



Aalto-yliopisto

# **AALTO-älyliikenneselvitys**

## **AALTO ITS-initiative**

Loppuraportti

AALTO-yliopiston älyliikennetyöryhmä

## Esipuhe

Tämä selvitys on tehty Insinööritieteiden koulun dekaanin Petri Varstan toimeksiannosta. Selvityksen on tehnyt dekaanin 9.5.2011 nimittämä työryhmä, jonka puheenjohtajana on toiminut laitoksen johtaja Tapio Luttinen. Työryhmään nimitettiin laitoksen johtajat Heikki Saikkonen ja Olli Simula, professorit Reijo Sulonen, Markku Tinnilä ja Arto Visala sekä johtaja Marko Turpeinen. Työryhmä kutsui sihteerikseen TkT Iisakki Kososen, joka on vastannut raportin kirjoittamisesta. Työryhmä kutsui prof. Kirsi Virrantauksen pysyväksi asiantuntijaksi.

Insinööritieteiden korkeakoulun sai lisärahoituksen strategisen selvityksen tekoon koskien älyliikenteen tutkimusta ja opetusta AALTO-yliopistossa yhteistyössä perustieteiden korkeakoulun tietotekniikan laitoksen kanssa.

Työryhmän tehtävänä oli valmistella älyliikenteen tutkimus- ja opetustoiminnan järjestämistä AALTO-yliopistossa. Selvitykseen tuli kytkeä mukaan muita tällä alalla toimivia laitoksia kuten koneenrakennustekniikan laitos, tuotantotalouden laitos, tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos ja EIT ICT-Labs -organisaatio. Selvityksen teossa on kuultava myös ulkopuolisia tahoja, kuten esimerkiksi VTT, Liikennevirasto, Liikenneturvallisuusvirasto ja alalla toimivia yrityksiä ja yhteisöjä.

Selvityksen tuloksena tuli esittää ehdotus älyliikennetutkimuksen painopisteistä ja organisoinnista AALTO-yliopistossa sekä tavasta, jolla korkeakoulujen välinen yhteistyö organisoidaan. Myös kauppakorkeakoulun ja taideteollisen korkeakoulun mahdollisuudet ja kiinnostus alueeseen tulee selvittää samoin mahdollisuus hyödyntää Service- ja Media factoryjä opetuksessa ja tutkimuksessa.

Espossa 31.1.2012

---

Prof. Tapio Luttinen

Älyliikennetyöryhmän puheenjohtaja

# TIIVISTELMÄ

Älyliikenneselvityksen tavoitteena oli kartoittaa miten AALTO-yliopisto voisi monitieteisenä kokonaisuutena tarttua älyliikenteen nopeasti kasvavaan tutkimusalaan ja miten nostaa AALTO-yliopiston älyliikennealan tutkimus ja opetus korkealle kansainväliselle tasolle lähivuosina.

Raportissa kuvataan aluksi miten älyliikenteen keinoin on mahdollista vastata liikkumisen globaaleihin haasteisiin, jotka liittyvät mm. digitalisaatioon, energiaan, ihmislähtöiseen ympäristöön. Selvitystyössä mm. kartoitettiin ulkomaisten yliopistojen käytäntöjä sekä haastateltiin älyliikennealan toimijoita.

Selvityksen perusteella todettiin, että AALTO-yliopistolla on useita sellaisia vahvoja osaamisalueita, joiden varaan älyliikennealan tutkimuskokonaisuus voidaan muodostaa. Osaamisalueet liittyvät tietotekniikkaan eri osa-alueineen, tietoliikennetekniikkaan, liikennetekniikkaan ja kaupunkisuunnitteluun, automaatio- ja systeemitekniikkaan, ajoneuvo- ja työkonetekniikkaan, energia- ja sähkövoimatekniikkaan sekä logistiikkaan ja liiketoimintaosaamiseen.

AALTO-yliopiston vahvuuksien pohjalta työryhmä päätyi kolmeen toisiaan tukevaan älyliikenteen perusteemaan, jotka edustavat liikkumisen eri tasoja: älykäs matkustaminen, älykäs liikenteen hallinta ja älykäs ajoneuvo.

Maailmanluokan älyliikennetutkimuksen luomiseksi työryhmä ehdottaa kolmen uuden tenure track paikan perustamista, joista yksi tulisi kullekin vahvuusalueelle:

- Tietotekniikka: älykäs matkustaminen
- Liikennetekniikka: älykäs liikenteen hallinta
- Automaatio- ja systeemitekniikka: älykäs ajoneuvo

Uudet tenure track professorit muodostavat älyliikennetutkimuksen ydinryhmän, joka tulee tekemään yksityiskohtaisemman työsuunnitelman tutkimuksen ja opetuksen kehittämiseksi. Ydinryhmä koordinoi yhteistyötä AALTO-yliopiston muiden yksiköiden, muiden yliopistojen, julkisen sektorin ja yritysten kanssa.

Tavoitteena on luoda pysyviä kansainvälisiä yhteistyöverkostoja, joissa yliopistot, julkinen sektori ja yritykset ovat yhdessä sitoutuneet pitkäjänteiseen yhteistyöhön, tutkimusympäristöjen kehittämiseen sekä uusien innovaatioiden tuotteistamiseen. Selvityksen perusteella näin ovat toimineet maailmalla parhaiten menestyneet yliopistot.

Huipputason tutkimus tuottaa myös korkeatasoista opetusta, joka samalla vetää puoleensa lahjakkaita (jatko)opiskelijoita. Ydinryhmä tulee suunnittelemaan joustavan opintokokonaisuuden, johon voi hakeutua monilla eri taustaopinnoilla.

# Sisällysluettelo

1. Älyliikenne – ITS (Intelligent Transportation Systems).	5
2. Tutkimus- ja opetus muualla	9
3. Yhteistyötahojen näkemyksiä	14
4. Älyliikenteen osaamisalueita ja AALTO-yliopiston vahvuuksia	19
5. Ehdotuksia tutkimuksen kehittämiseksi	23
6. Ehdotuksia opetuksen kehittämiseksi	28
7. Toimenpide-ehdotuksia	30

# 1. Älyliikenne – ITS (Intelligent Transportation Systems)

## Älyliikenne – Liikenteen digitalisaatio

Yleisesti älyliikenteellä tarkoitetaan mittaus-, tieto- ja viestintätekniikan soveltamista liikkumisessa ja liikennejärjestelmässä. Älyliikennetutkimuksen haasteena on ratkaista nykyisiä ja tulevia liikenteen ongelmia uusimman teknologian, osaamisen ja innovaatioiden avulla. Älyliikenne on liikenteen digitalisaatiokehitystä, joka antaa uusia työkaluja vaikuttaa positiivisesti liikennejärjestelmän palvelutasoon, turvallisuuteen, ympäristövaikutuksiin, energiatehokkuuteen ja taloudellisuuteen. Myös uudet innovaatiot energiatekniikassa yhdessä älyliikenteen tukevat samaa kehitystä. Älyliikenne liittyy myös liikennejärjestelmän suunnitteluprosessiin, jota voidaan tehostaa digitaalisten tietomallien ja laskennallisten mallien avulla. Älyliikenne kytkeytyy monin tavoin AALTO-yliopiston painopistealueisiin kuten digitalisaatio, energia ja ihmisläheinen ympäristö.

Uudet mittaus- paikannus-, tunnistus- ja kommunikaatiotekniikat mahdollistavat sen, että liikenteestä ja liikkuvuudesta tullaan jatkossa saamaan suuri määrä reaaliaikaista tietoa. Tätä ns. raakatiedon massaa voidaan jatkojalostaa luotettaviksi liikenteellisen toimivuuden tunnusluvuiksi ja ennusteiksi. Näitä tuloksia voidaan käyttää liikennetiedotukseen, reitin-, pysäköinnin, ja kuluttavan opastukseen sekä tehokkaampaan ja sujuvampaan liikenteen ohjaukseen ja hallintaan. AALTO-yliopistolla on hyvät mahdollisuudet saada aikaan korkeatasoista ja monitieteistä liikennetietoon liittyvää tutkimusta: analysointi, jalostus, tiedon louhinta, mallinnus, simulointi, jne. Lisäksi voidaan tutkia ja kehittää erilaisia tekoälyn menetelmiä, jotka auttavat liikenteen ohjaukseen ja hallintaan liittyvässä päätöksen teossa.

Digitalisaatiokehitys on liikennesektorilla lähtenyt suunnittelun puolelta, jossa erilaisia tieto- ja laskentamalleja on jo pitkään käytetty apuvälineenä. Tätä suuntaa on syytä kehittää edelleen, jotta digitaaliset kartat ja 3-4D-tietomallit kehittyisivät entistä tarkemmiksi erilaisten laskennallisten mallien kuten esim. simuloinnin käyttöön. Tutkimuksellisesti haasteena on lisätä älykkyyttä erityisesti operatiivisen toiminnan eli liikenteen hallinnan puolella. Kyse on aikamittakaavan muutoksesta, jossa laskennallisia malleja sovelletaan reaaliaikaisesti. Tarvitaan mm. uusia menetelmiä/algoritmeja, kykyä suurten tietomassojen hallintaan ja nopeaan laskentaan. Järjestelmien yhteentoimivuus, standardointi ja tietoturvakysymykset tulevat myös eteen.

## Ihmislähtöinen ympäristö

Yksi ihmislähtöisen ympäristön perusedellytys on sen turvallisuus. Nykymuotoinen tieliikenne ei täytä perusvaatimuksia, koska pelkästään Suomen liikenteessä surmansa saaneiden määrä vastaa yhden matkustajalentokoneen maahansyöksyä per vuosi. Lisäksi liikenneonnettomuuksien kustannusvaikutukset ovat noin 2% Bkt:sta. Ylivoimaisesti

suurimman osan onnettomuuksista aiheuttaa inhimillinen virhe. Älykäs ajoneuvo voisi havainnoida sekä ympäristön että kuljettajan tilaa sekä tarvittaessa opastaa tai varoittaa kuljettajaa.

Asteittain nämä uudet järjestelmät yleistyvät ja alkavat huolehtia eri osatehtävistä itsenäisesti kuten esim. ylinopeuden estäminen, jonossa ajaminen, kaistalla pysyminen, kaistan vaihto, pysäköinti, hätäjarrutus, automaattinen hätäkutsu jne. Ajoneuvot voivat myös kommunikoida toistensa, liikenteenohjauksen tai väyläinfrastruktuurin kanssa. Edellä ajavat autot voivat esim. varoittaa takana tulijoita poikkeustilanteista. Tulevaisuudessa ajoneuvot voisivat mm. neuvotella ajojärjestyksestä liittymissä ilman liikennevaloja.

Älyliikenteen palveluiden avulla voidaan joukkoliikennejärjestelmästä tehdä ihmislähtöisempi ja palvelutasoltaan vetovoimaisempi. Ovelta ovella opastava palvelu neuvoo matkustajaa matkan kaikissa vaiheissa, myös silloin kun liikutaan kävellen terminaaleissa tai muissa julkisissa tiloissa. Henkilökohtainen ja personoitu palvelu hakee eri vaihtoehtoja jos matkasuunnitelma muuttuu matkustajan omasta päätöksestä tai liikenteen häiriöstä johtuen. Henkilökohtainen opas ilmoittaa tarjolla olevat vaihtoehdot, niiden matka/odotusajat ja hinnat sekä tarvittaessa myös energiankulutuksen ja päästöt.

Uuden tyyppiset kysyntään ja sen vaihteluihin nopeasti reagoivat liikennepalvelut yleistynevät tulevaisuudessa. Tällaisten kysyntäohjautuvien järjestemien toiminnan optimointi vaatii hyviä algoritmeja sekä luotettavia liikennetilannetietoja/ennusteita. Myös täysin automaattiset kuljettimet yleistyvät tulevaisuudessa. Joukkoliikenteen palveluiden ja kulkumuotojen toiminnan älykäs kokonaisuoptimointi on tärkeää sekä matkustusmukavuuden että energiatehokkuuden kannalta.

## Energia ja ympäristö

Nykyinen liikenne tuottaa noin kolmasosan päästöistä, jotka saastuttavat ilmaa. Päästöjen määrää voidaan vähentää lisäämällä liikenteen energiatehokkuutta. Älykkään liikenteen ohjauksen avulla liikennevirran nopeusvaihtelut voidaan minimoida, mikä vähentää energiankulutusta ja päästöjä. Energiaa ja aikaa hukkaavia ruuhkatilanteita pyritään välttämään mm. ajantasaisella liikennetiedoituksella ja älykkäällä reittiopastuksella.

Liikennejärjestelmässä pätevät kysynnän ja tarjonnan lainalaisuudet. Tarve liikkua synnyttää liikenteen kysynnän. Liikenteen tarjonta on se väylä- tai kuljetuskapasiteetti, jota kulloinkin voidaan tarjota. Kun kysyntä ylittää tarjonnan, liikenne ruuhkautuu. Hetkellinenkin ylikuormitus voi romahduttaa välityskyvyn niin, että itse ruuhkautuminen kestää huomattavasti kauemmin kuin sen aiheuttanut tilanne. Älyliikenteen avulla pyritään etukäteen välttämään ylikysyntätilanteet sekä nopeasti havaitsemaan ja korjaamaan poikeus/häiriötilanteet, kuten liikenneonnettomuudet. Älykkäällä liikenteenohjauksella, reittiopastuksella ja häiriötiedottamisella on mahdollista saada jo olemassa olevasta infrastuktuurista paras mahdollinen kapasiteetti.

Jos kapasiteetti edellä mainituista toimenpiteistä huolimatta ei riitä, on kaksi vaihtoehtoa: väylien lisärakentaminen tai kysynnän sääteleminen. Liikenteen kysyntä vaihtelee voimakkaasti vuorokaudenajan mukaan. Liikenteen kysyntäpiikkejä voidaan tasoittaa mm. ajantasaisen/ennakoivan tiedotuksen avulla sekä liikennetilanteen mukaan määräytyvillä ruuhkamaksuilla. Kun kysyntä tasaantuu, liikenteen sujuvuus paranee, eikä väyläkapasiteettia välttämättä tarvitse mitoittaa liikenteen huipputuntien mukaan. Väylien rakentamiseen ja kunnossapitoon on toki silti edelleen tarvetta.

Asteittainen siirtyminen kohti sähkö- ja hybridiajoneuvoja parantaa energian käytön hyötysuhdetta merkittävästi ainakin pitkällä aikavälillä. Sähkövoimalla ajettaessa itse ajoneuvo ei tuota päästöjä lainkaan. Mahdollisimman puhtaan energian tuotanto voidaan ratkaista monilla eri tavoilla, käyttämällä kulloinkin saatavilla olevan teknologian antamia mahdollisuuksia. Älykkäät sähköverkot ja latausjärjestelmät (SmartGrid) tasaavat sähköverkon kuormitusta, mikä vähentää tarvetta lisävoiman rakentamiseen. Pääkaupunkiseudun liikenteen sähköistäminen (kuva 1). on hyvä esimerkki laajamittaisesta hankkeesta, jossa älyliikenne liittyy sähköiseen liikkumiseen ja jossa AALTO-yliopisto on mukana tutkimushankkeen kautta.



Kuva 1. Pääkaupunkiseudun liikenteen sähköistäminen: <http://sahkoinenliikenne.fi/>

## Älyliikenteen tutkimus

Liikenne on monimutkainen järjestelmä, jossa äly jakautuu monille eri tasoille: kuljettaja, ajoneuvo, infrastruktuuri, liikenteenohjaus ja -hallinta, liikennekeskukset, liikennealan toimijat ja organisaatiot. Tekninen kehitys sensoreiden, tiedonsiirron, prosessointi/tallennuskapasiteetin ja päätelaitteiden osalta on tätä nykyä varsin nopeaa ja kiihtyy edelleen.

Kuitenkin nykyisessä liikennejärjestelmässä on vielä melko vähän varsinaista sisäänrakennettua älykkyyttä. Tietoa siirrellään tehokkaasti paikasta toiseen, mutta kokonaisuuksia optimoivat "aivot" puuttuvat. Älykkyyden lisääminen liikenteen eri tasoilla on tutkimuksellisesti mielenkiintoinen ja haastava tehtävä, joka sopisi hyvin yliopistotutkimuksen rooliin.

Älyliikenteen tutkimus- ja kehitystyö on mm. liikenneministeriön, liikenneviraston, TRAFI:n, HSL:n ja useiden kaupunkien painopistealueita. Julkisten tahojen lisäksi erityisesti yksityiset (suuret ja pienet) ovat havainneet kasvavat markkinat ja pyrkivät aktiivisesti edistämään älyliikenteen toimialaa kuten mm. Nokia, IBM, Siemens, NSN, Logica, teleoperaattorit, palveluntuottajat sekä muut laitteisto-, ohjelmisto- ja järjestelmätoimittajat. Kotimaista ITS alan verkottumista edustaa mm ITS-Finland, johon kuuluvat lähestulkoon kaikki alalla toimivat yritykset ja yhteisöt. Kyseessä on kuitenkin ensisijaisesti kansainvälinen kehitys, jossa myös Suomi on mukana. EU:lla on käynnissä lukuisia älyliikenteeseen liittyviä tutkimusohjelmia. Myös Yhdysvalloissa ja erityisesti kaukoidässä kehitys on erittäin nopeaa. Yritysmaailman puolella kiinnostuksen horisontti ulottuu lähinnä tuotteisiin, joita voidaan kehittää, valmistaa, monistaa ja myydä nopeasti ja helposti.

Siksi alalla olisi selkeä tarve myös pitkäjänteiselle ja korkealuokkaiselle tutkimukselle, joka sopisi hyvin monitieteisen AALTO-yliopiston roolin. Tutkimustyössä tarvitaan yhteistyötä sellaisten AALTO-yliopiston laitosten välillä, jotka liittyvät mm. liikenteeseen, logistiikkaan, mittaus-, tieto-, viestintä- ja mediatekniikkaan, sekä lisäksi laskentaan, automaatioon- ja kompleksisten systeemien hallintaan. Älyliikenteen alalle tarvitaan myös jatkuvasti uusia osaajia, joten myös opetuksen kehittämällä on keskeinen rooli. Älyliikenneselvityksen yhtenä tavoitteena on kartoittaa eri osapuolten kiinnostus ja valmiudet osallistua monitieteelliseen tutkimus- ja opetusyhteistyöhön AALTO-yliopistossa.



## 2. Tutkimus- ja opetus muualla

Yhtenä tapana lähestyä annettua tehtävää on kartoittaa, miten älyliikenteen tutkimus- ja opetus on järjestetty muissa yliopistoissa. Älyliikenne-työryhmä valitsi lähempään tarkasteluun muutaman liikenne- ja ITS-osaamisestaan tunnetun yliopiston. Valitut kohteet olivat:

- University of California, Berkeley (UCB)
- Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Delft University of Technology (TUD)
- Carnegie Mellon University (CMU)

### University of California, Berkeley (UCB), Institute of Transport Studies (ITS)

ITS on vuonna 1948 perustettu yksi liikennealan johtavista tutkimusyksiköistä. Instituutin toiminta kattaa kaikki liikennealan sektorit. Älyliikenne on siis yksi, mutta yksi keskeinen osa instituutin toimintaa. Noin 100 opiskelijaa valmistuu vuosittain. ITS tarjoaa perus- ja jatkokoulutus tutkintoja sekä ammatillista täydennyskoulutusta. ITS-alan opinnoista voi saada sertifikaatin. Tärkeimmät älyliikenneaktiviteetit ovat PATH ja CCIT.

#### PATH - Partners for Advanced Transportation Technology

Vuonna 1986 perustettu UCB:n monitieteinen ITS-alan tutkimusohjelma, jonka päätoimijoina ovat UCB:n Institute of Transportation Studies (ITS) ja California Department of Transportation (Caltrans), mutta jolla on myös paljon yhteistyötä muiden yliopistojen, julkishallinnon, joukkoliikenneoperaattorien, yksityisten yritysten ym. toimijoiden kanssa.

PATH-ohjelman tavoitteina ovat mm: sujuvuus, turvallisuus ja saavutettavuus sekä ympäristöhaittojen ja liikennestressin vähentäminen ja energiatehokkuuden lisääminen. Esimerkkihankkeita: GPS-ohjatut autot, automaattinen ajoneuvon ohjaus ja liittymätoiminnot, törmäyksen varoitus ja estojärjestelmät sekä Intelligent Vehicle Initiative.

ITS-alueen tutkimusteemat:

- Liikenteen operaatiotutkimus  
Keskittyy tutkimaan ja kehittämään älykästä liikenteen hallintaa ja matkustajien tietojärjestelmiä, joita voidaan siirtää myös käytäntöön. Mukana 15 eri laitosta, 40 tutkijaa, 25 aktiivista tutkimushanketta: liikennetiedon prosessointi, analysointi, fuusio ja simulointi, älykäs liikenteen ohjaus, joukkoliikenne-etuudet, hälytysajoneuvot, testialueet,
- Joukkoliikenteen operaatiotutkimus  
Tutkii uusia konsepteja, menetelmiä, teknologioita ja innovaatioita joukkoliikenneneratkaisujen parantamiseksi. ITS sovellukset, turvallisuus, V2I

integraatio, Bus Rapid Transit (BRT), Demand Responsive Transit (DRT), kaistallapito, automaattinen pysäkillä ajo, automatisoitu BRT.

- Liikenneturvallisuustutkimus

Tutkii liikennekäyttäytymistä (science of driving) ja pyrkii turvallisuuden lisäämiseen mm. ajoneuvon ja tien välisellä yhteistoiminnallisuudella. Pyrkii ratkaisuihin, jotka voidaan nopeasti siirtää todelliseen käyttöön. Tutkimusaiheita mm: liittymäturvallisuus, törmäyksenesto, tasoristeykset, kuljettajatoimintojen mallinnus ja jalankulkijoiden turvallisuus. Esimerkkisovelluksena mm. vasemmalle kääntymisen varoitusjärjestelmä.

- Poliitikka ja käyttäytymistutkimus

Älykkään liikennejärjestelmän rooli, vastuu ja vaikutukset. Poliitikka suunnittelu ja toteutuskysymykset liittyen uusien teknologioiden käyttöön, markkinoihin ja kysyntään. Osaamisalueina psykologia, sosiologia liiketoiminta ja markkinointi.

PATH-ohjelman keskeisiä menestystekijöitä ovat korkeatasoinen tekninen osaaminen, perustutkimus sekä tiivis yhteistyö yliopistotutkimuksen, liikenteen eri hallinnonalojen sekä yksityisten yritysten välillä. Tämä yhteistyön tiivistyy parhaiten tutkimuksissa, jotka toteutetaan ns. Living Lab ympäristöissä, joissa testataan erilaisten teknologioiden toimivuutta todellisissa olosuhteissa ja samalla kerätään tutkimustietoa. Living Lab koealueet luovat pohjan pitkäjänteiselle tutkimus- ja kehitystyölle, jonka jatkuvuuteen eri osapuolet luottaa ja sitoutuu. Tutkimusten tuloksia käytetään mm. kansallisen ITS-strategian muodostamisessa.

PATH-ohjelma yhteyteen on luotu myös California Center for Innovative Transportation (CCIT), jonka tavoitteina on mm:

- toimia linkkinä tutkimusryhmien, yritysten ja julkisten toimijoiden välillä
- mataloittaa kynnyksiä tehdä yhteistyötä eri toimijoiden kesken
- tarjota tutkimus- ja testausympäristöjä eri toimijoiden yhteistyölle
- nopeuttaa tutkimuksen siirtämistä käytäntöön
- käyttäjälähtöisten ja yleishyödyllisten ratkaisujen tuottaminen
- tukea innovatiivisia lähestymistapoja ja käytännöllisiä ratkaisuja
- ratkaista ns. "last mile problem", jotta tutkimuksesta voisi syntyä liiketoimintaa

## Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Intelligent Transportation Systems Program & Intelligent Transportation Systems Lab

MIT:n ITS-Ohjelmassa tutkitaan liikenteen hallinnan ja optimoinnin ongelmia. Tutkimusvälineenä käytetään paljon MITSIMLab-ohjelmistoa, jonka kehitystyö on osa

tutkimusta. Liikenteen hallintaan kehitetty ohjelmiston on nimeltään DynaMIT. Tutkimusaiheet ja menetelmät ovat saman suuntaisia kuin AALTO-yliopiston vastaavissa tutkimushankkeissa. Resurssit MIT:ssä ovat tietenkin toista luokkaa.

Viimeaikaisia tutkimusprojekteja:

- CityMotion: Data Fusion for Mobility Consumers, Providers, and Planners
- SCUSSE: Smart Combination of Passenger Transport Modes and Services in Urban Areas for Maximum System Sustainability and Efficiency
- SOTUR: Strategic Options for Integrating Transportation Innovations with Urban Revitalization
- Modeling Cooperative Driving Behavior in Freeway Merges

### MITSIMLab

MITSIMLab on mikrosimulointi-ohjelmisto, joka on kehitetty MIT:ssä. Ohjelmistoa on kehitelty ja validoitu useissa tutkimushankkeissa sekä käytännön case-tutkimuksessa kuten "the big dig" tunnelihanke. MITSIM-ohjelmistoa käytetään myös reaali-aikaisesti yhdistämään eri mittauksia, mallintamaan nykytilanne sekä tekemään lyhyen ajan ennusteita (max 1h).

### DynaMIT

DynaMIT on liikenteen ohjaukseen ja hallintaan kehitetty ohjelmisto, jonka avulla ohjataan liikennevaloja, annetaan reittiopastusta, havaitaan ja korjataan häiriötilanteita sekä hinnoitellaan liikkumista. DynaMIT-pohjautuu MITSIMLab:n mikrosimulointimalliin.

### MIT Portugal Program (MPP) Transportation Systems

MPP on laaja monitieteinen yhteistyöohjelma Portugalin yliopistojen ja MIT:n välillä ja älyliikenne on yksi keskeinen osa-alue. Tavoitteena on pitkäaikainen tutkimusohjelma, sekä luoda tutkijoiden ja muiden ammattilaisten ydinryhmä. Tutkimuskohteena ovat laajan mittakaavan kompleksiset systeemit, joilla on paljon sosio-ekonomista vaikutusta. Liikenteen lisäksi luodaan linkkejä energiatekniikkaan, teolliseen muotoiluun, toimitusketjujen hallintaan ja autonvalmistustekniikkaan.

### Technical University of Delft (TUD)

TUD:ssa on laaja-alaista liikenteen ja logistiikan opetus- ja tutkimustoimintaa. Opetuksessa on mukana mallinnusta, simulointia, älykäästä liikenteen ja kuljetusten hallintaa sekä älykkäitä ajoneuvoja. Opetus tähtää liikennejärjestelmän kestävään suunnitteluun ja operointiin. TUD:ssa ITS on osana infrastruktuuriin ja liikkumiseen liittyvää tutkimusohjelmaa:

## Delft Research Initiative: 'Infrastructures & Mobility'

"Infrastruktuuri ja liikkuvuus" -hankkeen tavoitteena on toimia kohtaamispaikkana tutkijoille, hallinnon toimijoille, yrityksille ja yleisölle. Ajatuksena on että näin syntyy parhaiten uusia ideoita ja konsepteja tulevaisuuden liikkumiseen. Näkökulma TUD:n ohjelmassa on hieman laajempi kuin AALTO ITS-initiative:ssa, mutta perusajatus liikkumisen optimoimisesta on samansuuntainen.

### Tietämys

- Pääsy riippumattoman tietoon (kirjasto, julkaisut)
- Patenttien ja lisensioimisen käyttäminen uusien innovaatioiden yhteydessä
- Sopimustutkimus
- Keskustelu ja yhteistyöpartneri
- Yhteydet opiskelijoihin (harjoittelupaikat, opinnäytetyöpaikat)
- TUD:n tohtoriopiskelijat
- Jatko-opiskelu
- Tapaamiset ammattilaisten kanssa

### Tutkimusvälineet

- Lentosimulaattori
- Koeallas
- Tuulitunneli
- Ajosimulaattori
- Simulointilaboratorio

## Carnegie Mellon University (CMU)

Carnegie Mellon -yliopisto Pittsburghissa sijaitseva tutkimusyliopisto. Yliopisto sai alkunsa 1900 Andrew Carnegien perustamasta Carnegie Technical Schoolsista, josta tuli 1912 Carnegie Institute of Technology. Vuonna 1967 Carnegie Institute of Technology yhdistyi Mellon Institute of Industrial Researchin kanssa, jolloin syntyi nykymuotoinen Carnegie Mellon -yliopisto.

Carnegie Mellon on arvioitu Shanghain listalla maailmanlaajuisesti viidenneksitoista yhteiskuntatieteissä ja seitsemänneksi tekniikassa. Yliopiston vahvimmat alat ovat tekniikka ja erityisesti tietojenkäsittelytiede.

### Traffic21-initiative

Traffic21 on CMU:n monitieteinen hanke, jonka tavoitteena on suunnitella, testata, ottaa käyttöön ja arvioida ICT-pohjaisia ratkaisuja Pittsburgh:n alueen liikenneongelmien ratkaisemisessa.

Pittsburgh palvelee “learning lab” alueena, jossa tutkittuja ratkaisuja voidaan levittää maan ja maailman laajuisesti. Traffic21 vivuttaa Carnegie Mellon’s:n johtoasemaa sellaisilla keskeisillä liikenteen alueilla kuin infrastruktuuri, saavutettavuus, reitinvalinta, tekoäly, verkkopalvelut ja autonomiset ajoneuvot. Traffic21-hanketta johdetaan H. John Heinz III Collegesta, johon kuuluvat: School of Public Policy and Management and a School of Information Systems and Management. Myös CMU:n muiden koulujen henkilökunta ja opiskelijat osallistuvat Traffic21-initiative:n tutkimukseen.

### 3. Yhteistyötahojen näkemyksiä

Selvitystyön yhtenä tavoitteena oli kerätä tietoa muiden organisaatioiden odotuksista ja toivomuksista liittyen älyliikenteen tutkimuksen ja opetuksen kehittämiseen AALTO-yliopistossa. Tietojen keräämiseen on käytetty mm. henkilökohtaisia tapaamisia, haastatteluja, puhelinkeskusteluja ja sähköpostitse lähettyjä kysymyksiä. Lisäksi on osallistuttu ITS-alan kokouksiin mm. Berliinissä. Työryhmän sisäistä näkemystä on koottu yhteen erityisesti työryhmän kokouksissa, mutta myös sähköpostitse, puhelimitse ja haastatteluina. Selvityksen aikana on haastateltu mm. seuraavia henkilöitä: Seppo Öörni (LVM), Jan Juslen (Liikennevirasto), Sami Mynttinen (Trafi), Risto Kulmala (VTT), Kimmo Yli-Siurunen (ITS-Finland), Matti Juhala (Auto- ja työkonetekniikka), Reijo Sulonen (Tietotekniikka), Arto Visala ja Kari Koskinen (Automaatio- ja systeemitekniikka).

Seuraavassa yhteenveto joidenkin keskeisimpien tahojen näkemyksistä.

#### Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM)

Liikenne- ja viestintäministeriö pitää AALTO ITS-initiative hanketta erittäin ajankohtaisena. Ministeriö on valmistelemassa liikennepoliittista selontekoa, jossa ”Innovatiiviset palvelut ja älyliikenne” on yhtenä osa-alueena. Ministeriö on huolissaan mm. osajien puuttumisesta ITS-alalla, joten selontekoon voidaan kirjata, että myös älyliikennealueen opetusta tulisi jatkossa kehittää mm. AALTO-yliopistossa.

Tutkimuksen osalta yritysten ja yliopiston välinen yhteistyö ja työnjako on tärkeää. AALTO-yliopiston monitieteiseen rooliin sopii tutkimuksellista otettava vaativa pitkäjänteinen työ. Yrityksille taas sopii sellainen tuotekehitys, jossa ei tarvitse sitoa resursseja pitkäaikaiseen tutkimustyöhön. Yritysten järjestelmät voivat tuottaa yliopistolle tärkeää mittausdataa, jonka päälle voidaan tutkimustyön avulla rakentaa ns. älykerros. Yliopiston tutkimustyön tuloksia tulisi siirtää Suomalaiseen liiketoimintaan. mm. julkaisujen, sopimusten tai spin-off yritysten kautta.

Ministeriö painottaa laajojen koe-alueiden käyttöä kuten mm. Tampereella, Helsingissä ja Helsinki-Pietari välillä. Living lab tyyppisellä lähestymistavalla voidaan saavuttaa todellisia tuloksia. Liikenneviraston ja Trafian tietovarantoja tullaan avaamaan noin vuoden sisällä vapaampaan käyttöön. Raakatietojen käsittelyn avulla tulisi tuottaa mm. opastusta liikenteen hallinnan operatiiviseen toimintaan.

#### Liikennevirasto

Liikenneviraston perustamisen keskeinen ajatus on päästä eroon kulkumuotokohtaisesta sektoriorganisaatiosta ja siihen liittyvästä ajattelutavoista ja prosesseista. Suuri muutos on myös painotuksen siirtyminen infrastruktuurin lisärakentamisesta liikenteen hallintaan. Liikennevirasto on ensisijaisesti tilaajaorganisaatio, jossa toiminta on suurelta osin ulkoistettu mm. urakoitsijoille, konsulteille ja tutkimuslaitoksille. Poikkeuksena ovat operatiiviset liikennekeskukset, jotka toimivat liikenneviraston alaisuudessa.

Liikenneviraston tehtävänä on taata sujuva liikkumispalvelut kaikissa kulkumuodoissa sekä kansalaisille että liiketoiminnalle. Sujuvan liikkumisen taustalla on ajatus liikenteen kysynnän säätelystä mm. maankäytön suunnittelulla, joukkoliikenteen palveluilla, liikenteen tiedotuspalveluilla ja liikenteen hinnoittelulla.

Liikenneviraston lähtökohtana on liikenneviraston strategiasta ja päämääristä lähtevät tarpeet, jotka ohjaavat tutkimuspanostuksen suuntaamista. Tämä suuntaaminen tapahtuu mm. painopistealueiden ja hankesuunnitelmien kautta. T&K-painopistealueet ovat ilmastonmuutoksen hillintä, asiakastarpeita vastaavat matka- ja kuljetusketjut, turvallisuus ja ympäristö sekä tehokas väylänpito ja uudet toimintamallit. Kussakin painopistealueessa on 2-3 tutkimusohjelmaa joihin mm. diplomityöt ja väitöskirjatyt voidaan liittää.

Erityisesti liikenteenhallinta-toimialaa kiinnostavia tutkimusaiheita ovat esimerkiksi ajantasaisten liikenne- ja olosuhdetietojen parempi hyödyntäminen, liikenteen häiriötilanteiden ennakointi, päätöksentekoa tukeva liikenteen tilannekuva ja liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta edistävien tietopalvelujen kehittäminen. Liikennekeskuksiin tarvitaan työkaluja liikenteen seurantaan, säätöön ja häiriön hallintaan. Tähän tarvitaan mm. tietojen jalostusta, lyhyen ajan ennusteita, älykkäitä algoritmeja, kartoitusta lähtötietojen tarpeen määrästä ja laadusta. Vaikutusten aikaansaamiseen tarvitaan kanavia kuten Internet, radio, ja liikenneviraston Digttraffic-rajapinnan päälle rakennettavat lisäarvopalvelut.

Liikennevirastolle on tärkeää älyliikennealan osaamisen säilyminen mm. julkisella sektorilla, yliopistoissa ja konsulttiyrityksissä. Tavoitteena on rahoittaa n. 5 diplomityötä per vuosi. Tavoitteena on mm. se, että tulevat asiantuntijat tuntevat oman erikoisalansa lisäksi sen, miten älyliikennettä voidaan soveltaa heidän alallaan. Tärkeää olisi myös laajojen kokonaisuuksien ymmärtäminen sekä mm. ITS-direktiivien tunteminen.

## Liikenneturvallisuusvirasto - Trafi

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi vastaa liikennejärjestelmän säätely- ja valvonta-tehtävistä, kehittää liikennejärjestelmän turvallisuutta ja edistää liikenteen ympäristöystävällisyyttä.

Liikenneturvallisuusviraston näkökulma on vastuullinen liikkuminen, jossa otetaan huomioon sekä liikenneturvallisuus että liikenteen ympäristöhaitat. Älyliikenne on yksi keino, jolla vastuullista liikkumista voidaan edistää. On tärkeää että tutkimuksen suuntaa ohjaavat ensisijaisesti tavoitteet ja teknologiaa käytetään apuvälineenä.

Trafi korostaa erityisesti poikkitieteellisyden merkitystä AALTO-yliopiston tutkimuksessa. Painopistealueena on älyliikenteen yhteiskunnallinen vaikuttavuus. Trafi:n ja AALTO-yliopiston välisen tutkimusyhteistyön teemana voisi olla ”turvallisuuskulttuuri ja älyliikenne”, jossa tavoitteena olisi entistä paremmin ymmärtää älyliikenteen mukanaan tuomia muutoksia liikennejärjestelmässä.

Ajoneuvo ja kuljettajan välinen vuorovaikutus on muuttumassa kuljettajan tukijärjestelmien ja automaattisten toimintojen myötä. Esimerkkinä voidaan mainita järjestelmät, jotka

tarkkailevat kuljettajan ajotapaa ja antavat samalla myös palautetta turvallisempaan ja taloudellisempaan ajamiseen.

Trafi:n kannalta keskeinen tutkimuskysymys on se, miten uudet järjestelmät vaikuttavat kuljettajan käyttäytymiseen ja mitkä ovat todelliset turvallisuusvaikutukset. Automaation myötä kuljettajan tarkkaavaisuus ja taidot hallita ajoneuvoa voivat heikentyä. Ilmiö on havaittu jo aiemmin mm. lentoliikenteessä, jossa automaatiota käytetään niin paljon, että häiriötilanteissa pilottien taidot eivät välttämättä aina ole riittävällä tasolla.

Turvallisuuskulttuuri on erilainen eri liikennemuodoissa. Raide, meri- ja ilmaliikenteessä 200-300 ihmisen vuosittainen kuolema ja tuhansien loukkaantuminen ei tulisi kyseeseen. Tieliikenteessä näihin lukuihin on jouduttu tottumaan toistaiseksi, joskin tavoitteena on puolittaa onnettomuusluvut. Edellä mainittuja lähes nollatoleranssin kulkumuotoja yhdistää turvallisuuskulttuurin lisäksi kehittyneemmät ohjausjärjestelmät. Tulevaisuuden älyliikenteessä samantyyppisiä toimintamalleja ja toimintakulttuuria tulisi siirtää entistä enemmän myös tieliikenteen puolelle.

## VTT

VTT:llä on pitkä kokemus älyliikenteen tutkimuksesta. VTT on kansainvälisesti tunnettu telematiikkahankkeiden arvioinnin osajana. VTT:n vahvuuksina voidaan pitää osallistumista isoihin EU-hankkeisiin. Hankkeisiin on usein liittynyt laajoja koejärjestelyjä ja koealueita, joista saatavan data:n avulla on arvioitu hankkeen ominaisuuksia ja toteuttamismahdollisuuksia. VTT:llä tutkitaan myös ajoneuvojen kommunikaatiota (V2X), RFID-tekniikan mahdollisuuksia ja sovelletaan uusia tekniikoita testiympäristöissä.

Yhtenä VTT:n visiona on ajoneuvot Internetissä, jossa auto vähitellen muuttaa luonnettaan myös mobiiliksi työ/harrastustilaksi. Älyliikennealan haasteena VTT näkee mm. liiketoimintamallit (ns. muna vai kana ongelma). Käyttäjät eivät hanki laitteita ennen kuin on palveluita kun taas yritykset eivät investoi palveluihin ennen kuin on tiedossa riittävästi käyttäjiä. Tieteellisinä ongelmina VTT:n näkee matkustamisen optimoinnin ja liikennejärjestelmän operoinnin sekä itsekalibroituveduuden.

Opetuksen osalta VTT siirtäisi painopistettä perustekniikasta sovelluksiin, vaikutusten arviointiin, teknistaloudellisiin, liiketoiminnallisiin ja organisatorisiin kysymyksiin. Arktinen ulottuvuus on Suomen vahvuus. VTT:llä on huoli alan tulevasta osaajista, joten ITS-alan opetukseen kaivataan vahvistusta. Älyliikennetutkimuksessa sekä VTT että AALTO-yliopisto voisivat hyötyä strategisesta kumppanuudesta, jonka voisi aloittaa esim. tekemällä alustava yhteistyösuunnitelma. VTT on lähempänä käytäntöä, laitteita, teknologiaa ja dataa. AALTO-yliopiston vahvuutena voisi olla tutkia ja kehittää teknologian ja datan päälle "älykkyyttä", joka loisi tilannetietoisuutta ja antaisi vastauksia erilaisiin optimointikysymyksiin.



## ITS-Finland

Informaatioteknologia tulee osaksi yhteiskunnan kaikkia toimintoja. Jo lähitulevaisuuden liikkumista ja liikennettä kuvaa parhaiten englanninkielinen termi ”connected”, joka tarkoittaa sekä liikkujien että liikkumisvälineiden kytkeytymistä toisiinsa ja taustajärjestelmiin tietoliikenteen avulla. Yhteiskunnalle hyödyt näkyvät ennenkaikkea liikennejärjestelmän tuottavuudessa, mutta myös yhteiskunnan resurssien kohdistamisessa.

Informaatioteknologian hyödyntäminen liikenteessä ja liikkumisessa on jo nyt avannut uuden ikkunan älyliikenteen toimialalle. Alalle on syntynyt lukuisia uusia toimijoita viime vuosina ja alan nähdään kiihdyttävän uusien yritysten syntyä. Suomen etuna on riippumattomuus ajoneuvoteollisuudesta, joka mahdollistaa ”puhtaan” innovaation ja liikennemuotojen tasapuolisen huomioimisen.

Eurooppa on voimakkaasti pyrkimässä alan kehityksen suunnannäyttäjäksi (haastajina USA ja Aasia). Ajoneuvoteollisuuden rooli on merkittävä alalla, ko. teollisuus on pakotettu avaamaan ajoneuvo osaksi koko älyliikennejärjestelmää. ITS direktiivi työohjelmineen tulee ohjaamaan kehitystä EU:n jäsenvaltioissa. Suomessa tulee olla jatkossa osaamista ja resursseja vastata tähän kansainvälisen kehitykseen.

Osaajaresurssien paranemiseksi on ensiarvoisen tärkeää kotimaisten yliopistojen yms. koulutusyksiköiden opintojen kehittäminen ITS-alaa ”ruokkivaksi”. Tässä korostuu perusopintojen lisäksi jatko-opintojen kehittäminen. Osaajaresurssien osalta voidaan nähdä myös poikkitieteellisen osaamisen kehitystarve. Älyliikenne on eri alojen osaajien summa.

Älyliikennealan opetuksen näkökulmasta olisi erittäin positiivista saada syntymään työelämän kaltaisia projekteja/harjoitustöitä, joissa poikkitieteellisesti ratkaistaisiin älyliikenteelle tyypillisiä ongelmia. ITS ala edellyttää osaamista liikennetekniikasta, telekommunikaatiosta, käyttöliittymistä, käyttäytymisopeista, liiketaloudesta, markkinoinnista sekä designista.

Tutkimuksessa Aallon rooli nähdään nimenomaan monialaisen osaamisen keskittymänä, josta voidaan ammentaa menestystarinoita tulevaisuuden älyliikenneratkaisuille. Samalla avautuu mahdollisuus tutkimuslaitoslähtöisten uusien innovaatioiden valjastamiseen kannattavaksi yritystoiminnaksi.

Yliopiston on suotavaa osallistua aktiivisesti julkisen sektorin tutkimusyhteistyöhön, joskin samalla on syytä välttää resurssien päällekkäistä käyttöä. Yritysten kanssa tulisi synnyttää lisää kontaktipintaa ja tutkimushankkeita. Kansainvälisessä tutkimusyhteistyössä korostuvat monialaisten konsortioiden ja ITS-testilaeiden merkitys. Myös Aalto-yliopistolta voidaan odottaa panostusta avoimien testiympäristöjen kehittämiseen.

## EIT ICT-labs

EIT:n eli European Institute of Innovations and Technology:n tavoitteena on nostaa Eurooppalaisen tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan tasoa. EIT ICT-labs on perustanut useita keskuksia, joista yksi Helsingin seudulle mm. AALTO-yliopiston tiloihin. EIT ICT-labs tarjoaa mm. pysyvän ympäristön eri Euroopan eri maiden tutkijoiden väliselle yhteistyölle ja verkostoitumiselle Euroopassa.

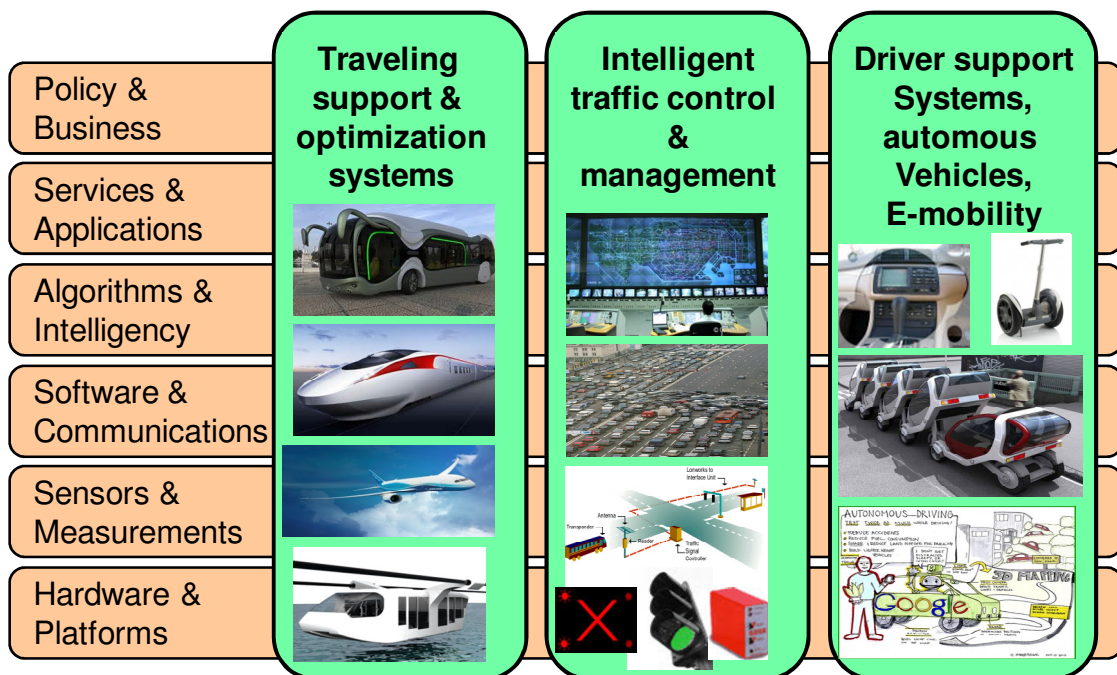
Vuoden 2011 alkupuolella käynnistettiin ns. ITS action line, jonka johto on Berliinissä. Kokouksessa 23.5.2011 Berliinissä tehtiin mm. vuoden 2012 toimintasuunnitelma ja hakemukset. Nytemmin kyseinen thematic action line on nimetty muotoon: "Intelligent Mobility and Transportation Systems" AALTO-yliopiston liikennetekniikka on mukana hakemuksessa, joka liittyy liikenteen sähköistämiseen ja älyliikenteen yhdistämiseen.

EIT:n tarjoama tuki tutkimusprojektien rahoituksen muodossa on melko vaatimatonta. EIT tarjoaa ns. "catalyst" rahoitusta, jos on jo olemassa käynnissä oleva "carrier"-projekti. Catalyst-tuki on pieni verrattuna carrier-projektin budjettiin ja rahaa voi käyttää vain tarkoin määriteltuihin kohteisiin (esim. oppimis- tai testiympäristöjen perustamiseen tms). EIT-rahoituksen hyvänä puolena voidaan pitää sen kevyttä hakemusmenettelyä.

EIT ICT-labs ja sen ITS action line ovat vielä alkuvaiheissaan ja niiden kehittymistä kannattaa seurata sekä olla mukana kehittämässä korkeatasoista Eurooppalaista tutkimus- ja innovaatioyhteistyötä.

## 4. Älyliikenteen osaamisalueita ja AALLON vahvuuksia

Älyliikenteen osaamisalueita voidaan hahmottaa esimerkiksi kuvan 2 matriisilla. Pystysuorat palkit edustavat kolmea pääsektoria: älykäs matkustaminen, älykäs liikenteen ohjaus ja hallinta sekä älykäs ajoneuvo. Vaakasuurat palkit kuvaavat ITS-järjestelmien eri kerroksia. Pohjalla on ensin fyysinen laitteisto ja sen arkkitehtuuri sekä käyttöjärjestelmät. Sensoriteknologia kehittyy nopeasti ja mahdollistaa uusia mittausmenetelmiä. Ohjelmistot, ohjelmointityökalut ja järjestelmien välinen kommunikaatio on myös voimakkaan kehityksen vaiheessa. Varsinainen älykkäisyys toteutetaan algoritmeilla tai heuristiikoilla, jotka voivat olla joko uusia tai jo pitkään tunnettuja. Oleellinen muutos on se, että nyt niitä kytetään saumattomasti kytkemään älykkääseen liikkumiseen ja liikennejärjestelmiin. Älykerroksessa mm. jalostetaan sensoridataa ja tehdään päätöksiä. Varsinaiset sovellukset ja palvelut toimivat liittymänä käyttäjiin päin ja tukeutuvat älykerroksen tuottamiin tietoihin. ITS-innovaatioiden markkinoille tulon lopulta säätelee siihen liittyvä liiketoimintapotentiaali tai yleishyödyllisyys sekä poliittinen tahto ja lainsäädäntö.



Kuva 2. Matriisimuotoinen kuvaus älyliikenteen osaamisalueista.

AALTO-yliopistolla on osaamista kaikissa kolmessa ITS-sektorissa. Älykästä matkustamista on tutkittu ja kehitetty tietotekniikan laitoksen toimesta mm. METROPOL-projektissa, joka tutkii kysynnän mukaan reagoivan joukkoliikenteen optimimointia. Hanke on jo johtanut pilottivaiheeseen HSL:n kanssa ja AJELO Oy yrityksen perustamiseen. AALTO-yliopistossa on myös paljon muuta älyliikenteeseen soveltuvaa tietoteknistä

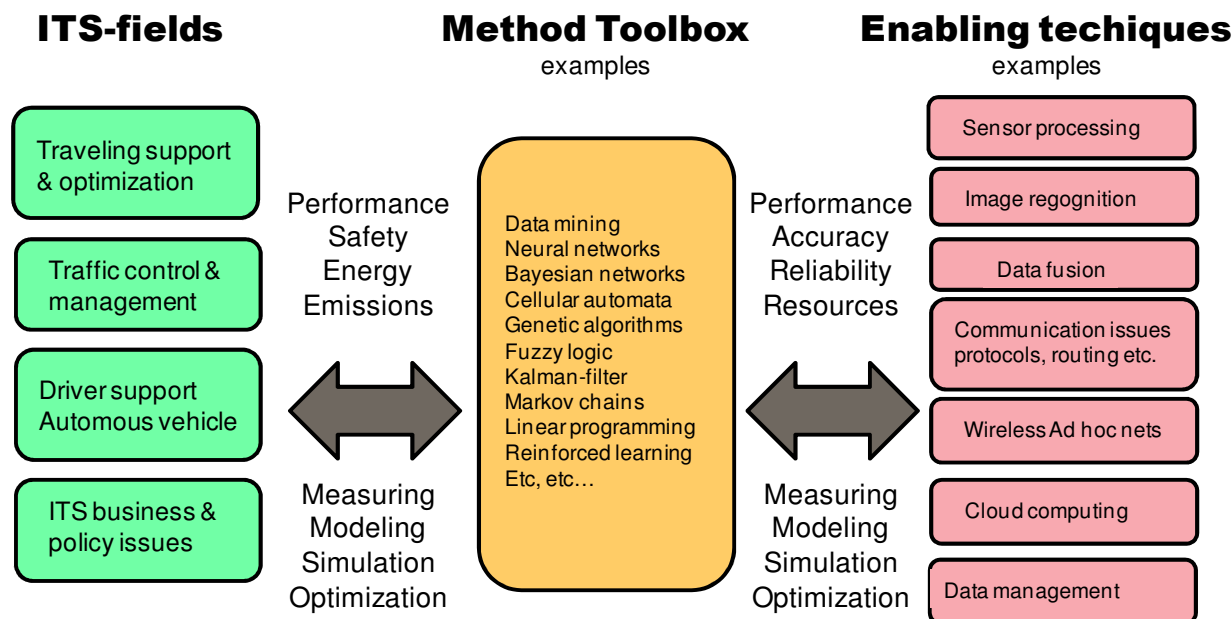
osaamista kuten mm: tiedon louhinta, älykkäät algoritmit ja paikkatiedon hallinta ja spatio-temporaalinen tiedon mallinnus.

Älykästä liikenteen ohjausta ja hallintaa on tutkittu liikennetekniikan tutkimusryhmässä useissa eri hankkeissa n. 20 vuoden aikana. Tuloksena on syntynyt mm. liikenteen simulointiohjelmisto (HUTSIM), älykäs valo-ohjausohjelmisto (FUSICO) ja liikenteen hallinnan työkalu (DigiTraffic). Ensin mainittu tuotiin kaupalliseen käyttöön jo v. 1993. FUSICO on tuotteistamisvaiheessa ulkomaisen yrityksen toimesta. DigiTraffic:sta on tehty kenttäkokeita. Liikennevirasto on ottanut käyttöön samannimisen palvelun, johon kootaan ajantasaista mittausdataa jatkojalostamista varten.

Automaatio- ja systeemitekniikan laitoksella on osaamista, joka liittyy älykkäisiin liikkuviin työkoneisiin. Laitoksella sijaitsee myös Generic Intelligent Machines huippuyksikkö (GIM). Näihin tutkimuksiin liittyvä osaaminen on samantyyppistä kuin mitä tarvitaan ns. älykkään ja autonomisen ajoneuvon kehittämiseen. Suuresta määrästä kuva- ja sensoridataa on jalostettava malli ympäröivästä tilasta, esteistä ja muista liikkujista. Näiden tietojen perusteella suoritetaan päätöksiä työtehtävästä, joka tässä tapauksessa on ihmisten ja tavaroiden turvallinen ja sujuva kuljettaminen. Tehtävästä selviämiseen tarvitaan myös tarkkaa paikannusta ja yhteistoiminnallisuutta muiden liikkujien kanssa.

AALTO-yliopiston kauppakorkeakoulun vahvuudet älyliikenteeseen liittyen liittyvät pääosin asiakkaisiin/kansalaisiin ja kaupallistamiseen. Tällöin osaamisen alueita ovat esim: uusien liikennepalvelujen ja järjestelmien käyttäjälähtöisyys, uusien palvelujen ja teknologioiden hyväksymisen ja käyttöönoton kriteerien tutkimus sekä tähän liittyen erilaisten regulaatiotoimenpiteiden, kuten tietullien ja muiden, vaikutukset kuluttajien näkökulmasta. Tämä osaaminen siis liittyy käyttäjiin ja kansalaisiin. Toinen näkökulma ovat taloudelliset seikat, eli erilaisten toimenpiteiden kansantaloudelliset ja kuntataloudelliset vaikutukset. Esimerkiksi edellä mainittujen regulaattoristen toimenpiteiden talousvaikutukset kuten mm. paljonko rahaa voidaan kerätä tietulleilla, mitkä ovat niiden vaikutukset liikennekäyttäytymiseen. Kolmas näkökulma on bisnes: erilaisten uusien palveluiden ja tuotteiden uudet liiketoimintamallit, ansaintamallit, innovaatioiden johtaminen ym. Tässä näkökulmassa osaaminen liittyy yritysten uusien palveluiden ja tuotteiden kehittämiseen, markkinoille tuomiseen (kaupallistamiseen) ja jatkuvaan tuottamiseen.

ITS-alueen osaamista voidaan hahmottaa myös *kuvan 3.* avulla. Vasemmalla ovat varsinaiset ITS-palvelut ja sovellukset. Oikealla puolella kuvataan mahdollistavia tekniikoita. Kuvan keskellä on ”työkalupakki”, jossa mainitaan osa niistä menetelmistä, joita voidaan käyttää kummallakin osa-alueella. Tyypillinen ITS-alan tieteellinen artikkeli koostuu kuvan 3. yhdestä laatikosta (oikealla tai vasemalla) sekä jonkin menetelmän käyttöön työkalupakista. Näiden pohjalta tehdään mm. mittauksia, mallinnusta, simulointia ja optimointia. Saatuja indikaattoreita (nuolen yläpuolella) yleensä verrataan jonkin toisen menetelmän antamiin tuloksiin. Uudet innovaatiot teknologiapuolella siirtyvät vähitellen palveluiksi tai tuotteiksi sovelluspuolelle.



Kuva 3. ITS-sovelluksia ja niitä mahdollistavat tekniikoita

Korkeatasoisen tieteellisen julkaisemisen kannalta näyttää lupaavalta, että AALTO-yliopistosta löytyy kuvaan 3 liittyvää osaamista sekä älyliikenteen palveluiden että niitä mahdollistavien tekniikoihin puolelta. Lisäksi löytyy laaja-alaisesti osaamista erilaisista laskennallisista menetelmistä, joita ITS-järjestelmissä voidaan soveltaa.

Älyliikenteen nopea kehitys tapahtuu monella eri tahoilla ja eri toimijoiden toimesta. Uudet teknologiat, menetelmät, innovaatiot ja palvelut liittyvät osaksi ITS-ekosysteemiä. Systemin komponentteja ovat mm. laitteistotoimittajat, tiedon tuottajat, tiedonhallinnan ja tiedonsiirron järjestelmät, tiedon jalostajat sekä loppukäyttäjän palvelut. Systemiin voi kuulua monentasoisia avoimia tai suljettuja säätöjärjestelmiä.

Ekosysteemin eri osat ja osapuolet verkottuvat toistensa kanssa sekä teknisesti (co-operative systems) että taloudellisesti osana jotakin palveluketjua. Joukossa on isoja ja pieniä, julkisia ja yksityisiä toimijoita sekä systemi-integraattoreita. Ekosysteemi voi kussakin maassa tai kaupungissa muodostua hyvin erilaiseksi. Keskeinen kysymys on se, miten (AALLO:n) tutkimus liitetään osaksi kasvavaa ekosysteemiä ja millaiseen ekologiseen lokeroon AALTO-yliopiston kannattaa pyrkiä sijoittautumaan uusien innovaatioiden ja korkeatasoisen tutkimuksen aikaansaamiseksi.

Tarvitaan strategia, jonka avulla AALTO-yliopisto saadaan menestymään ITS-alalla yhdessä muiden toimijoiden kanssa. Strategian luomiseksi päätettiin tehdä ns. SWOT-analyysi (kuva 4), jossa arvioidaan toisaalta sisäisiä vahvuuksia ja mahdollisia heikkouksia sekä toisaalta ulkoisia mahdollisuuksia ja uhkia.

Sisäisiä	<h3>Vahvuuksia</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AALTO-yliopiston monitieteisyys: tekniikka, talous, muotoilu</li> <li>• ITS-tutkimusta on jo tehty joillakin laitoksilla mm: joukkoliikenne, mallinnus ja simulointi, autonomiset koneet</li> <li>• On muodostunut useita vahvoja osaamisalueita, joita voidaan soveltaa myös ITS-tutkimuksessa mm: tietotekniikka, tiedon louhinta, tietomallit, automaatio- ja systeemi-tekniikka, ajoneuvo ja työkonetekniikka, liikennetekniikka, liiketoiminta ja logistiikka, geoinformatiikka</li> </ul>	<h3>Heikkouksia</h3> <p>AALLO:n ITS-tutkimuksen osalta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sirpaleinen rahoitus</li> <li>• Toisistaan irralliset projektit</li> <li>• Ei riittävää jatkuvuutta tutkimuksessa</li> <li>• Tutkimuksen suuntaa ohjaa usein kulloisenkin rahoituslähteen intressit</li> <li>• Liian vähän henkilöresursseja</li> <li>• Heikosti living lab testialueita</li> </ul>
Ulkoisia	<h3>Mahdollisuuksia</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ITS-ala kasvaa entistä merkittävämmäksi</li> <li>• ITS nähdään yhtenä keinona globaalien ongelmien ratkaisemisessa: ruuhkat, ympäristö, turvallisuus</li> <li>• Liikenne- ja tietotekniikkaan liittyvien tutkimusalojen voimien yhdistäminen ITS-tutkimuksessa</li> <li>• AALLON, julkisyhteisöjen ja yritysten välisen yhteistyön vahvistaminen</li> <li>• Pitkäaikaisten tutkimusrahoitusmahdollisuuksien avautuminen</li> </ul>	<h3>Uhkia</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ITS-alan kehitys hidastuu eri syistä: ei synny standardeja, liiketoimintaa, kiinnostusta tutkimukseen</li> <li>• Ei tiedetä mitä on jo tehty, keksitään "pyörää" uudelleen</li> <li>• ITS-alan kehitys ei vastaa odotuksia, liikaa "hypeä",</li> <li>• Odotetaan liian paljon ja liian nopeasti, vaikka autokanta ja infrastruktuuri eivät voi muuttua nopeasti</li> </ul>

Kuva 4. SWOT-analyysi AALTO-yliopiston älyliikennetutkimukseen liittyen

AALTO-yliopiston vahvuuksia ovat laaja poikkitieteellinen osaamisalue, joidenkin laitosten jo aloittama ITS-tutkimus, sekä useiden muiden laitosten vahvat osaamisalueet, joita voidaan soveltaa älyliikenteeseen:

**Liikennetekniikka, logistiikka, taloustiede, liiketoimintamallit, tietotekniikka, algoritmit, tiedonlouhinta, geoinformatiikka, tietoliikennetekniikka, mobiililaitteet ja verkot, sähkö- ja mittaustekniikka, mediatekniikka, ajoneuvo- ja työkonetekniikka, energiatekniikka, kaupunkisuunnittelu.**

Nykyisen älyliikennetutkimuksen heikkoudet liittyvät usein resurssipulaan. Tutkimusta tehdään niistä aiheista, joiden kohdalla projektihakemus on hyväksytty. Tuloksena saattaa olla melko ennakoimaton joukko erillisiä tutkimusprojekteja, jotka eivät välttämättä muodosta johdonmukaista kokonaisuutta. Tutkimuksen jatkuvuus on epävarmaa ja tutkimuksen tavoitteita voivat ohjata myös rahoittajatahojen intressit. Rahoituksen niukkuus ja epäjatkuvuus vaikeuttaa myös sopivan tutkimushenkilöstön rekrytointia.

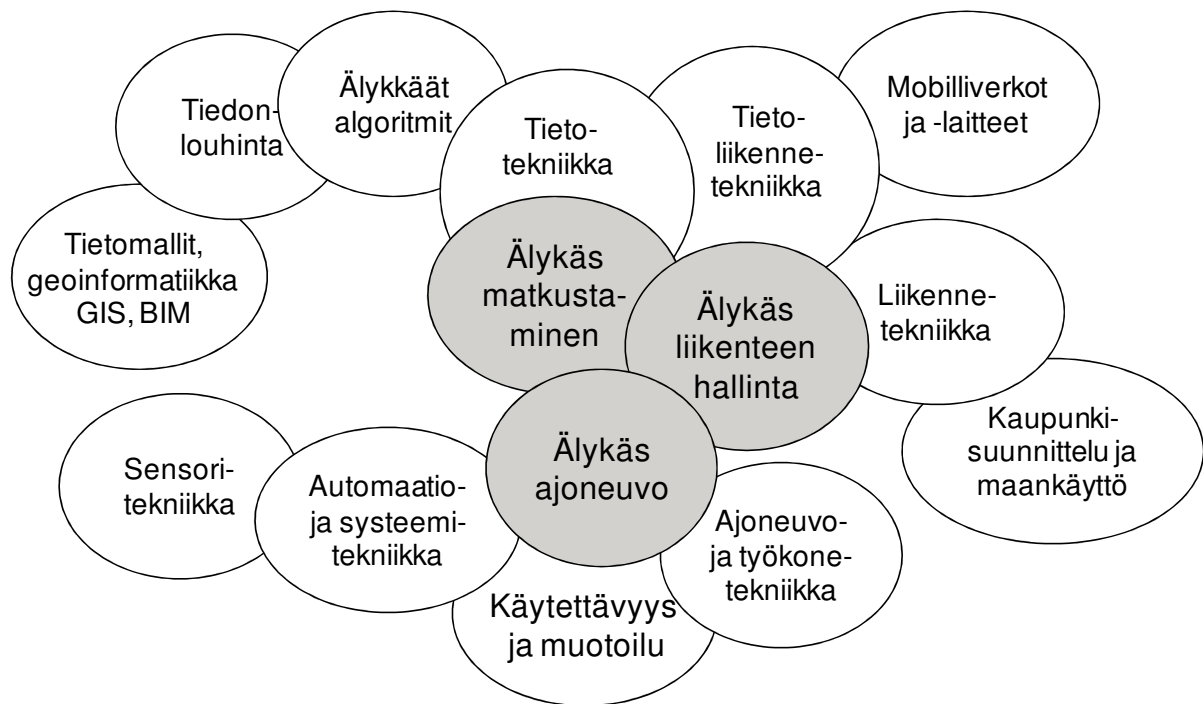
ITS-alan mahdollisuuksia ovat sen tarjoamat ratkaisut globaaleihin ongelmiin liikenteen sujuvuuden ja energiatehokkuuden, turvallisuuden ja ympäristöhaittojen osalta. Näiden mahdollisuuksien ymmärtäminen päättäjien tasolla voi lisätä tutkimukseen suunnattavaa pitkäaikaista rahoitusta. AALTO-yliopiston mahdollisuuksia on yhdistää omaa sisäistä osaamistaan yhteen julkisen sektorin ja yritysten osaamisen kanssa. Tämä voi tapahtua mm. luomalla ns. living lab testialueita, joiden vähäisyys on yksi ITS-tutkimuksen heikkouksista tällä hetkellä. TeknistiETEELLISISSÄ tutkimuksessa tarvitaan todellisia koejärjestelmiä, joiden toimivuutta voidaan kokeellisesti tutkia. Testialueet ja –järjestelmät tuottavat myös älyliikenteen tutkimukselle välttämätöntä liikennetietoa.

## 5. Ehdotuksia tutkimuksen kehittämiseksi

Työryhmä ehdottaa kolmea päätutkimusaluetta älyliikenteen tutkimuksen kehittämiseksi:

1. Älykäs matkustaminen
2. Älykäs liikenteen hallinta
3. Älykäs ajoneuvo

Ehdotus perustuu työryhmän työskentelyyn, tehtyihin haastatteluihin, ulkomaisiin esimerkkeihin ja analyysiin AALTO-yliopiston vahvuuksista. Ehdotetut kolme tutkimusaluetta edustavat pikemminkin älyliikenteen eri tasoja kuin sektoreita. Matkustaminen (1) synnyttää liikenteen (2), joka koostuu ajoneuvoista (3). Useat muut AALLO:ssa vahvat tutkimusalueet kytkeytyvät tavalla tai toisella älyliikennetutkimukseen näiden kolmen pääteeman kautta (kuva 5).



Kuva 5. Älyliikennetutkimuksen kolme painopistealuetta ja niihin liittyviä muita AALLON:n vahvuusalueita.

Kullekin pääteemalle ehdotetaan yhtä vastuusikköä, jonka kautta myös muut yksiköt voivat osallistua aiheen tutkimukseen. Kolme vastuuyksikköä muodostavat yhteistoiminnallaan tutkimuksen ydinryhmän, joka koordinoi älyliikennetutkimusta AALTO-yliopisto:ssa. Lähtökohtaiseksi mikä tahansa muu laitos tai tutkimusryhmä voi osallistua yhteiseen tutkimustyöhön. Taiteen ja suunnittelun korkeakoulun osuus liittyy erityisesti käytettävyyden ja muotoilun kysymyksiin.

## Tutkimusalue 1: "Älykäs matkustaminen"

Tämä tutkimusalue liittyy niihin liikenteen palveluihin, jotka mahdollistavat liikkumisen ja matkustaminen. Tavoitteena on tehdä liikenteen palveluista saumaton kokonaisuus, joka käyttäjälle päin toimii yhtenäisellä tavalla kulkumuodosta riippumatta. Tutkimusalue painottuu sekä perinteiseen joukkoliikenteeseen (bussi, raitiovaunu, juna, metro) että uusiin innovaatioihin kuten kysyntäohjautuva joukkoliikenne, automaattiset kuljetinjärjestelmät jne. Myös yksilöllisempi palveluliikenne kuten taksipalvelut ja tilausajot kuuluvat tämän tutkimusalueen piiriin.

Aihepiiri on tärkeä monestakin syystä. Mitä tiiviimpi kaupunkirakenne on sitä mahdottomammaksi käy pelkästään yksityisautoiluun perustuva liikkuminen. Tästä syystä erityisesti tiheään asuilla kaupunkialueilla tarvitaan riittävän vetovoimaista "kilpailua" yksityisautolle. Yhtenä kilpailun keinona on tehdä liikkumispalvelut mahdollisimman yksilöllisiksi, vaikka itse kulkuneuvon voikin joutua jakamaan muiden kanssa. Siksi palveluihin tarvitaan älyä, joka optimoi sekä käyttäjän matkustuskokemusta että palveluntuottajan ja yhteiskunnan päämääriä. Kyseessä on usein monia eri kulkutapoja sisältävä matkaketju, joka tulee hallita päästä päähän.

Aihepiirin tutkimusalueeseen kuuluu mm. matkustajien informaatiojärjestelmät pysäkeillä ja terminaaleissa sekä yksilöllinen opastus erilaisten mobiilipäätelaitteiden kautta. Matkustaja informaatio voi olla ajantasaista tai ennakoivaa ja ilmoittaa matkustajalle mm. arvioidun odotusajan, matka-ajan ja matkan kustannukset sekä lisäoptiona esim. hiilijalanjäljen, energian kulutuksen ja päästöt. Lisäksi informaatiopalvelu ilmoittaa mahdollisista häiriöistä liikennepalveluissa. Yksilöllinen opaspalvelu antaa eri vaihtoehtoja, joista matkustaja kuittaa jonkin valituksi. Opaspalvelu kertoo milloin pitää lähteä pysäkille, miten sinne mennään, mille laiturille tms. mennään odottaamaan. Palvelu ilmoittaa missä ja milloin jäädään pois ja vaihdetaanko toiseen kulkuneuvoon. Palvelu opastaa myös sisätiloissa kuten esim. suurissa terminaaleissa oikeaan paikkaan.

Toinen keskeinen tutkimuksen ja kehittämisen kohde on varaus- ja maksujärjestelmät, joiden tulisi olla mahdollisimman yhtenäiset eri liikennevälineissä. Älykäs maksujärjestelmä tunnistaa kulkuneuvoon astumisen ja siitä poistumisen automaattisesti ja tallentaa tiedot maksujärjestelmään. Opaslaite voi hoitaa tunnistamisen kommunikoimalla liikennevälineen tietojärjestelmän kanssa. Kun kuljetut matkat ja niiden pituudet ovat tiedossa, voidaan liikennepalvelujen käytöstä laskuttaa puhelinpalvelujen tapaan esim. kerran kuukaudessa. Matkojen hinnoittelu ei välttämättä ole tämän tutkimusteeman ydinaluetta, mutta järjestelmät voidaan toteuttaa siten, että erilaisia hinnoitteluperusteita voidaan käyttää joustavasti.

Palveluntuottajan kannalta älyliikenne tarjoaa mahdollisuuden sekä kaluston että ihmisvirtojen seuraamiseen. Tämä mahdollistaa linjojen, reittien ja aikataulujen paremman suunnittelun. Älykäs joukkoliikenne voi alkaa hoitaa itse osan suunnittelusta ja optimoida mm. vaihtojen synkronointia tai ehdottaa esim. muutoksia palveluun, jos kapasiteettia on



ollut liikaa tai liian vähän. Operaattori on luonnollisesti kiinnostunut kaluston määrän ja energiankulutuksen optimoinnista. Myös kuljettaja saa palautetta ajotavastaan.

Kysynnän mukaan nopeasti reagoiva palveluliikenne löytänee kannattavimman toiminnan alueilta, jotka jäävän sivuun joukkoliikenteen runkolinjoista. Palvelu on myös yksilöllisempää ja kustannukset riippuvat asiakkaan haluamasta palvelutasosta esim. saapumisajan täsmällisyyden suhteen.

Koko joukkoliikennejärjestelmän multimodaali kokonaisoptimointi edellyttää älykkäitä taustajärjestelmiä, jotka koko ajan etsivät parhaita vaihtoehtoja matkustajien palveluun pitäen samalla kustannukset, energiankulutuksen ja päästöt mahdollisimman pieninä.

Joukkoliikenne on pääsääntöisesti turvallisempaa kuin yksityisajo. Raide-, meri-, ja ilmailiikenteen älykkäät järjestelmät hoitavat liikenteen ohjausta ja toleranssi onnettomuuksien suhteen on aivan eri luokkaa kuin yksityisautoilussa tai kevyessä liikenteessä. Joukkoliikennejärjestelmä on kuitenkin toisella tavalla haavoittuvainen mm. järjestyshäiriöiden, tihutöiden ja terrori-iskujen osalta. Tämän vuoksi ns. security engineering muodostuu entistä tärkeämmäksi osa-alueeksi lentoliikenteen lisäksi, myös muissa kulkumuodoissa.

Vetovoimaisen matkaketjun tulisi nivoutua hyvin yhteen myös kevyen liikenteen ja yksityisautoilun kanssa. Tavaroiden kuljetuttaminen pitäisi huomioida paremmin ja matkaketjun olosuhteita tulisi pyrkiä vakioimaan. Esim. siirtyminen kylmältä ja tuuliselta pysäkiltä täyteen ahdettuun kuumaan ruuhkabussiin ei ole varsinainen vetovoimatekijä.

Tietotekniikan tutkimusaralle osuus myös kaikkein liikkumismuodoista energiatehokkain eli ns. "virtuaalinen liikenne", jossa vuorovaikutus tapahtuu fyysisen siirtymisen sijaan informaation siirtona. Tähän jatkuvasti laajenevaan joukkoliikenteen muotoon voi liittää mm. verkkoasioinnin- ja ostamisen, sosiaalinen median, verkossa pelaamisen. Jos verkkopalvelut poistettaisiin, syntyisi suuri määrä vähintäänkin asiointiliikennettä, joka nykyisten tietoverkkojen ansiosta ei kuormita liikenneverkkoa.

Älykkään matkustamisen ja joukkoliikenteen tietojärjestelmien vastuuyksiköksi ehdotetaan tietotekniikan laitosta, jossa on jo ennestäänkin tutkimustraditiota mm. kysyntäohjautuvan joukkoliikenteen osalta.

## Tutkimusalue 2. "Älykäs liikenteen hallinta"

Liikenteen hallintaa ehdotetaan toiseksi perustutkimusteemaksi. Matkustarve synnyttää liikenteen ja liikennepalvelujen kysynnän. Matkustaminen taas tuottaa liikenteen, jota pitää pyrkiä eri keinoin hallitsemaan, jotta liikenne olisi sujuvaa, turvallista ja ekotehokasta.

Teiden ja katujen kapasiteetti eli tarjonta on rajallinen. Kysyntä ja tarjonta ei liikenteessä useinkaan kohtaa, koska kysynnällä on taipumus keskittyä tiettyihin aikoihin ja paikkoihin eikä kapasiteettia voida aina mitoittaa huippuliikennemäärien mukaan. Liikennevirran

perusominaisuus on se, että jos kysyntä ylittää tarjonnan, tarjonta alkaakin laskea entisestään. Näin syntyvän negatiivisen kierteen seurauksena syntyy liikenneruuhka, jonka purkautuminen yleensä vie paljon enemmän aikaa kuin esim. hetkellinen ylikysyntätilanne. Liikennehuuhkien kustannukset ovat arviolta 1% Bkt:sta. Älykkäällä liikenteen hallinnan tavoite on välttää ylikysyntätilanteita pitää liikenne mahdollisimman sujuvana myös häiriötilanteissa, joissa kapasiteetti syystä tai toisesta laskee esim. liikenneonnettomuuden seurauksena.

Jo pelkästään ajantasaisella tilannetiedolla voidaan osaltaan tasoittaa ruuhkahuippuja, koska osa matkustajista on ruuhkan välttämiseksi valmis vaihtamaan esim. lähtöajankohtaansa tai kulkutapaansa joukkoliikenteeseen. Älykkäällä reittiopastuksella liikenneverkossa jo olevaa liikennettä voidaan ohjata pois ylikuormittuneilta reiteiltä sellaisille, joissa kapasiteettia vielä on jäljellä. Älykkäällä liikenteen ohjauksella verkon, katuosuuden tai liittymän kapasiteetti pyritään maksimoimaan. Esimerkiksi älykkäällä liikennevalojen ohjauksella ja joukkoliikenne-etuuksilla voidaan ajan mittaan saavuttaa huomattavia aikasäästöjä, jotka nopeasti ylittävät investointikustannukset. Kun muut keinot on käytetty, jää jäljelle kysynnän säätely esim. hinnoittelun avulla. Ruuhkamaksuilla pyritään siihen, että autoilijat välttäisivät pahimpia ruuhka-aikoja. Yleisemmin tienkäyttömaksuilla voidaan autoilun kustannukset sitoa tarkemmin auton käyttöön kuin sen omistamiseen. Tällä tavoin yksityisautoliikenteen kokonaiskysyntää voidaan säädellä ja saada lisää käyttäjiä joukkoliikenteen puolelle.

Liikenteen hallinnan tutkimusalueeseen kuuluu mm. mahdollisimman kattava liikenteen sensoridatan käsittely ja yhdistely. Ns. raakadatatista voidaan erilaisin menetelmin jalostaa liikenteen tilannetietoa. Analysoinnin, mallinnuksen ja tiedonlouhinnan keinoin voidaan tuottaa tunnuslukuja, jotka kuvaavat liikenteen sujuvuutta, palvelutasoa, turvallisuutta, energiatehokkuutta ja ympäristövaikutuksia. Tiedon louhintaan ja mallintamiseen voidaan käyttää myös paikkatietoa ja spatiotemporaalisia menetelmiä. Eri menetelmien ja tietojen yhdistämisellä pyritään luomaan mahdollisimman tarkoituksenmukaista tilannetietoisuutta ja ottamaan huomioon ympäristön vaikutuksia.

Liikenteen tilannetietojen tai ennusteiden perusteella älykäs liikenteen hallinta pyrkii mm. monitavoiteoptimoinnin avulla säätelemään liikennettä ja sen kysyntää. Tutkimusalueen tehtävänä on kehittää kokonaisvaltaista liikenteen hallintaa ja ohjausta, joka toimii monilla eri tasoilla. Yhteistoiminnalliset ja autonomiset järjestelmät ovat myös osa tutkimusaluetta.

Älykkään liikenteenhallinnan vastuuyksiköksi ehdotetaan Yhdyskunta ja ympäristötekniikan laitosta, jossa tutkimus tapahtuisi liikenne- ja tietekniikan tutkimusryhmässä.

## Tutkimusalue 3 . "Älykäs ajoneuvo"

Kolmas ehdotettu älyliikenteen tutkimusalue liittyy ajoneuvoon ja sen kuljettajaan. Uusi teknologia mahdollistaa ajoneuvolle sekä "aistit" että "aivot", joiden avulla voidaan joko auttaa kuljettajan ajosuoritusta tai jossain tapauksissa ajaminen voidaan automatisoida ja jättää kokonaan ajoneuvon tehtäväksi.

Ajoneuvo on liikkumisen keskiössä ja ajoneuvon kuljettaja on vastuussa liikkumisen turvallisuudesta. Suurin osa onnettomuuksista johtuu kuljettajan ajovirheestä, johon syynä voi olla mm. kokemattomuus, väsymys, piittaamattomuus tai päihtyneisyys. Ajoneuvon kuljettaja on systeemin heikoin lenkki,

Tutkimusalue keskittyy mm. ajoneuvon ja kuljettajan vuorovaikutuksen tutkimukseen sekä erityisesti kuljettajan tukijärjestelmien vaikutuksiin. Tutkimusalueella kehitetään ja sovelletaan uusinta sensori- ja kuvankäsittelytekniikkaa, joiden perusteella ajoneuvo muodostaa tilannekuvan ympäristöstä, esteistä, tielinjauksesta, liikenteen ohjauksesta sekä muista tielläliikkujista kuten ajoneuvoista ja ihmisistä. Käytettävyyden ja muotoilun osalta tutkimukseen voidaan liittää Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun osaamista.

Tilannekuvan perusteella ajoneuvo voi mm. varoittaa kuljettajaa, ehdottaa toimenpidettä tai puuttua suoraan ajosuoritukseen. Tutkimusalue liittyy autonomisten työkoneiden tutkimukseen, mutta painottuu nimenomaan ajoneuvoon. Samanlaista teknologiaa voidaan käyttää varoittamaan esteestä, kaistalta suistumiselta, kuolleen kulman ajoneuvosta, kuljettajan väsymyksestä jne. Erytishaasteena on järjestelmien luotettava toiminen olosuhteissa, joissa näkyvyys on heikko tai esim. tiemerkinnot ovat peittyneet. Tutkimusalueeseen kuuluu myös ajoneuvon tietoväylät, tietojärjestelmät, käyttöjärjestelmät sekä kommunikaatio muiden ajoneuvojen (V2V) ja infrastruktuurin (V2I) kanssa. Myös käyttöliittymä kuljettajaan päin kuuluu tämän tutkimusalan piiriin.

Automaattisten ja autonomisten toimintojen lisääminen mahdollistaa sen, että liikenneturvallisuuden lisäksi voidaan parantaa liikenteen sujuvuutta ja energiatehokkuutta. Keskenään kommunikoivat autot voivat varoittaa toisiaan esim. tienpinnan liukkaudesta. Erityisesti pääväylillä ajoneuvot voivat liikkua tiiviinä jonoina minimoiden ilmanvastusta ja nopeuden muutoksia. Ajoneuvoilla voi myös olla suora yhteys liikenteen paikalliseen ohjauskeskukseen, joista annettavien ohjaussignaalien avulla mm. liittymistoiminnot saadaan sujumaan entistä saumattomammin. Tutkimusalueella on siis selkeä kytkentä liikenteen hallinnan tutkimusalueeseen.

Tutkimusalueen vastuuyksiköksi ehdotetaan automaatio ja systeemitekniikan laitosta.

## 6. Ehdotuksia opetuksen kehittämiseksi

### Muutospaineita opetuksessa

Älyliikenteen ala on voimakkaassa kehityksessä ja siksi myös tietämys muuttuu nopeasti. Älyliikenteen suuntaviivat on silti nähtävissä ja siksi opetuksessa tulisi luodata nykytilanteen lisäksi eri aikavälin tulevaisuushorisontteja 5-50 vuotta aikajänteellä. Vaikka teknologia kehittyy nopeasti, liikennejärjestelmä kokonaisuutena muuttuu hitaammin mm. autokannan ja infrastruktuurin vähittäisen uusiutumisen kautta.

Erityisesti tieiikenteen ja sen kysynnän säätelyssä tulee tapahtumaan periaatteellisia muutoksia, jotka on syytä ottaa huomioon myös opetuksessa. Muutosten nopeutta on vaikea ennakoida, mutta nopeimmin muutokset tapahtuvat siellä, missä ongelmat ovat suurimpia ja missä on riittävän kehittynyt tekninen infrastruktuuri.

Liikennevirtaa kuvataan, mitataan ja mallinnetaan monin eri tavoin mm. sen stokastisen luonteen vuoksi. Tieteellistä debattia käydään siitä, mikä malli on paras ja mikä parhaiten kalibroitu ja validoitu. Tulevaisuuden liikennevirta on kuitenkin ennen kaikkea säädön, ei niinkään mittauksen kohde. Esimerksi ajoneuvojen nopeudet ja aikavälit, jotka nyt ovat mittaussuureita, muuttuvat vähitellen säätösuureiksi, joiden jakaumat tulevat poikkeamaan nykytilanteesta.

Myös liikenteen kysyntä on toistaiseksi lähes säätelämätöntä ja seuraukset sen mukaisia. Vaikka älyliikenteen keinoin liikenneverkon toimintaa voidaan tehostaa, silti verkon kapasiteettia joko ei voi tai ei kannata aina lisätä esim. lisäinfraa rakentamalla. Myös liikenteen kysyntä on siirtymässä mittauksesta ja mallinnuksesta kohti automaattisempaa säätöä ja optimointia.

Tulevaisuuden älykäs liikennejärjestelmä on kompleksinen, monitasoinen systeemi. Kokonaisjärjestelmä rakentuu monista peräkkäisistä, rinnakkaisista, päällekkäisistä ja sisäkkäisistä säätöprosesseista, joissa virtaa mm. ihmiset, tavarat, ajoneuvot, energia, sähkö, informaatio, raha jne. Tekniset järjestelmät, taloudelliset toimijat sekä liikenteen käyttäjät muodostavat monimutkaisia ja monimuotoisia yhteistoiminnallisia verkostoja. Jokaisella toimijalla on omat monitavoiteoptimointiongelmansa, jotka sitten kietoutuvat yhteen eri tasoilla. On siis ilmeistä, että kompleksisten systeemien opetuslalla olisi annettavaa myös älyliikenteen opetustarjonnassa.

Kaksi järjestelmien peruselementtiä eli energia ja informaatio ovat muuttamassa liikennejärjestelmää samanaikaisesti. Onneksi nämä kaksi kehityssuuntaa tukevat toisiaan, sillä suurempi informaatio edellyttää vähemmän energiaa. Vaikka sähkön ja automaation fuusio on yksi teollisen hyvinvointimme perusta, liikenteessä sama kehitys ei ole vielä toteutunut. Tieliikenteessä on jo kuitenkin käynnistymässä muutos kohti helposti säädettävää ja energiatehokasta sähköistä käyttövoimaa. Matkan varrella myös erilaiset hybridit yleistyvät kun haetaan kompromisseja mm. hyötysuhteen, toimintasäteen ja investointien kesken. Ajoneuvon ja liikenneverkon toiminnan optimointi yhdessä energia- ja tietoverkkojen kanssa on keskeinen siis myös osa älyliikenteen opetusta.

## Ehdotus älyliikenteen opintokokonaisuuden sisällöistä

Koska älyliikenneala muuttuu nopeasti, on tärkeä että, opetustarjontaa pidetään mahdollisimman hyvin ajan tasalla. Myös opetukseen liittyviä tulevaisuuden näkymiä tulee päivittää sitä mukaa kun uutta tietoa saadaan.

Älyliikenteen opintokokonaisuus voisi olla sivuaine tai erikoismoduli , jonka voi suorittaa joko perus- tai jatko-opintotasolla. Opintokokonaisuuden tarkoituksena on laajentaa eri alojen opiskelijoiden pääaineopintoja älyliikenteen suuntaan. Opetuksen järjestäminen noudattelisi samaa kolmijakoa kuin tutkimuksen painopistealueet: älykäs matkustaminen, älykäs liikenteen hallinta ja älykäs ajoneuvo.

Oppimiskokonaisuuteen tulisi sisällyttää soveltuvien osien kursseja seuraavan listan aihepiireistä. Aihepiirien esimerkkisisällöt ovat suuntaa antavia, sillä kaikkien ei tarvitse osata kaikkea. Kunkin opiskelijan kurssikokonaisuus määrittyy osittain myös sen mukaan, minkä alan suunnalta opiskelija aihetta lähestyy. Älyliikennealalle tarvitaan eri tavoin painottuneita monialaosaajia.

Älyliikenteen oppimiskokonaisuuteen opiskelijan tulisi suorittaa tietty määrä opintopisteitä sekä valita oheisista aihepiireistä sellainen kurssikokonaisuus, joka parhaiten edistää opintojen sovittuja oppimistavoitteita. Kurssikokonaisuus riippuu myös siitä, suoritetaanko se osana perus- vai jatko-opintoja.

Suuntaa antava lista älyliikenteen opintoihin sisällytettävistä aihepiireistä:

- Liikennetekniikka: perustiedot, liikenteen hallinta, liikenteen mallinnus ja simulointi
- Talous: logistiikka, liiketoiminta, palveluketjut, hankintamallit, ansaintalogiikat
- Tietotekniikka: algoritmit, arkkitehtuurit, laitteistot, ohjelmistot, sovelluskehitys
- Geoinfomatiikka: spatio-temporaaliset -mallit, ympäristön 3D-mallinnus
- Tietoliikennetekniikka: teknologiat, yhteyskäytännöt, kuvauskielet
- Sähkö- ja mittaustekniikka: sensorit, paikannus, tunnistus, sensorifuusio
- Ajoneuvotekniikka: aistit ja motoriikka, automaatio, autonomisuus, ajoneuvo-kuljettaja, paikannus ja navigointi
- Energia: tuotannon ja jakelun optimointi, käyttövoima, voiman säätely, hybridiratkaisut
- Systeemitekniikka: monitavoitteiset säätösystemit, ihmisen ja koneen vuorovaikutus
- Kaupunkisuunnittelu: uudet innovaatiot ja muotoilu kaupunkitilassa, ihmislähtöinen ITS
- Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu: Käytettävyys ja muotoilu

## 7. Toimenpide-ehdotuksia

Selvitystyön perusteella työryhmä esittää älyliikennetutkimuksen henkilöresurssien lisäämistä nykyisestä. Työryhmän ehdotus sisältää kolme älyliikenteen painopistealuetta sekä yhden uuden tenure track paikan kullekin painopistealueelle. Uudet tenure track paikat ehdotetaan sijoitettavaksi allamainituille painopistealueille ja laitoksille:

1. Älykäs matkustaminen (Tietotekniikan laitos)
2. Älykäs liikenteen hallinta (Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos)
3. Älykäs ajoneuvo (Automaatio- ja systeemitekniikan laitos)

Kolme tenure track professoria muodostavat älyliikennetutkimuksen ydinryhmän, joka tekee keskenään tiivistä yhteistyötä ja joka kytkee mukaan myös muut AALTO-yliopiston vahvat osaamisalueet. Ydinryhmä myös tekee yhteisen tiekartan tutkimuksen kehittämisestä maailmanluokkaan sekä koordinoi kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä.

Opetuksen osalta ydinryhmä suunnittelee älyliikenteen sivuaineen/modulin, joka noudattelee samaa kolmijakoa kuin tutkimuskin. Opintokokonaisuuden tulisi soveltua mahdollisimman joustavasti osaksi hyvinkin erityyppisiä opintoja.

Tutkimusympäristöjen ja "living lab" testialueiden kehittäminen on osoittautunut yhdeksi keskeiseksi menestystekijäksi korkeatasoisen tutkimuksen ja uusien innovaatioiden luomisessa. Tämän vuoksi tulisi pyrkiä kohti pysyväisluonteista avoimia tutkimusalueita, joissa uutta voidaan rakentaa entisen varaan. Tässä tarvitaan yhteistyötä sekä muiden yliopistojen että julkisten ja kaupallisten toimijoiden kanssa kansallisesti ja kansainvälisesti. Yhteistyöhön olisi tarpeen saada mukaan erityisesti sellaisia tahoja, jotka voivat sitoutua koealueiden ja testiympäristöjen ylläpitoon ilman kytkentää yksittäisiin tutkimusprojekteihin. Tutkimusympäristöjen kehittämisessä voitaneen hyödyntää yhteistyötä AALTO-yliopiston design-, service- ja mediafactory:n kanssa.

Työryhmä ehdottaa että tenure track professorien onnistumista tullaan arvioimaan sekä älyliikenteen tutkimuksen että keskinäisen yhteistyön onnistumisen kannalta.