana.

5.1 Ilmastonmuutos

Ilmiön kannalta keskeisimmäksi ajuriksi nousi keskusteluissa ilmastonmuutos. Yhdistyneiden kansakuntien mukaan yksi merkittävimmistä ilmastonmuutoksen aiheuttajista on tavaroiden ja ihmisten liikkuminen, tarkemmin sanottuna liikkumiseen käytetyn energian aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. (10)

Liikenteessä käytettävän teknologian siirtymä fossiilisia polttoaineita käyttävistä järjestelmistä sähköistettyihin järjestelmiin on yksi merkittävä, tehokas ja näkyvä muutos liikenteen aiheuttamien kasvihuonekaasu- ja hiukkaspäästöjen alentamiseksi. (11)

Liikenteen sähköistymisen tulevaisuutta alleviivaa myös esimerkiksi Euroopan komission antama päätös edellyttää, että vuodesta 2035 alkaen uudet ajoneuvot eivät saa päästää hiilidioksidia ollenkaan. Käytännössä tämä johtaa polttomoottoriajoneuvojen myyntikieltoon EU:n alueella tuosta vuodesta alkaen. (12)

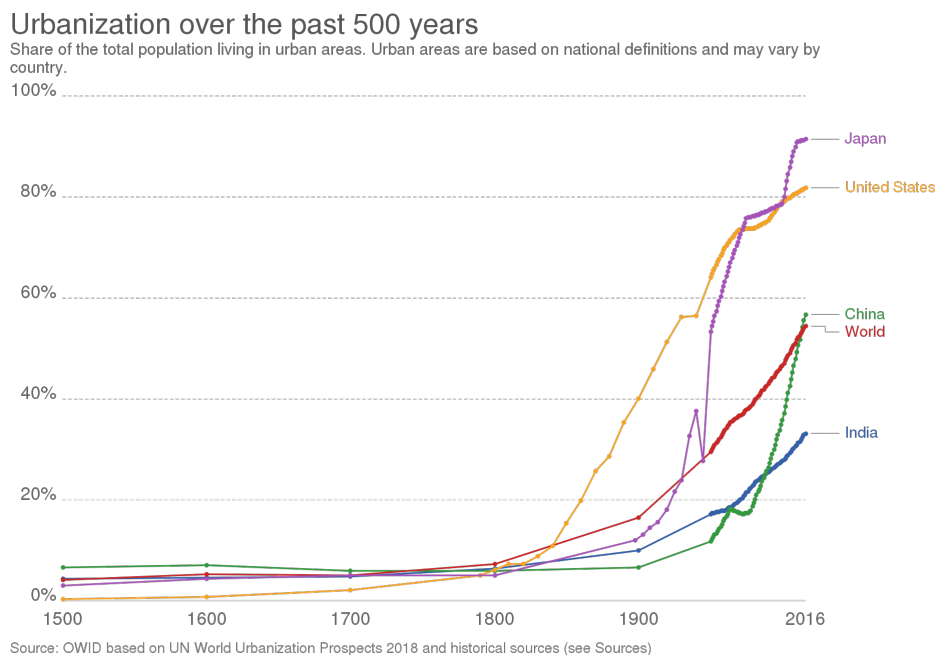
Ilmastonmuutos älykkään liikkumisen ilmiön ajurina ei kuitenkaan pääty pelkäämään liikenteen sähköistämispaineeseen, vaan opintojaksolla tulee käsitellä myös ilmastonmuutosta laajempina ilmiönä. Tämä tarkoittaa, että opetuksessa tulee ottaa huomioon myös esimerkiksi tarve liikennejärjestelmien tehostamiselle resurssien säästämiseksi – tämä tarve nousee esiin myös muiden megatrendien kautta. Lisäksi esimerkiksi valtamerien pinnan ennustettu nousu, sään

ääri-ilmiöiden kasvu sekä paikallisten sääolosuhteiden muuttuminen (esimerkiksi kuumuus- ja kylmyysennätysten yleistyminen) vaikuttavat sekä liikenteessä käytettävien ajoneuvojen mutta myös järjestelmien suunnitteluun.

5.2 Kaupungistuminen ja ruuhkat

Toiseksi merkittävimpänä älykästä liikkumista koskevana megatrendinä pidettiin kaupungistumista sekä siitä aiheutuvia ruuhkia. Kaupungistuminen on nopeasti kehittyvä, globaali ilmiö (kuva 1), joka aiheuttaa valtavia paineita kaupunki-infrastruktuurin rakentamiselle ja kehittämiselle (13).

Megatrendien yhteys on vahva: äärimmäisten sääilmiöiden yleistyminen ja kohonneet merenpinnat voivat ajaa ihmisiä entistä nopeammin kaupunkiin, ylittävissä kaupunkirakenne voi aiheuttaa ilmanlaadun huononemista (14) mutta kaupungistumisilmiön on väitetty joissain tilanteissa myös parantavan ympäristön tilaa (15, s. 621–649).



Kuva 1. Kuvaaja kaupungistumisesta viimeisen 500 vuoden ajalta (16).

5.3 Muut megatrendit

Muita opintojaksolla käsiteltyjä megatrendejä ovat esimerkiksi teollisuusmaissa koettu väestörakenteen muutos (ts. väestön vanheneminen), robotiikan kasvu – johon älykkääseen liikkumiseenkin liittyvä autonominen ja automaattinen liikkuminenkin liittyy – esineiden internet eli laitteiden verkottuminen, resurssiniukuus sekä globaalien poliittisten järjestelmien muuttuminen erityisesti Kiinan roolin noustessa Euroopan markkinoilla.

6 Kutsu- ja kysyntäohjattu liikenne (on-demand mobility services) ja kalustonhallinta (fleet management)

Kutsu- ja kysyntäohjattu liikenne sekä kalustonhallinta päätettiin erotella omaksi aiheekseen, vaikka ne voidaan käsittää myös robottibussien teknologiaan liittyviksi osaratkaisuuksi. Kalustonhallinta sekä liikenteen kutsuohjautuvuus ovat osaratkaisuuksina merkittäviä kokonaisuuksia erityisesti lähitulevaisuuden kehityshankkeiden kannalta.

6.1 Kutsuohjattu liikenne

Eräs automatisoidun liikkumisen merkittävimmistä eduista on kutsu- ja kysyntäohjautuvuuden tuominen julkiseen liikenteeseen. Perinteisesti joukkoliikenteessä kutsuohjautuvuus on toteutunut lähinnä taksitilausten muodossa ja kysyntäohjautuvuutta tai -joustoja on toteutettu (erityisesti taksi- tai tilauspalveluissa) erilaisilla hinnoittelumalleilla, yleensä korottamalla tilaushintoja korkean kysynnän aikaan.

Erityisesti pienillä, automatisoiduilla sukkula-ajoneuvoilla toteutettuna kutsuohjautuvuudella on ajateltu tuotettavan tarvittava palvelutaso, jotta matkaketjun alkupään rasittavuuskerrointa voidaan tarvittaessa laskea niin matalalle, että (ainakin suurimmaksi osin) matkaketju toteutuu julkisen liikenteen muodoilla.

Kysyntäohjautuvuudella on myös muita mahdollisia etuja: kaluston yksikköko-
vo voidaan pitää pienenä ja yksiköitä laskea liikenteeseen matalan kysynnän ai-
kana vähemmän, korkean kysynnän aikana enemmän. Lisäksi pienillä yksiköillä
voidaan tarjota vaihtelevia palvelutasoja; esimerkiksi kalliimmalla lipun hinnalla
asiakas voi matkustaa yksin omassa liikennevälineessään – ja kääntäen, jaka-
malla liikennevälineen muiden kanssa saa lipun hinnasta alennusta.

6.2 Kalustonhallinta

Kaluston- tai ajueen¹ hallinta on jokapäiväistä toimintaa yrityksissä, joissa on
minkäänlaista liikennepalvelutoimintaa. Tällä opintojaksolla kalustonhallintaa
tuodaan esiin automatisaation kautta. Opintojaksolla esitellään, millaista auto-
matisoitua datankeruuta liikennevälineissä on oltava ylläpidon mahdollista-
miseksi, miten tieto välitetään ja esitetään esimerkiksi etävalvomoympäristöön
ja minkälaisia prosesseja tulisi olla automatisoitua liikkumispalvelua ylläpitävän
yrityksen toiminnoissa.

Kalustonhallinta (fleet management) on teknologiaa, jota on jo käytössä useissa
yrityksissä, mutta itsessään pelkästään autonomisten ajueiden hallintaan tarkoi-
tettuja ohjelmistoja ei ole vielä laajasti käytössä. Tämä aihealue mahdollistaa
hyvin esimerkiksi vierailijaluennoitsijoiden käyttämisen ja yritysvierailut nykytilan
esittelemiseksi vaikkapa logistiikkayrityksessä.

¹ Ajue on suomenkielinen käännös englanninkieliselle sanalle "fleet". Sanalla on perinteisesti viitattu laivastoon, mutta kun kyseessä on maa-ajoneuvo, ehdotetaan käytettäväksi vanhaa suomalaista valjakkoajoon liittyvää sanaa "ajue"

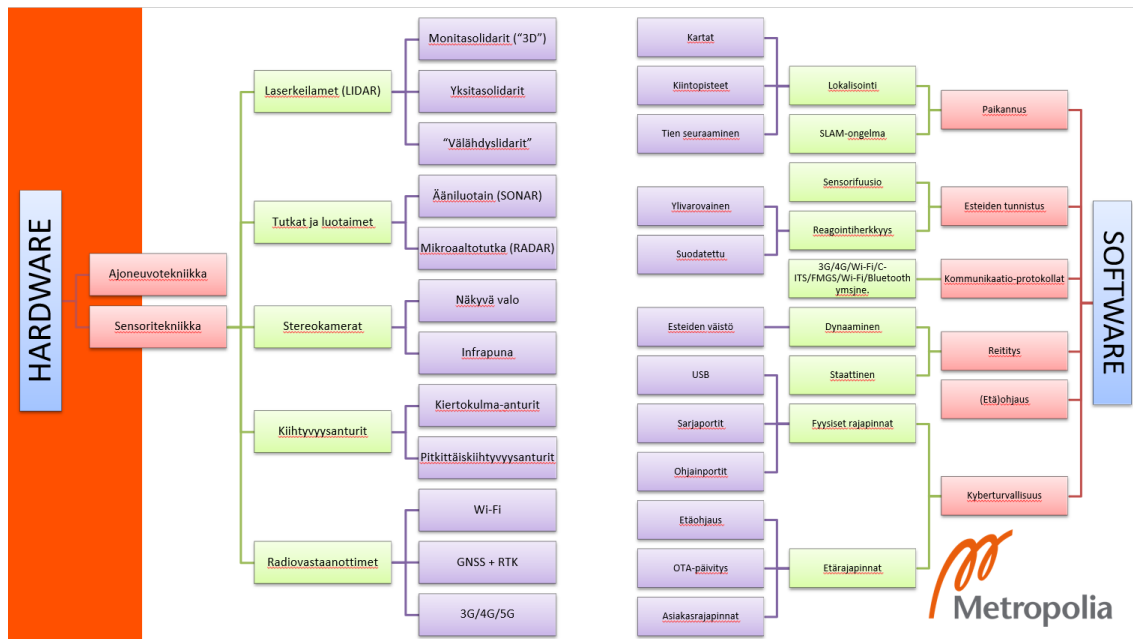
7 Automaattisten ajoneuvojen teknologiaa

Opintojaksolla käsitellään automaattisen liikkumisen teknologiaa pääasiassa maaliikenteen näkökulmasta ja erityisesti painottaen sitä, mikä erottaa automaattisen ja autonomisen liikkumisen teknologiat ajoneuvoista, joissa tällaista teknologiaa ei ole. Vuonna 2023 Euroopassa ja Suomessa muovataan automaattisen liikkumisen teknologiaa määritteleviä ja rajaavia lakeja (17), eivätkä määrittelyt esimerkiksi täysautomaatiosta tai käytettävistä termeistä ole vielä vakiintuneet. Eri lähteet saattavat jaotella automaattisten ajoneuvojen teknologioita eri tavoin.

Tällä opintojaksolla eri teknisiä ratkaisuja, konsepteja sekä komponentteja esitellään lähinnä tutustumislouonteisesti ja siten, että kokonaisuutena luodaan käsitys siitä, mitä automaattisen liikkumisväline vaatii toimiakseen.

7.1 Teknologisten ratkaisujen jaottelu

Jaottelussa käytetään karkeaa jakoa softwareen eli ohjelmistoratkaisuihin sekä hardwareen eli komponenttitason ratkaisuihin (kuva 2). Huomautettakoon, että tietoliikennetekniikassa hardware-termiä käytetään usein piirilevytason ratkaisuista puhuttaessa (18), mutta tällä opintojaksolla hardwarella viitataan fyysisiin, konkreettisiin komponentteihin, joita ajoneuvoissa esiintyy.



Kuva 2. Jaottelu hardwareen ja softwareen opintojakson kontekstissa.

Kuva 2 esittää opintojakson sisältöä ja jaottelua hardwareen ja softwareen, mutta teknologian kehittyessä jaottelua ja aiheita tulnaneen päivittämään. Tämä jaottelu kuvastaa niitä tärkeimpiä aiheita, joita opintojaksolla on valittu käytävän läpi. Ajoneuvotekniikka sen perinteisessä merkityksessä on kaaviossa merkitty hardware-osioon, mutta sitä ei tällä opintojaksolla käsitellä, koska aihetta käsitellään laajalti opiskelijoiden muissa opinnoissa.

7.2 Robottibussiteknologian nykytila

Metropolia Ammattikorkeakoulun älykkään liikkumisen projekteissa on pääosin toimittu niin kutsuttujen robottibussien parissa. Tämä ajoneuvotyyppi on olemassa varsin rajallista tarvetta varten, mutta teknologisenä ratkaisuna robottibussit ovat kompakti tapa esittää automaattisen ja autonomisen liikenteen ja liikkumisen teknologiaa ja käsitettä. Robottibussit eivät ole kaikki samanlaisia, mutta tämän opintojakson yhteydessä käsitellään ajoneuvoja, jotka muistuttavat hyvin paljon toisiaan. Pääpiirteitä, joita näissä ajoneuvoissa yleisesti on, ovat seuraavat:

- muotoiltu nimenomaisesti käyttötarkoitusta varten eikä esimerkiksi muunneltu käyttöön toisesta ajoneuvosta, kuten pakettiautosta
- yksi kulkuaukko ajoneuvon pitkällä sivulla
- istumapaikkoja 6–12 matkustajalle ja keskellä tilaa esim. pyörätuolille
- kulkusuunta valittavissa vapaasti – muotoilu symmetrinen lukuun ottamatta kulkuaukkoa vain toisella puolella ajoneuvoa
- sähkökäyttöinen voimalinja
- kyky automaattiseen kulkemiseen reitillään, sopivien olosuhteiden vallitessa.

Näiden ajoneuvojen muotoiluun ja teknisiin ratkaisuihin on vaikuttanut paljon niiden oletettu käyttötarkoitus. Robottibussien odotetaan vastaavan matkaketjun alku- ja loppupäiden tarjontahaasteisiin (ns. *first-/last-mile -ongelma*, ks. luku 4.2. Liikkumisketjun käsite) (3) toimimalla kysyntäohjattuna (*on-demand*) ratkaisuna joukkoliikenteen syöttöratkaisuna. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että robottibussin tulee pystyä kuljettamaan pienehkö joukko ihmisiä vaihtelevalla, hidasnopeuksisen tieverkoston alueelta joukkoliikenteen runkoverkon ääreen, esimerkiksi juna-, metro- tai bussiterminaaliin. Käyttötarkoitusta ja robottibussien soveltuvuutta joukkoliikenneratkaisuksi on tutkittu varsin paljon, ja erityisesti Euroopan unionin rahoittama CityMobil 2 -hanke on osoittautunut yhdeksi kulmakiveksi edellä mainittujen robottibussien ominaisuuksien määrittelyssä (19).

On hyvä huomata, että vaikka merkittävä osa automaattisen ja autonomisen ajamisen kehitystyötä on peräisin ihmiskuljettajan erehtyväisyyden ja onnettomuusalttiuden vähentämiseksi tehdystä työstä (20, s. 3–12), ei tällä opintojaksolla keskitytä niinkään yksityisautojen kuljettajaa avustaviin järjestelmiin

(*ADAS, advanced driver-assistance system*). Näitä järjestelmiä käsitellään Metropolia Ammattikorkeakoulussa esimerkiksi Turvajärjestelmät-opintojaksolla, osana ajoneuvotekniikan insinöörien koulutusta.

7.3 Hardware

Hardware-osuudessa käydään läpi yleisesti automatisoitujen maa-ajoneuvojen (mutta erityisesti robotisoitujen sukkuloiden) näkökulmasta niitä fyysisiä teknisiä ratkaisuja, jotka erottavat automatisoidun ajoneuvon perinteisestä. Tähän kuuluu nimenomaisesti erinäiset anturit mutta myös esimerkiksi viestintäjärjestelmiin liittyvät komponentit. Tässä osuudessa myös kerrataan sähkömagneettisen spektrin ominaisuuksia ja signaalifysiikan perusteita, jotta sensoriteknologian käsittelylle on perusteet.

Komponenttitekniikan kehittymisen vuoksi tämä osuus opintojaksosta on vähiten ilmiölähtöinen (yhdessä software-osion kanssa) sekä useimmin päivittämistarpeessa oleva.

7.4 Software

Software-osuus on hardware-osuutta hieman käsittelemisempi, ehkä jopa ilmiölähtöisempi. Tämä johtuu siitä, että opintojakson tekijät eivät ole ohjelmistotekniikkaan suuntautuneita eikä ole opintojakson opiskelijakohderyhmäkään. Software-osuudessa esitellään automaattiseen ajamiseen liittyviä epäkonkreettisia mutta teknisiä käsitteitä, jotka tekevät automaattisesta ajamisesta mahdollista.

Software-osuuden käsitteleminen on varsin tärkeää ajoneuvotekniikan insinööreille, jotta automaattisen ajamisen käsite on mahdollisuus ymmärtää kokonaisuutena. Opintojakson ja aiheen luonteen vuoksi software-osuudessa käsitellään vain pintapuolisesti tärkeimmät käsitteet ja poisvalintaa, esimerkiksi koneoppimisen ja neuroverkkojen osalta on jouduttu tekemään.

8 Liikenneinfrastruktuuri ja -telematiikka (intelligent transport systems, ITS)

Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan insinöörien koulutukseen ei sisälly liikennesuunnittelua tai liikenteen infrastruktuuria käsitteleviä opintoja. Liikenteen automaation kannalta ajoneuvojen yhteistoiminta infrastruktuurin kanssa on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää (21, s. 134–157) tulevaisuuden liikennejärjestelmien kehityksen kannalta.

Opintojaksolla käydään läpi erilaiset ajoneuvon ja ympäristön yhdistämiseen liittyvät käsitteet, jotka tunnetaan V2-lyhenteillä, esimerkkinä mainittakoon V2V. Nämä lyhenteet tulevat englanninkielisestä termistä ”vehicle to”, eli ”ajoneuvosta”. Lyhenteitä on esimerkiksi aiemmin mainitun V2V:n eli ajoneuvosta ajoneuvoon (vehicle-to-vehicle) tapahtuvan viestinnän lisäksi ajoneuvon ja infrastruktuurin välinen viestintä (V2I, vehicle-to-infrastructure) sekä yleiskäyttöinen termin V2X, ”vehicle-to-everything” eli ”ajoneuvosta kaikkeen”. Englanninkielinen prepositio ”to” on tässä yhteydessä harhaanjohtava, koska se implikoi vain yhdensuuntaista viestintää (samaan tapaan kuin suomen kielen elatiivimuotoinen ”ajoneuvosta”), vaikka todellisuudessa termit viittaavat kaksi- tai monisuuntaiseen viestintään.

Opintojakson tässä vaiheessa esitellään myös Metropolian hanketoiminnasta löytyneitä esimerkkejä onnistuneista älyinfrastrukturiratkaisuista, kuten Alankomaiden Helmondissa toteutettuja ratkaisuja.

Opintojakson osio liikenneinfrastrukturista lienee konkreettisimpia esimerkkejä siitä, kuinka ajoneuvoinsinöörin osaamisprofiiliin tulee tulevaisuudessa kuulua niin kaupunkisuunnittelun osaamista, viestintäteknologioiden ja -protokollien ymmärtämistä sekä jopa ymmärrystä rakennustekniikasta. Tämän opinnäytetyön tekijöiden näkemyksen perusteella tulevaisuuden ajoneuvotekniikan insinöörien koulutusta suunnitellessa tämä monialaisuus tulee ottaa vahvasti huomioon. Metropolian kaltaisessa, merkittävän monialaisessa ja suuressa oppilai-

toksessa olisi hyvä tarkastella insinöörikoulutusta kokonaisvaltaisesti ja jopa yhdistellä esimerkiksi ajoneuvotekniikan ja rakennustekniikan opintoja uusissa opinnoissa.

9 Lainsäädäntö

Tieliikenteen automaatio on yksi merkittävimpiä paradigman muutoksia liikenteen kehityksessä ihmiskunnan historiassa (22, s. 203–210), ja paradigman muutos koskee myös tieliikenteen lainsäädännön, sääntelyn sekä standardoinnin kehitystä.

Tämän opinnäytetyön tekemisen aikana sekä eurooppalaisen että suomalaisen, automaattista sekä autonomista liikennettä koskevan, lainsäädännön muokkaaminen on vielä kesken, ja työn tekijät ovat oman päivätyönsä ohella olleet mukana kehittämässä tätä lainsäädäntöä.

Opintojaksolla ei paneuduta lainsäädäntöön säädöstasolla merkittävissä määrin pääosin lainsäädäntötyön keskeneräisyydestä johtuen vaan käsitellään sitä, minkälaisiin kansainvälisiin sopimuksiin (esim. Wienin sopimus) kansalliset ja kansainväliset tieliikennelainsäädännöt perustuvat, minkälaisia ovat näiden säädösten valmisteluprosessit ja mitkä tahot (kuten esim. UNECE GRVA) tätä sääntelyn valmistelutyötä tekevät. Opintojaksolla tarkastellaan myös, mitä syitä lainsäädäntökehityksen ja sääntelyn kehitykselle automaation mukaan tullessa on, ja pyritään alleviivaamaan liikenteen automaation kehityksen paradigman muutosta.

Opintojakson tässä osuudessa myös käydään läpi standardointielimiä ja -järjestelmiä, jotka liittyvät myös automaattisen ajamisen kehitykseen. Ongelmana tätä opinnäytetyötä ja opintojaksoa tehdessä oli automaattisiin ajoneuvoihin liittyvien standardien kehitystyön keskeneräisyys, joten tässä kohti on tehty valinta keskittyä pääasiassa esittelemään standardointielimiä ja aiheeseen liittyviä tärkeitä työryhmiä ja konferenssikysymyksiä.

Merkittävä osa lainsäädäntöä ajoneuvotekniikassa on eri ajoneuvoluokkia koskevat UNECEn (United Nations Economic Commission for Europe) niin kutsutut E-säännöt, jotka määräävät ajoneuvojen rakenteita, varustelua sekä testamista (23).

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom sallii tyyppihyväksymättömien ajoneuvojen kokeilemisen suomalaisessa tieliikenteessä erityisen koelupaprosessin kautta. Koelupaprosessi mahdollistaa sellaisilla ajoneuvoilla ajamisen, joita ei muuten voisi rekisteröidä, ja mahdollistaa siis myös rakenteeltaan poikkeavat ajoneuvot tai korkeammilla automaation asteilla toimivat ajoneuvot tieliikenteessä. (24)

Robottibussit, joita esimerkiksi Metropolia Ammattikorkeakoulun automaattisen liikkumisen hankkeissa käytettiin, olivat Traficomien ajoneuvoluokituksen mukaan M1-luokan henkilöautoja (25), mutta UNECEn E-sääntövelvoitetta ei ajoneuvoille annettu. Ajoneuvoluokituksen vuoksi joistain ajoneuvoista kuitenkin jouduttiin poistamaan testien ajaksi istuinpaikat yli kahdeksalta henkilöltä, sillä tämä määräys löytyy M1-ajoneuvoluokan määräyksistä (26). Koska Euroopan markkinoilla ei vielä vuoden 2024 alussa ollut Euroopan unionin alueella tyyppihyväksytyjä ns. robottibusseja, ei myöskään kursseilla vielä syvennytty UNECEn sääntöihin. Kansainvälinen lainsäädäntö ei ole vielä valmis siltä osin, että mitkä näistä säännöistä tulevat käyttöön ja mihin ajoneuvoluokkaan aiemmin kuvatus kaltaisen robottibussi määrätään.

10 Opintojakson ensimmäinen läpivienti

Opintojakson ensimmäinen versio vietiin toteutukseen ajoneuvo- ja kuljetustekniikan insinööriopiskelijoille syksyllä 2022. Toteutuksen luennoitsijana oli Oscar Nissin, ja opiskelijoille annettuja harjoitustehtäviä tarkistivat sekä Oscar Nissin että Azat Kuitunen.

Opintojakson läpivienti toteutettiin suuren ryhmäkoon (yli 75 opiskelijaa) vuoksi etäluentoina, vaikka materiaali oli pääasiallisesti suunniteltu käytettäväksi kontaktiopetukseen. Opintojaksossa ei kuitenkaan ollut esimerkiksi laboratoriotöitä, joten opintojakso oli mahdollista toteuttaa myös etäopetuksena.

Oppitunnit pidettiin kahden tunnin jaksoissa noin joka toinen viikko, joskin aikataulusta poikettiin mm. opiskelijoiden aikataulujen vuoksi (esim. vapaajaksot). Tämän lisäksi joitain luentoja jouduttiin siirtämään opettajan sairastumisten vuoksi. Aikataulun muutosten johdosta esimerkiksi aiheet 4 ja 6 eli ”kutsuohjattu liikenne ja kalustonhallinta” sekä ”liikenneinfrastruktuuri ja telematiikka” jouduttiin jättämään käsittelemättä. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen luentokertojen materiaaleja tiivistettiin ja uudelleenjärjesteltiin. Tämä tosin oli odotettavissa, eikä alkuperäisen luentosuunnitelman ollut tarkoituskaan olla jäykkä vaan mukautuvainen.

Aikataulusyistä johtuen vierasluentoja ei tässä toteutuksessa kyetty pitämään.

Opiskelijoille aikataulun muuttumisen johdosta myös suunniteltua vähemmän harjoitustehtäviä, mikä huomioitiin arvioinneissa. Suuren ryhmäkoon ja aikataulumuutosten sekä luennoitsijan kokemattomuuden vuoksi esseemuotoisten koti-tehtävien arviointi muodostui oletettua aikaa vievämmäksi urakaksi. Tämän vuoksi seuraaviin toteutuksiin suunnitellaan ja suositellaan pääasiallisiksi yksilötehtäviksi automaattitarkisteisia Moodle-tehtäviä, esseetehtävien painottuessa ryhmätehtäviin.

11 Opintojakson jatkokehitys ja tiedostojen tallennuspaikka

Toisen toteutuksen opintojaksosta opetti ajoneuvotekniikan insinööri Kari Heikkilä. Heikkilällä ei ollut merkittävästi aiempaa kokemusta automaattisista ajoneuvoteknologioista, mutta hänellä on laajaa kokemusta Metropolian älykkään liikkumisen hankkeista ja tiivis yhteys opinnäytetyötä toteuttaneeseen työryhmään.

11.1 Palaute työryhmän ulkopuoliselta opettajalta

Kari Heikkilältä kerättiin palautetta ensimmäisen hänen johtamansa toteutuksen, kokonaisuudessaan toisen toteutuksen, jälkeen. Heikkilällä oli käytössään luentomateriaali sekä luennoista ensimmäisellä toteutuskerralla tehdyt tallenteet.

Pääasiallisena palautteena Heikkilältä saatiin, että opetustyylien sekä luennoitsijoiden (verrattuna ensimmäiseen luennoitsijaan Oscar Nissiniin) välisen lähtötiedon ero vaikuttaa myös luentomateriaalin käyttöön. Heikkilä joutui, luentomateriaalista sekä tallenteista huolimatta, tekemään omaa taustatyötään materiaalin perusteella aiheen syvemmän ymmärryksen kartuttamiseksi. Tämä oli sinänsä odotettavaakin ja lisäperehtymisen tarve kuuluu yleisesti uusien opintojaksoiden toteuttamisen aloittamisprosessiin.

Suurimpia muutoksia Heikkilä toivoi ja toteutti itse opintojaksomateriaaleissa olleisiin laskutehtäviin. Materiaalissa esimerkinomaisesti tarkoitetut fotonin heijastumiseen liittyvät laskutehtävät koettiin irrallisiksi, ja Heikkilä toivoi näiden tehtävien tehtävänannon muotoilua paremmin automaattisten ajoneuvojen sensoreihin liittyväksi. Opintojaksoa tehdessä oli päädytty yleisluontoisempiin laskuesimerkkeihin siitä syystä, että tuossa vaiheessa ajoneuvojen sensoriteknikkaa käsiteltiin syvemmin eri opettajan toteuttamalla Turvalaitteet-opintojaksolla ja yleisemmällä tarkastelutasolla toivottiin välttävän mahdollisilta ristiriidoilta eri opintojaksoiden välillä. Yhtä tehtävänantoa myös luonnehdittiin haastavaksi, mutta palautetta käsitellessä yhteisesti todettiin itse laskutehtävän vaativuustason olevan ajoneuvotekniikan insinöörin koulutukseen verrattuna jopa helppo. Tehtävänannon muotoilu oli kuitenkin mahdollisesti epäselvä, joten tehtävänannon selkeyttämistä harkittiin eräänä jatkokehityskohteena. Samoin tehtävänantona olleet yksikkömuunnokset koettiin joidenkin opiskelijoiden osalta haastaviksi, mutta kuten aiemminkin tehtävän osalta tehtäviä ei sisältönsä puolesta voida pitää liian vaikeina tutkinnon tavoitteisiin nähden.

Yhteenvedona voidaan todeta, että opintojakson luennoitsijaksi on mahdollista kiinnittää myös ajoneuvotekniikan insinöörin tietotaidolla varustettu luennoitsija,

joskin aiempi ymmärrys ja kokemus autonomisista ja automaattisista ajoneuvo-tekniologioista helpottaa toteuttamista suuresti.

11.2 Opintojakson tiedostojen tallennuspaikka

Opintojakson tiedostot on tallennettu jaettavassa muodossa omassa Teams-työtilassaan. Jo varsin varhaisessa vaiheessa huomattiin, että opintojakson opetusmateriaali tulee pitää muokattavassa muodossa, jotta teknologian kehityksessä materiaalia voidaan päivittää nopeasti. Lisäksi tietojen säilyttäminen pilvipalvelussa mahdollistaa tehokkaan jakamisen organisaation sisällä. Koska Teams-järjestelmät ovat organisaation tietohallinnon ylläpitämiä, eivät tiedostot jää yksittäisen henkilöstön jäsenen tunnuksen taakse ”piiloon”, vaikka organisaatiossa olisikin henkilöstömuutoksia.

12 Lopuksi

Ensimmäinen havainto opintojakson kehitystyön aikana oli, että aihe on äärimmäisen laaja - se käsittää paitsi useita eri teknologian osa-alueita ajoneuvotekniikasta tieto- ja viestintäteknologiaan ja rakennustekniikkaan, mutta käsittää myös monialaisesti merkittävän määrän myös muita tieteenaloja, lakitieteistä psykologiaan ja filosofiaan. Opintojakson pohja-ajatus on tutustuttaa erityisesti ajoneuvotekniikan insinöörit tähän hyvin laaja-alaiseen aiheeseen, joten kunkin yksittäisen osa-alueen käsittely jää väistämättäkin melko pintapuoliseksi.

Opintojaksoa luodessa haluttiin luoda ajoneuvotekniikan insinööreille kuva siitä, kuinka kompleksisia sekä nykyiset että erityisesti tulevaisuuden liikennejärjestelmät ovat ja kuinka paljon ajoneuvotekniikka on vuorovaikutuksessa myös ympäröivän yhteiskunnan kanssa. Opintojakson tarjoamista myös muille koulutusohjelmille harkitaan.

Opintojakson ensimmäisten läpivientien sekä palautteen perusteella on huomattu, että ajoneuvotekniikan insinöörien koulutuksessa usein toivotaan vielä

huomattavasti enemmän yksittäisiin teknologisiin ratkaisuihin paneutuvia kursseja yleisluonteisen käsittelyn sijaan. Tämä ei kuitenkaan ole linjassa opintojakson perustavoitteen kanssa, mutta on – mikäli liikenteen automaation koulutusta päätetään laajentaa ajoneuvotekniikan opinnoissa – erittäin painavaa palautetta opintojaksojen kehityksen suhteen.

Lähteet

1. Metropolian opetussuunnitelma. 2021. Organisaation sisäinen aineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
2. Automotive Projects by Metropolia University of Applied Sciences. 2014. Markkinointiaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
3. Nissin, Oscar. 2018. SOHJOA-projektin pilottiajot 2016–2017 ja niissä käytetty robottibussiteknologia. Teoksessa Nissin, Oscar & Aman, Milla. SOHJOA-robottibussi Suomen urbaaneissa olosuhteissa. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.
4. Heikkilä, Sonja. 2014. Mobility as a Service — A Proposal for Action for the Public Administration, Case Helsinki. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto.
5. Is Whim the Netflix of Mobility? 2016. Verkkoaineisto. Helsinki Smart Region. <<https://helsinkismart.fi/case/is-whim-the-netflix-of-mobility/>>. 28.10.2016. Luettu 2.4.2023.
6. Turunen, Joonas. 2019. Suositun Whim-sovelluksen kehittäjä syyttää HSL:ää uusien liikennepalvelujen tahallista vaikeuttamisesta – HSL kiistää. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/talous/art-2000006175579.html>>. 17.7.2019. Luettu 22.3.2022.
7. Sahani, Sachin. 2023. Mobility As a Service: Good Practices and Challenges. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/372573390_Mobility_As_a_Service_Good_Practices_and_Challenges>
8. Utriainen, Roni & Pöllänen, Markus. 2018. Review on mobility as a service in scientific publications. Teoksessa Research in Transportation Business & Management. 2018:6, vol. 27, p. 15–23.
9. Metropolian strategia 2030, ilmiölähtöiset innovaatiokeskittymät. 2022 Yrityksen sisäinen aineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
10. Causes and Effects of Climate Change. United Nations. Verkkoaineisto. <<https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>>. Luettu 11.10.2022.
11. Tonachel, Luke. 2015. Study: Electric Vehicles Can Dramatically Reduce Carbon Pollution from Transportation, and Improve Air Quality. Verkkoaineisto. <<https://www.nrdc.org/bio/luke-tonachel/study-electric-vehicles-can-dramatically-reduce-carbon-pollution-transportation>>. Luettu 21.9.2022.

12. Fit for 55: zero CO2 emissions for new cars and vans in 2035. 2023. European Parliament. Verkkoaineisto. <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230210IPR74715/fit-for-55-zero-co2-emissions-for-new-cars-and-vans-in-2035>>. Luettu 7.1.2024.
13. Rodrigue, Jean-Paul. Transportation and the Urban Form. Verkkoaineisto. <<https://transportgeography.org/contents/chapter8/transportation-urban-form/>>. Luettu 2.6.2023.
14. United Nations Environment Programme. 2022. Cities and climate change. Verkkoaineisto. <<https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities-and-climate-change>>. Luettu 7.2.2023.
15. Iftikhar, Yasin; Nawaz, Ahmad & M. Aslam, Chaudhary. 2019. Catechizing the Environmental-Impression of Urbanization, Financial Development, and Political Institutions: A Circumstance of Ecological Footprints in 110 Developed and Less-Developed Countries. Teoksessa Social Indicators Research, vol. 147, p. 621–649.
16. Ritchie, Hannah; Samborska, Veronika & Roser, Max. 2020. Urbanisation. Verkkoaineisto. Our World in Data. <<https://ourworldindata.org/urbanization>> Päivitetty 2024. Luettu 14.3.2020.
17. Tieliikenteen automaatioon liittyvää sääntelyä valmisteleva työryhmä. 2023. Työryhmän sisäinen materiaali. Liikenne- ja viestintäministeriö.
18. Pickle, Brian. 2022. Hardware. Verkkoaineisto. <<https://techterms.com/definition/hardware>>. Luettu 2.3.2024.
19. Alessandrini, Adriano. 2016. Citymobil 2: Final publishable summary report. Verkkoaineisto. <https://trimis.ec.europa.eu/system/files/project/documents/10106/periodic2-citymobil2-periodic-report-m19-m36_final-part1.pdf>.
20. Yueying, Chu & Peng, Liu. 2023. Human Factor Risks in Driving Automation Crashes. Teoksessa HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Vol 14048, p. 3–12. Cham: Springer.
21. Agrawal, Shiva; Song, Rui; Doycheva, Kristina; Knoll, Alois & Elger, Gordon. 2022. Intelligent Roadside Infrastructure for Connected Mobility. Teoksessa Smart Cities, Green Technologies, and Intelligent Transport Systems, p. 134–157. Cham: Springer.
22. Medina-Tapia, Marcos & Robuste, Francesc. 2018. Exploring paradigm shift impacts in urban mobility: autonomous vehicles and smart cities. Teoksessa Transportation Research Procedia. Vol. 33, p. 203–210.

23. Addenda to the 1958 Agreement (Regulations 0-20). 2022. UNECE. Verkkoaineisto. <<https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>>. Luettu 5.4.2024.

24. Automaattiajamisen koelupaprosessi. 2021. Opintomateriaali. Liikenne- ja viestintävirasto.

25. Koenumerotodistus, D-639. 2016. Yrityksen sisäinen aineisto. Liikenne- ja viestintävirasto.

26. Ajoneuvoluokat. 2023. Liikenne- ja viestintävirasto. Verkkoaineisto. <<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/ajoneuvoluokat?toggle=Auto>>. Luettu 2.5.2024.