



Teemu Korhonen

Prosessin kehittäminen ajoneuvon automatisoinnille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi AMK-tutkinto

Ajoneuvotekniikka

Opinnäytetyö

17.11.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Teemu Korhonen
Otsikko: Prosessin kehittäminen ajoneuvon automatisoinnille
Sivumäärä: 33 sivua
Aika: 17.11.2024

Tutkinto: Ylempi AMK-tutkinto
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ohjaaja: Lehtori Antti Liljaniemi

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää Sensible 4 Oy:lle ajoneuvon automatisoidun ajamisen mahdollistaville muutostöille prosessi. Muutostöitä oli tehty jo aiemmin yrityksessä, mutta sille ei ollut selkeää prosessia.

Työssä keskityttiin Toyota Proace Verson muutostöihin. Sensible 4 on automatisoinut saman mallisia autoja historiansa aikana. Muutosprosessissa keskityttiin erityisesti varusteluun, mutta myös suunnitteluvaiheessa toteutettuja kokoonpanokuvia ja varustelun jälkeen tehtävää kalibrointia kehitettiin.

Uuden prosessin kehityksessä hyödynnettiin aiempaa kokemusta ajoneuvojen rakentamisesta ja järjestettiin ryhmäkeskusteluja yrityksen työntekijöille. Keskustelujen perusteella kyettiin luomaan työmääräarviot koko ajoneuvon muutosprosessille ja uusi prosessi suunniteltiin niiden pohjalta.

Ajoneuvon käytännön muutostöissä kehitettiin linjastomainen prosessi, jossa ajoneuvo eteni kokoonpanotilassa kolmen työpisteen läpi. Linjastolle suunniteltiin pisteet, jotka olivat valmistelu, varustelu ja kokoonpano sekä niistä erillään oleva esikokoonpano. Esikokoonpanossa huolehdittiin myös ajoneuvon huolto- ja päivitystöimenpiteistä.

Työn tuloksia ei saatu testattua käytännössä Sensible 4:n konkurssin takia, mutta niiden perusteella prosessin avulla voi saavuttaa merkittäviä hyötyjä sekä ajoneuvojen lyhyemmän läpimenoajan että kustannussäästöjen ansiosta. Työ oli tarkoitettu ensisijaisesti Sensible 4:n automatisoiman Toyota Proace Verson muutostöihin mutta olisi hyödynnettävissä myös muille ajoneuvoille.

Avainsanat: AD, automatisoitu ajaminen, kokoonpano, prosessi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Teemu Korhonen
Title: Creating a Process for Automating a Vehicle
Number of Pages: 33 pages
Date: 17 November 2024

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Master's Degree Programme in Automotive Engineering
Supervisor: Senior Lecturer Antti Liljaniemi

The purpose of this study was to develop a process to enable automated driving modifications for vehicles at Sensible 4 Ltd. While similar modifications had been made previously, there was no established process to guide this work.

This study specifically focused on modifying the Toyota Proace Verso, a model that Sensible 4 had automated in the past. The process was centered on the assembly phase but also included further development of assembly drawings during the design phase and calibration tasks conducted after the assembly was completed.

In developing the new process, previous experience in vehicle construction was utilized, and group discussions were organized for the company's employees. Based on these discussions, work estimates for the entire vehicle modification process were created, forming the foundation for designing the new process.

A production line-based process was developed to streamline the practical modification tasks. The vehicle moved through three workstations at the assembly location: preparation, equipping, and assembly, with an additional pre-assembly station where necessary vehicle servicing and updates were also carried out.

The practical outcomes of this study could not be tested, as Sensible 4 went bankrupt before testing was feasible. However, based on theoretical results, the process would have brought notable improvements in both vehicle turnaround times and cost savings. Although primarily developed for the Toyota Proace Versos automated by Sensible 4, this process could also be adapted for other vehicles.

Keywords: AD, automated driving, assembly, process

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Automatisoidut autot ja Sensible 4	2
2.1	Automatisoitu ajaminen	2
2.2	Sensible 4 Oy	4
2.3	Automatisoitu Toyota Proace Verso	5
2.4	Sensible 4:n automatisoidun ajamisen ohjelmisto	8
2.5	Sensible 4:n kehitystyö	11
3	Sensible 4:n aiemmat ajoneuvojen kehitysprosessit	13
3.1	Automatisoidun auton kehitysprosessi	13
3.2	Suunnittelu	15
3.3	Purkaminen, varustelu ja kokoonpano	17
4	Hahmotelma uudesta prosessista	22
5	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Lyhenteet

- ABS: *Anti-lock Braking System*. Lukkiutumattomat jarrut.
- AD: *Automated Driving*. Ajoneuvon automatisoitu ajaminen.
- ADCU: *Automated Driving Control Unit*. Automatisoidun ajamisen mahdollistava ohjausyksikkö tai tietokone.
- BOM: *Bill of Materials*. Tuoterakenne.
- CAD: *Computer-aided Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu
- CAN: *Controller Area Network*. Erityisesti ajoneuvoissa käytettävä automaatioväylä.
- DbW: *Drive by Wire*. Ajoneuvon sähköisen ohjaamisen mahdollistava järjestelmä.
- ECU: *Engine Control Unit*. Ajoneuvon yleensä moottorinohjaukseen tarkoitettu ohjausyksikkö.
- LiDAR: *Light Detection and Ranging*. Laserkeilain, tutkan tapaan toimiva optinen mittalaite.
- ODD: *Operational Design Domain*. Ajoneuvon suunniteltu toimintaympäristö.
- RTK: *Real Time Kinematic*. Senttimetr tarkkuuteen yltävä satelliittipaikannuksen menetelmä.
- SAE: *Society of Automotive Engineers*. Yhdysvaltalainen autoalan standardointijärjestö.

UN ECE: *United Nations Economic Commission for Europe*. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää prosessi, joka mahdollistaa tavallisten henkilökäyttöisten autojen muuntamisen itsestään ajaviksi. Muutosprosessista oli tarkoitus tehdä mahdollisimman tehokas kokonaisuus. Työn toimeksiantajana oli Sensible 4 Oy, mutta yritys ajautui konkurssiin kesken lopputyön kirjoittamisen. Työ tehtiin loppuun Sensible 4:n vanhoja materiaaleja ja kirjoittajan ammattitaitoa hyödyntäen.

Lopputyön tekemisen ensisijaisena tarkoituksena oli kehittää prosessi, jota Sensible 4:llä ei ollut olemassa ja jota olisi voinut mahdollisesti tulevaisuudessa hyödyntää yleismaallisempuna kokoamisprosessina myös muille ajoneuvotyypeille, joihin on tarkoitus tehdä vastaavat muutostyöt. Yritys ehti historiansa aikana tehdä automatisoidun ajamisen mahdollistavia muutostöitä useantyyppisiin eri ajoneuvoihin, mutta työlle ei ollut olemassa selkeää prosessia. Prosessin kehittämällä pyrittiin parantamaan yrityksen tuottavuutta ja lyhentämään ajoneuvojen muutostöiden läpimenoaikaa, joiden kautta saavutettaisiin säästöjä.

Työssä tutkittiin, mitä vaiheita automatisoidun auton muutosprosessissa voidaan tehostaa prosessiluontoisella työskentelyllä. Työnkuvat ja prosessit olivat tähän mennessä olleet luontaisesti syntyneitä, ja jokaisella tekijällä oli ollut hienomaan oma tapansa toimia muutostöiden aikana. Tarkoituksena oli luoda tavoitteelliset läpimenoajat työn eri vaiheille ja koko ajoneuvolle, selkeät roolit työtä tekeville henkilöille ja sujuva järjestys töiden tekemiseen.

Opinnäytetyössä keskityttiin erityisesti automatisoidun ajoneuvon muutostöistä varusteluun, mutta myös suunnitteluvaiheen dokumentointia ja varustelun jälkeä tehtävää kalibrointia kehitettiin.

Menetelminä käytettiin olemassa olevaa tietoutta automatisoitujen ajoneuvojen rakentamisesta sekä keskusteltiin aiheeseen perehtyneiden tekijöiden kanssa.

2 Automatisoidut autot ja Sensible 4

2.1 Automatisoitu ajaminen

Automatisoitu auto on ajoneuvo, joka on joko alkuperäisesti valmistettu itsestään ajavaksi tai johon on tehty muutostöitä, jotka mahdollistavat automatisoidun ajamisen. Yleensä tällaisista ajoneuvoista on käytetty termejä autonominen tai itseajava, mutta SAE (Society of Automotive Engineers) J3016 suosituksen mukaan kyseisiä termejä ei tulisi käyttää niiden harhaanjohtavan merkityksen takia (1). Sen sijaan on suositeltu käytettävän termiä *automated*, joka kääntyy suomen kielessä automatisoiduksi.

Automatisoidun ajamisen mahdollistamiseksi ajoneuvossa tulee olla perinteisestä henkilökäyttöisestä ajoneuvosta poikkeavasti laaja valikoima antureita (usein käytetään ainakin laserkeilaimia, tutkia, kameroita ja kiihtyvyyssantureita), sähköisen ohjauksen, kiihdyttämisen sekä hidastamisen mahdollistavia toimilaitteita, tietokone tai tietokoneita ja muita ohjainlaitteita sekä näihin liittyviä turvajärjestelmiä tai -logiikoita. Näitä laitteita ja niitä hyödyntäviä ominaisuuksia löytyy nykyään kuluttajille saatavilla olevista ajoneuvoista, mutta niitä voi olla vaikea hyödyntää osana ajoneuvon muutostöitä ilman ajoneuvon valmistajan tukea järjestelmien sulkeutuneisuuden vuoksi eikä niitä ole suunniteltu toiminnallisen turvallisuuden kannalta SAE L4 -tason automatisoituun ajamiseen.

Automatisoiduille ajoneuvoille ei ole vielä muodostunut selkeää ja merkittävää markkinaa, mutta tyypillisesti ajoneuvoja käytetään julkisessa liikenteessä ihmisten kuljettamiseen tai teollisuusalueilla tavarankuljetukseen. Ihmisten kuljettamisessakin liikennemuodot ovat jakaantuneet eri tavoin eri mantereilla. Sensible 4:n aiempaa tilauskantaa tarkastellessa kävi selväksi, että Euroopassa tähän on linja-autojen hyödyntämisessä, kun taas Pohjois-Amerikassa niin kutsutut robottitaksit ovat yleisempiä. Automatisoidulle ajamiselle on kuitenkin selkeä tarve tulevaisuudessa kuljettajakadon ollessa jo nykyisin ongelma (2). Useassa Sensible 4:n projektissa asiakaslähtöinen tarve liittyi nimenomaan kuljettajakadon paikkaamiseen ympäri vuorokauden.

Tyypillisesti automatisoiduista ajoneuvoista puhuttaessa tarkoitetaan nimenomaan vähintään nelipyöräistä autoa, mutta myös metrojen, junien, raitiovaunujen ja laivojen automatisointia kehitetään ympäri maailmaa. Lentokoneiden autopilotti on myös tavallaan osa kulkemisen automatisointia. Tässä työssä keskitytään kuitenkin tavallisiin, henkilöiden kuljettamiseen tarkoitettuihin nelipyöräisiin autoihin.

Automatisoidussa ajamisessa käytetään yleisesti automatisoinnin tason määrittelyä. Tasot on määritellyt yhdysvaltalainen autoalan standardointijärjestö SAE. Tasoja on yhteensä kuusi, jotka vaihtelevat täysin manuaalisesta ohjauksesta (taso 0) täysin automatisoituun ajamiseen ilman ihmisen osallistumista (taso 5). Useimmat nykyiset kaupalliset järjestelmät ovat tasoilla 1–2, mikä tarkoittaa, että ne vaativat edelleen jatkuvaa ihmisen valppautta ja osallistumista ajosuoritteeseen. Korkeammilla tasoilla ihmiskuljettajan rooli pienenee, mutta vasta tason 5 automaatiolla tarkoitetaan ajoneuvon täyttä itseohjautuvuutta. Kuvassa 1 näkyvät SAE:n määrittämät automatisoidun ajamisen tasot.

SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™
 Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
	Copyright © 2021 SAE International.			Copyright © 2021 SAE International.		
	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Kuva 1. SAE:n määrittämät automatisoidun ajamisen tasot (1).

Vaikka automatisoidun ajamisen teknologiat ovat jo saavuttaneet merkittäviä edistysaskelia, niiden laajamittainen käyttöönotto vaatii vielä aikaa ja jatkuvaa kehitystä. Turvallisuus, lainsäädännölliset näkökohdat ja ihmisten hyväksyntä ovat kaikki tärkeitä tekijöitä tässä kehityksessä.

Euroopan unionissa on käynnissä kehitystyö, jossa määritetään ohjeistuksia ja lainsäädäntöä ottaen huomioon automatisoidut ja kuljettajattomat ajoneuvot. Automatisoiduille ajoneuvoille kehitetään esimerkiksi tyyppihyväksyntävaatimuksia. Lisäksi UN ECE -työryhmässä (United Nations Economic Commission for Europe) on tekeillä Euroopan unionin laajuinen automatisoidun ajamisen käytön säätely (3). Prosesseissa kestää kuitenkin vielä, ja monessa maassa on tai on tulossa kansallinen käytön regulointi jo ennen sitä.

2.2 Sensible 4 Oy

Sensible 4 oli ohjelmistoyritys, joka perustettiin Espoossa vuonna 2017. Yrityksen päätuotteena oli itse kehitetty automatisoidun ajamisen ohjelmisto, jonka tarkoitus oli mahdollistaa ajoneuvon itsestään ajaminen. Ohjelmisto asennettiin ajoneuvoon, jonka laitteisto oli kehitetty tukemaan automatisoitua ajamista, tai ajoneuvoon, johon oli tehty automatisoidun ajamisen mahdollistavat muutostyöt.

Sensible 4:n ohjelmiston tavoite oli automatisoidun ajamisen taso 4. Yritys teki ohjelmistokehityksen lisäksi myös ajoneuvojen kehitystä. Kehitystyössä tähdättiin pääasiassa automatisoidun ajamisen mahdollistaviin muutostöihin sarjavalmistisiin ihmiskäyttöisiin ajoneuvoihin, joissa on tavalliset kaasua- ja jarrupolkimet, sekä ratti. Yrityksen historiaan kuului myös yhden ajoneuvon rakentamisen alusta asti. Itse kehitettyjen ajoneuvojen pääasiallinen käyttötarkoitus oli yrityksen ohjelmiston testaaminen ja esitleminen potentiaalisille asiakkaille. Ohjelmisto siis asennettiin näihin ajoneuvoihin, ja lopputuotteilla tehtiin erilaisia testiajoja ja projekteja. Toyota Proaceja ehdittiin koeajamaan esimerkiksi Suomessa ja Norjassa, ja tätä työtä kirjoitettaessa yksi Sensible 4:n automatisoima ajoneuvo on edelleen liikennöimässä Sveitsissä osana Schaffhausenin kaupungin julkista liikennettä (4).

2.3 Automatisoitu Toyota Proace Verso

Toyota Proace Verso on Stellantis-konsernin (entinen PSA-konserni) ja Toyota Motor European (TME) yhteistyössä kehittämä ajoneuvo (5). Ajoneuvo on nähtävissä kuvassa 2. Ajoneuvot valmistaa Stellantis Ranskassa. Ajoneuvo on joitakin ulkonäköeroavaisuuksia lukuun ottamatta vastaava kuin Peugeot'n Traveler, Citroënin Spacetourer ja nykyään myös Opel Vivaro Stellantiksen ostettua Opel-automerkki. Ajoneuvoista tuli polttomoottoriversioiden rinnalle saataville myös sähköversio vuonna 2021.



Kuva 2. Toyota Proace Verso -auto (6).

Sensible 4 aloitti vuonna 2019 kehitysprojektin, jossa Toyota Proace Verso -ajoneuvoja alettiin muuntamaan automatisoiduiksi. Niihin tehtiin myös suunnittelu, joka mahdollisti automatisoitujen ominaisuuksien lisäämisen autoon. Vuodesta 2020 lähtien ajoneuvoja muunnettiin yhteensä 10 kappaletta, joista viisi oli dieselkäyttövoimaisia ja viisi sähköautoja. Muunnettu ajoneuvo vastaa kuitenkin alkuperäistä suurimmilta osin ja on automatisoidut funktiot pois kytkettynä käytävissä kuin mikä tahansa tavallinen henkilöauto. Selvimmin ajoneuvoon tehdyt

muutokset erottaa katolle ja puskureihin asennetuista LiDAR-antureista (Light Detection and Ranging eli laserkeilain), kuten kuvasta 3 on nähtävissä.



Kuva 3. Automatisoituja Toyota Proace Verso -autoja (7).

Muutostöitä tehdessä ajoneuvon alkuperäisiä turvallisuuskriittisiä järjestelmiä pyrittiin mahdollisuuksien mukaan olemaan muuttamatta ajoneuvon ja sen matkustajien turvallisuuden takaamiseksi, mutta esimerkiksi alkuperäisiin CAN-automaatioväyliin (Controller Area Network) on liitytty, jotta ajoneuvon anturien dataa saadaan vastaanotettua ja kaasupolkimen ohjaus on saatu toimimaan niin, ettei turvaoperaattorin tarvitse painaa itse kaasua. Ajoneuvon alkuperäisiin hydraulijarruihin ei ole tehty muita muutoksia kuin asennettu jarrupääsylinterin vapaana olevaan liittimeen ylimääräinen jarrupaineanturi, jolla Sensible 4:n järjestelmä tarkkailee ja vertaa jarrupainetta ajoneuvon oman jarrupaineanturin arvoihin verrattuna. Automatisoidun ohjauksen mahdollistamiseksi auton rattiakselia on muokattu, jotta sähköisen ohjauksen mahdollistava ohjausmoottori on saatu asennettua. Muutos ei kuitenkaan poista turvaoperaattorilta mekaanista yhteyttä ajoneuvon etupyöriin, koska moottori on asennettu osaksi rattiakselia.

Sensible 4:n kehittämä ja käyttämä DbW-järjestelmä (Drive by Wire) on kokonaisuus, joka pitää sisällään toimilaitteita jarruttamisen ja ohjauksen mahdollistamiseksi. DbW on järjestelmä, joka sallii ajoneuvon kaasun, jarrun ja ohjauksen sähköisen ohjauksen niin, että ihmiskuljettajan ei tarvitse koskea ohjauslaitteisiin. Ajoneuvon kehitystyötä tehdessä markkinoilta ei löytynyt sopivaa kaupallista ratkaisua, jossa olisi ollut toivotut turvaominaisuudet ja ohjelmointimahdollisuudet. Myös kaupallistamisen mahdollistava budjetti oli tärkeä osa kriteerejä järjestelmää suunniteltaessa. Erityisen tärkeänä osana järjestelmää haluttiin alkuperäinen hydraulinen jarrujärjestelmä pitää niin muokkaamattomana kuin mahdollista.

Sensible 4:n suunnittelema Proacen anturipaketti koostuu laserkeilaimista, tutkista, kameroista, kiihtyvyyssanturista ja RTK (Real Time Kinematic) -satelliittipaikannuksesta. Järjestelmä myös hyödyntää ajoneuvon alkuperäistä ABS (Anti-lock Braking System) -anturointia pyörien pyörintänopeuden tiedon saamisessa. Tällä tiedolla tuetaan Sensible 4:n järjestelmän pituussuuntaista liikkeen ohjausta. Myös alkuperäisiä ohjauskulma- ja jarrupaineantureita hyödynnetään, jotta järjestelmällä on aina saatavilla kahdennettu tieto ohjauksen ja jarrujen tilasta. Koko tällä anturikokonaisuudella voisi ajatella auton "näkevän ja kuulevan" ympärilleen.

Koeajoneuvoissa ei päästy täyteen automatisoituun ajamiseen, vaan niissä pidettiin turvallisuuden ja sujuvan liikennöinnin takaamiseksi turvaoperaattori. Operaattori istui kuljettajan paikalla asettaakseen ajoneuvon automatisoituun tilaan vaadittavien turvallisuusreunaehtojen täytyttyä sekä varmistaakseen ajoneuvon turvallisen ja virheettömän toiminnan automatisoidun ajamisen aikana. Turvallisuusreunaehdot olivat esimerkiksi, että kaikkien ovien tuli olla kiinni, auton tulee olla ajotilassa, sekä DbW-järjestelmän testisykli tuli olla suoritettuna. Testisykliin kuului ohjauksen ja jarrun toimilaitteiden testaus. Käytännössä myös jokaisen kokeilun aikana oli projektin ajoluvan ja toimintaympäristön puitteissa vaadittu ajoneuvon vastuuhenkilön olevan kuljettajan paikalla varmistamassa toimintaa, ja tällä henkilöllä tuli aina olla mahdollisuus pysäyttää ajoneuvo sen alkuperäistä jarrua käyttäen.

Teoriassa lainsäädäntö Suomessa olisi mahdollistanut kokeilut automatisoidulla autolla ilman turvaoperaattoria fyysisesti kyseisen auton sisällä. Wienin tieliikenteen yleissopimus vuodelta 1968 määrittää, että ajoneuvolla tulee olla kuljettaja (8). Useat maat tulkitsevat tätä niin, että kuljettaja on autossa sisällä. Suomessa ajoneuvolain pykälän 12 mukaan loppujen lopuksi ajoneuvosta on vastuussa kuljettaja, mutta siinä ei ole mainintaa, missä kuljettajan tulee fyysisesti sijaita, joten hänet olisi voinut sijoittaa myös ajoneuvon ulkopuolelle niin kutsuttuun etäohjauskeskukseen (9).

2.4 Sensible 4:n automatisoidun ajamisen ohjelmisto

Sensible 4:n automatisoidun ajamisen ohjelmistojärjestelmä oli ajoneuvoagnostinen, mikä tarkoittaa sitä, että ajoneuvon tyypillä ja toimintaympäristöllä ei ollut väliä ohjelmiston kannalta. Lähtökohtaisesti ajoneuvon koko automatisoitu järjestelmä antureineen ja toimilaitteineen piti silti suunnitella sovellettavaksi ajoneuvo- ja käyttökohdekohtaisesti. Itse ohjelmisto kuitenkin mahdollisti käytännössä minkä vain pyörillä kulkevan ajoneuvon automatisoidun ajamisen, kunhan siinä oli kulloiseenkin kohteeseen riittävä määrä sopivia antureita ja toimilaitteita käytössä, ja ajoneuvon toimintaympäristön pystyi esikartoittamaan.

Sensible 4:n automatisoidun ajamisen mahdollistava ohjelmisto pohjautui probabilistiseen paikannukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että ajoneuvon ympäristöstä tehtiin yleensä LiDAR-antureiden avulla tarkka ja riittävän korkearesoluutioinen 3D-kartta, johon ajoneuvossa olevien antureiden avulla verrattiin ajoneuvon sijaintia ja laskettiin todennäköisyyksiä sen hetkisestä sijainnista ja etenemisestä yhdistelemällä usean erityyppisen anturin dataa. Kartan ei ollut pakko olla samalla ajoneuvolla tehty, vaan myös kolmansien osapuolien hyvälaatuisia karttoja pystyttiin hyödyntämään sekä vanhoja karttoja yhdistelemään uusiin karttoihin tai päivittämään niitä. Kuvassa 4 näkyy liikenteessä olevan automatisoidun Toyota Proace Verson laserkeilaimien todellisesta ajoympäristöstä muodosta pistepilvivilisualisointi. Ajoneuvon näytöltä pystyy näkemään ympäröivät

rakennukset ja jalkakäytävää pitkin kulkevan jalankulkijan sekä operointia varten ohjelmoidun reitin.



Kuva 4. Näytöllä näkyvä laserkeilaimien keräämä pistepilvivaikutus ajoympäristöstä (10).

Hyvässä kartassa oli monipuolisesti “elementtejä” eli verrokkikohteita, joiden perusteella auton oli helpompi laskea sijaintinsa. Vähäelementtisessäkin ympäristössä pystyttiin kuitenkin operoimaan monianturisen järjestelmän ansiosta. Soveltuvia elementtejä olivat esimerkiksi rakennusten nurkat, pinnasta hyvin erotuvat muodot ja selkeät maamerkit. Huonoja elementtejä olivat esimerkiksi pitkät ja tasaiset pinnat, kuten seinät tai tasainen maa. Myös huonot sääolosuhteet heikentävät ajoneuvon suoriutumismahdollisuuksia.

Sensible 4:n ohjelmisto erottui kilpailijoistaan sillä, että sen kehityksen yhtenä kulmakivenä oli sen toimintavarmuus kaikissa sääolosuhteissa ja Suomen sijainnin takia erityisesti lumisissa olosuhteissa. Ohjelmisto kykeni pitkään jatkuneen kehityksen jälkeen suodattamaan anturidatasta sateesta johtuvat vesipisarot ja talvisissa olosuhteissa lumihuutaleet. Tämä mahdollisti sen toiminnan myös näkyvyyden ollessa heikko. Ohjelmistolla kerättiin dataa ja sitä testattiin

useissa erilaisissa sääolosuhteissa. Kuvassa 5 Sensible 4:n automatisoima Toyota Proace Verso on lumisissa testeissä Muoniossa.



Kuva 5. Sensible 4:n automatisoima Toyota Proace Verso testeissä lumisissa olosuhteissa.

Sensible 4:n ohjelmisto oli jaettu kahteen eri tasoon, korkeaan ja matalaan tasoon. Korkean tason ohjaus piti sisällään kaiken anturidatasta koostuvan päätöksenteon, ja matalan tason ohjaus huolehti ajoneuvon ohjauskomponenttien oikeista ohjauskomennoista. Eri tason ohjaukset kommunikoivat keskenään, minkä avulla saatiin varmistettua jouheva ja turvallinen ajo.

Sensible 4:n kehityksen tavoitteena oli automatisoitu ajaminen maksimissaan nopeudella 40 km/h. Käytännössä julkisen liikenteen kokeiluja tehtiin kuitenkin maksimissaan nopeudella 32 km/h, mutta teknologian ja turvallisuuden kehittyessä myös suurempia nopeuksia olisi kyetty hyödyntämään. Järjestelmää kehitettiin varsinkin alkuun pääsääntöisesti niin kutsuttuun ”last mile transportationiin” eli esimerkiksi matkoihin juna-asemalta kotiovelle. Myöhemmässä vaiheessa tärkeäksi käyttöympäristöksi muodostuivat teolliset alueet, joissa sopivia tehtäviä ajoneuville olivat esimerkiksi maankuljetus tai satamaliikennöinti.

2.5 Sensible 4:n kehitystyö

Sensible 4:n ohjelmistokehitys perustui niin kutsuttuun agile-lähestymistapaan, tarkemmin sanottuna scrum-viitekehikseen, joka on yksi yleisimmin käytetyistä ketterän kehityksen menetelmistä. Scrumissa kehitystyö jaetaan kahden viikon mittaisiin sprintteihin, joiden aikana tiimi työskentelee ennalta määritettyjen tavoitteiden mukaisesti (11). Vaikka scrum on alun perin kehitetty ohjelmistokehitykseen, Sensible 4 sovelsi sitä myös ajoneuvokehityksessään.

Sensible 4:n ajoneuvojen kehitystiimissä sprintin ensimmäisinä päivinä Product Owner laati korkean tason toimintasuunnitelman sprintin ajalle ja asetti suoriutumisen tavoitteen. Tämän jälkeen tiimi, Scrum Masterin ohjaamana, suunnittelei työn tarkemman toteutuksen, joka kattoi yksityiskohtaiset tehtävät ja aikataulut. Sprintin aikana työn etenemistä päivitettiin Youtrackiin (yrityksen sisäiseen käyttöön tarkoitettu projektien hallintatyökalu, jonka toimitti JetBrains). Sprintin viimeisinä päivinä pidettiin retrospektiivi, jossa arvioitiin, kuinka hyvin asetetut tavoitteet saavutettiin, mikä sujui hyvin tai huonosti ja mitkä tehtävät siirtyivät seuraavaan sprinttiin. Retrospektiivin pohjalta voitiin tunnistaa kehityskohteita, joita hyödynnettiin sekä tuotteen että työprosessien parantamisessa.

Aiemmin yrityksen mekaanisessa kehitystyössä käytettiin vesiputousmallia, jossa kehitys eteni lineaarisesti vaihe vaiheelta ja jokainen vaihe oli saatava valmiiksi ennen seuraavan aloittamista. Tämä toimintamalli toimi hyvin kooltaan pienemmissä yrityksissä ja projekteissa, joissa ei ollut tarvetta tehdä useita rinnakkaisia toimenpiteitä tai kehittää tuotetta projektin aikana. Suuremmissa projekteissa, joissa alikokoonpanoja kehitettiin jatkuvasti, vesiputousmalli osoittautui kankeaksi, sillä muutoksia kesken prosessin ei tuettu eikä niihin ollut varauduttu.

Agilen etuihin kuuluu sen iteratiivinen ja inkrementaalinen luonne, jossa tuotetta kehitetään jatkuvasti ja kokonaisuus pilkotaan pienempiin, helpommin hallittaviin osiin. Menetelmä tukee jatkuvaa ja tiivistä kommunikointia eri sidosryhmien välillä, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonkulun ja ajantasaisen reagoinnin muuttuviin tarpeisiin (12).

Yksi Agilen haasteista on pilkkoa erityisesti suuret kokonaisuudet helposti mitattaviin ja yhden sprintin aikana suoritettaviin tehtäviin. Tämän vuoksi suuremmat kokoonpanot voidaan jakaa useammalle sprintille, jolloin varmistetaan, että jokainen alikokoonpano sisältää selkeitä ja helposti seurattavia tehtäviä.

Sensible 4:n agile-toimintatavan keskeinen osa oli tiivis yhteistyö asiakkaan kanssa. Asiakkaan palautetta ja toiveita voitiin hyödyntää myös ajoneuvon kehityksen aikana, erityisesti suunnittelussa ja koeajoissa, ja palautteesta saatuja oivalluksia voitiin siirtää tuotteen jatkokehitykseen. Kokoonpanovaiheessa asiakas ei kuitenkaan ollut mukana prosessissa vaan tiimi keskittyi kokoonpanoon rauhassa ja turvallisesti.

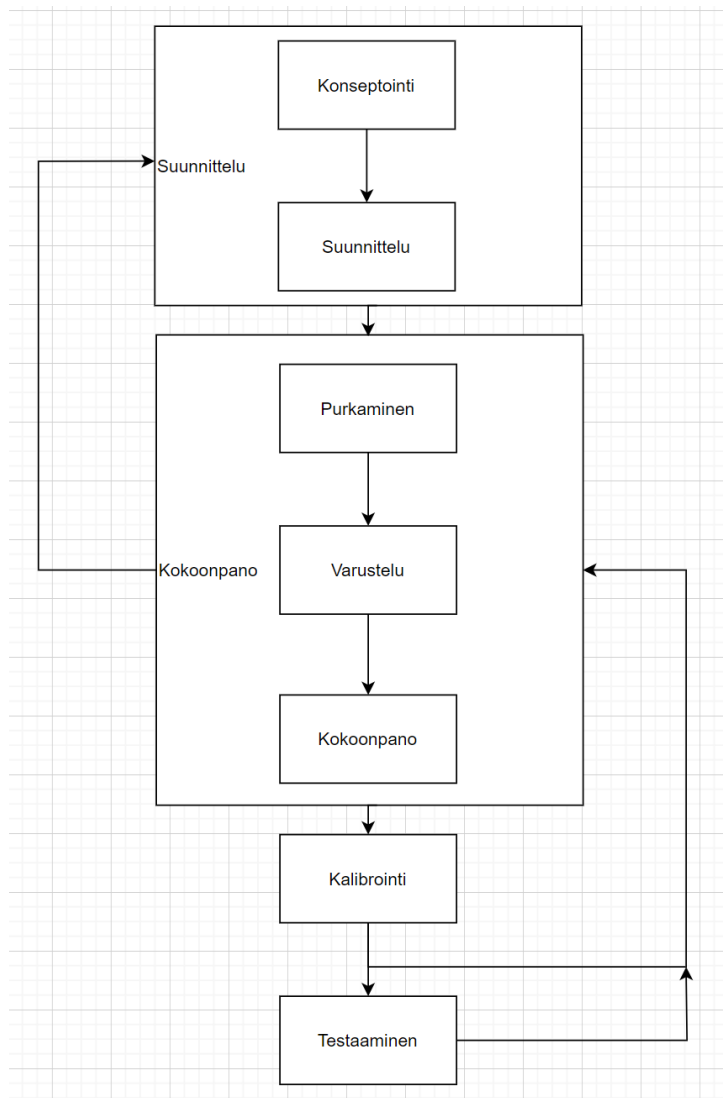
Asiakkaan palautteen muokkaaminen konkreettisiksi tehtäviksi oli kuitenkin toisinaan haastavaa, varsinkin jos asiakkaan ja kehittäjäyrityksen prioriteetit erosivat merkittävästi. Yksinkertaistettuna esimerkkinä voisi olla asiakkaan toive erittäin nopeasta ja sujuvasta liikennöinnistä, mikä yrityksen näkökulmasta voi olla hyvin haastavaa toteuttaa, aikaa vievää tai jopa mahdotonta - varsinkin turvallisesti.

Koska työn kirjoitushetkellä markkinat automatisoiduille autoille ovat varsin pienet eikä ajoneuvoja ole myyty merkittäviä määriä, haluttiin keskittyä siihen, että valmiiksi tyyppihyväksytyt ajoneuvot muunnetaan automatisoiduiksi, sen sijaan että tarkasteltaisiin automatisoiduksi soveltuvan auton kehittämistä ja rakentamista alusta alkaen. Tämä vaatisi järjettömän määrän kehitystyötä ja lupaprosessit ajoneuvon tyyppihyväksynnälle olisivat liki mahdottomia Sensible 4:n kokoiselle yritykselle. Tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä olisi toki mahdollista, että markkinat kasvaisivat siinä määrin, että kysyntä lisääntyisi merkittävästi, jolloin tämän työn pohjalta olisi mahdollista lähteä jatkokehittämään prosessia myös omien ajoneuvojen valmistukseen.

3 Sensible 4:n aiemmat ajoneuvojen kehitysprosessit

3.1 Automatisoidun auton kehitysprosessi

Sensible 4:n ajoneuvojen muutostöille ei aiemmin ollut ollut olemassa varsinaista prosessia, vaan työt etenivät parhaan tiedossa olevan toimintatavan mukaan ja kehittyivät aikaa myöten. Työvaiheet koostuivat ensimmäisten prototyyppien myötä tekemällä opituista, ja jokaisella ajoneuvoa tekevällä oli hieman erilaiset työskentelytavat. Kuvaan 6 on hahmoteltu korkean tason laatikkokaavio koko automatisoidun ajoneuvon kehitysprosessista.



Kuva 6. Korkean tason laatikkokaavio ajoneuvon kehitystyön rakenteesta.

Joitakin yhdenmukaisuuksia ja toimintatapojen yhtenäistämistä oli toteutettu lähinnä suullisilla sopimuksilla ja niin kutsutulla hiljaisella tiedolla, mutta niitä ei ollut dokumentoitu. Käytännössä kokoonpanoon hyödynnettiin ajoneuvon anturipaketista tehtyä BOM:a (Bill of Materials eli tuoterakenne), suunnittelun aikana kehitettyjä 3D-malleja ja kytkentäkaavioita sekä tarpeen vaatiessa Toyotan korjausoppaista saatuja purku- ja kokoonpano-ohjeita itse kohdeajoneuvolle. Kokoonpanosta tehtiin karkea Gantt-kaavio, joka on näkyvillä kuvassa 7.

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
Phase													
Disassembly		■											
Sensor assembly	■		■	■	■	■	■	■	■	■			
DbW assembly	■			■	■	■							
AD Box assembly			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Cabling					■	■	■	■	■	■	■	■	■
Finalizing													■

Kuva 7. Havainnekuva alkuperäisen kokoonpanoprosessin Gantt-kaaviosta.

Muutostyöllä oli siis olemassa raamit ja tavoitteet, joiden sisällä toimia, mutta itse kokoonpanolle ei ollut kirjattua prosessia. Ennen tätä työtä kenelläkään ei myöskään varsinaisesti ollut kokonaiskuvaa koko prosessin laajuudesta vaan työmääräarvioiteja tehtiin keskustelemalla tekijöiden kanssa ja yrittämällä muodostaa kokonaiskuvaa prosessista ja sen mahdollisesta kestosta.

Muutosprosessin ensihetkeksi laskettiin se, kun alkuperäinen ajoneuvo ajettiin paikalle, jossa purkutyöt aloitettiin. Prosessin loppuhetkeksi taas laskettiin se, kun ajoneuvo oli automatisoiduksi muunnettuna ja täysin kokoonpantuna valmis korkeamman tason ohjelmiston asentamiseen ja anturien kalibrointiin. Matalamman tason järjestelmä oli tässä vaiheessa asennettu ja viritetty jo valmiiksi AD-järjestelmän (Automated Driving) ECU:hun (Engine Control Unit). Tämän prosessin kestoksi saatettiin arvioida haastatellusta henkilöstä riippuen mitä vain kuukauden ja puolen vuoden väliltä. Todellisuudessa aiemmin opitun pohjalta muutostyöt pystyttiin viemään läpi noin kahdessa tai kolmessa kuukaudessa riippuen saatavilla olevan työpanoksen määrästä, rakentajien aiemmasta

kokemuksesta ajoneuvojen parissa sekä ajoneuvon valitun rakenteen monimutkaisuudesta. Rakenteissa saattoi olla jonkin verran eroja asiakaskohtaisten toiveiden mukaan, esimerkiksi lisäkameroiden tai etäohjauskeskuksen puheytyden muodossa. Uudessa prosessissa otettiin huomioon laajin entuudestaan tunnettu rakenne.

3.2 Suunnittelu

Automatisoidun ajoneuvon muutostyön suunnittelussa määriteltiin ajoneuvon, ajoympäristön ja vaatimusten pohjalta järjestelmä, joka mahdollisti ajoneuvon automatisoidun ajamisen. Ajoneuvon valittiin sopivat anturit, jotka sijoitettiin ajoneuvon CAD-mallin (Computer-aided Design) pohjalta. Tämän jälkeen suoritettiin ns. field of view -analyysi, jossa arvioitiin järjestelmän kykyä tarkkailla ajoneuvon ympäristöä. Antureiden sijoittelu oli iteratiivista työtä, jossa eri kokonaisuuksia hahmoteltiin ja ratkaisuja esiteltiin muille sidosryhmille. Järjestelmään valittiin vain aiemmin testattuja antureita, jotta niiden soveltuvuus ja toimintavarmuus monimutkaisessa järjestelmässä voitiin taata. Markkinoilla on nykyisin vain vähän erityisesti ajoneuvokäyttöön suunniteltuja antureita, mutta niiden yleistyminen, parempi saatavuus ja hintojen lasku tekevät niistä yhä houkuttelevampia myös kaupalliseen käyttöön. Teknologian kehittyessä tulevat automatisoidut autot tulevat olemaan turvallisempia, toimintavarmempia ja halvempia kuin nykyiset.

Suunnitteluun kuului muun muassa antureiden sijoittelu ja kiinnikkeet, ADCU:n (Automated Driving Control Unit) sijoittaminen ja kotelointi, sähkösuunnittelu sekä matalan tason ohjausjärjestelmien määrittely. Suunnitteluvaiheessa tehtiin myös kokoonpanokuvat, joihin sisältyivät työohjeet.

Tyypillisesti ajoneuvon suunnittelu aloitettiin ottamalla huomioon ajoneuvon ODD (Operational Design Domain eli suunniteltu toimintaympäristö). Suunniteltuja toimintaympäristöjä voivat olla esimerkiksi kaupunki- tai taajama-alueet, maantiet, satamat, lentokentät tai teollisuusalueet. Tarkastelua tehdessä arvioidaan todellinen toimintaympäristö. Ympäristön arvioinnissa huomioidaan mm.

liikenteen tiheys, liikennetyypit, näkyvyys sekä muut turvallisuustekijät. Ihanteellisessa tilanteessa ympäristöä voidaan tarkkailla paikan päällä, mutta arviointia voidaan tehdä myös etänä esimerkiksi valokuvien, videoiden tai karttapalveluiden avulla. Etäarvioinnilla ei kuitenkaan saavuteta yhtä realistista käsitystä ympäristön haasteista kuin paikan päällä vierailulla.

Suunnittelun alkuvaiheessa oli tärkeää miettiä, millaisia antureita käytettiin ja kuinka monta kutakin tarvittiin riittävän havainnointikyvyn varmistamiseksi. Antureiden sijoittelussa tuli myös huomioida komponenttien kiinnitysmahdollisuudet ajoneuvoon. Optimaalisin sijoittelu näkökyvyn kannalta ei aina ollut mahdollinen, ja joskus jouduttiin tekemään kompromisseja, jotta anturit saatiin asennettua paneeleihin kiinni. Tässä vaiheessa myös suunniteltiin tarvittaessa työkaluja tai asennusvälineitä, jotka helpottivat komponenttien asennusta ja paransivat antureiden sijoittelun tarkkuutta.

Ajoneuvon anturipaketeissa käytettävät komponentit olisi teoriassa ollut mahdollista valita lähes täydelliseksi saatavilla olevien teknologioiden rajoissa, mutta käytännössä budjetti asetti merkittäviä rajoituksia. Sensible 4:n automatisoidun ajamisen anturipakettien budjetit olivat tyypillisesti 50 000 ja 60 000 euron välillä. Markkinoiden parhaita komponentteja ei aina ollut saatavilla, erityisesti komponenttikriisin aikaan, joten laitteita valittiin myös niiden saatavuuden perusteella. Lisäksi yritys halusi aina testata laitteet itse ennen käyttöönottoa varmistaakseen parhaan mahdollisen toimivuuden ja turvallisen käytön kohteissa.

Sensible 4 kehitti DbW-järjestelmän hyödyntäen olemassa olevia ohjauskomponentteja ja sovitti sen Toyota Proace Versoon. Samaa järjestelmää voitiin käyttää muissakin ajoneuvoissa, mutta sen sovittaminen uusiin automalleihin edellytti ajoneuvon tilavarausten ja toimilaitteiden liitännöjen huomioimista.

Sensible 4 suunnitteli niin sanotun AD-laatikon, joka sisälsi auton päätöksenteon kannalta kriittiset komponentit, kuten tietokoneen ja DbW-järjestelmän ECU:n. Tämä kotelo voitiin koota täysin erillään ajoneuvosta, mikä mahdollisti sen valmistuksen ajoneuvosta riippumatta. AD-laatikko sijoitettiin yleensä auton

sisätiloihin turvalliseen paikkaan, ja siihen liitettiin kaikki Sensible 4:n järjestelmän anturien ja toimilaitteiden kaapelit. Laatikko oli fyysisesti melko suuri, joten sen sijoittelussa oli otettava huomioon useita tekijöitä, kuten matkustajien turvallisuus, kotelon riittävä ilmankierto, sekä kotelon liitäntöjen suojaus esimerkiksi ilkivaltaa vastaan. AD-laatikko oli kuitenkin suunniteltu niin, että sitä pystyi käyttämään missä vain ajoneuvossa lähes itsenäisesti, kunhan ajoneuvon puolen sähköistä ohjaamista pystyttiin tukemaan ja ajoneuvossa oli riittävästi tilanvarausta laatikon asentamiseen.

Kun automatisoitu järjestelmä oli suunniteltu, siirryttiin hankintavaiheeseen. Hankintavaiheessa käytännössä projektin projektipäällikkö tilasi tarvittavan määrän komponentteja autokohtaisesti, ja saapuneet komponentit varastoitiin kokoonpanohalliin.

3.3 Purkaminen, varustelu ja kokoonpano

Varustelun laajuuden ymmärtämiseksi järjestettiin ryhmäkeskusteluja muutostöitä aiemmin tehneille työntekijöille. Ryhmäkeskustelut olivat vapaamuotoisia, ja niitä järjestettiin useaan kertaan. Erikseen keskusteltiin mekaanisten töiden ja sähkötöiden tekijöiden kanssa, jotta kokoontumiset pysyivät tehokkaina. Kuvassa 8 on nähtävissä kokoonpanotyöhön osallistuneita Sensible 4:n entisiä työntekijöitä. Myöhemmin järjestettiin yhteenvetosessioita kaikille osallistuneille henkilöille, joissa varmistettiin, että lopputulokset näyttivät keskustelujen mukaisilta. Tarvittaessa yhteenvetosessioissa muutettiin vielä arvioita, mutta pääsääntöisesti muutokset jäivät maltillisiksi.

Keskusteluissa käsiteltiin erityisesti aiempia kokemuksia kokoonpanoprosessista, tekijöiden näkemyksiä järkevistä työskentelytavoista ja arvioitiin tehtävien työmääriä. Kokoontumiset haluttiin pitää vapaamuotoisina, jotta jokainen tekijä pystyisi tuomaan esille oman näkemyksensä mahdollisimman vapaasti. Tämä toisaalta aiheutti myös haasteita muistiinpanojen kirjaamisen osalta, mutta menetelmän todettiin silti olevan tehokas.

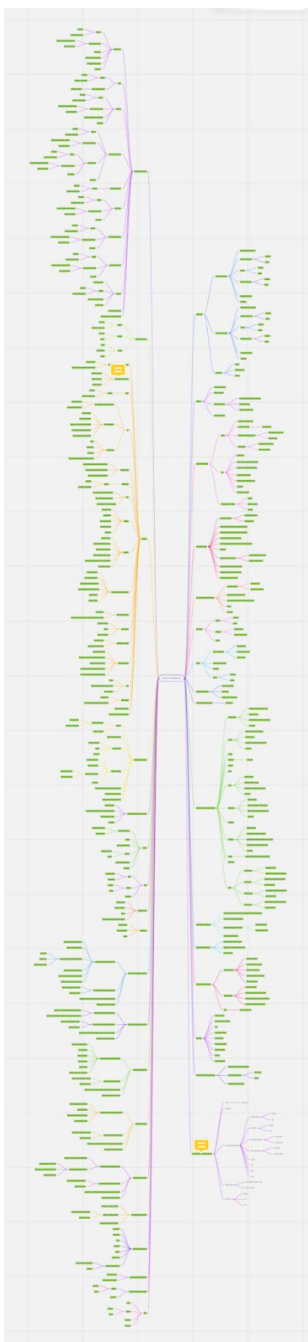


Kuva 8. Automatisoidun Toyota Proace Verson kokoonpano käynnissä.

Keskustelujen lähtökohdaksi luotiin ennakkoon lista auton muutosprosessin suurimmista työvaiheista ja niiden alle muodostettiin muutama merkittävä alikokoonpano. Sessioiden aikana alikokoonpanojen alle kerättiin vielä pienempien alikokoonpanojen relevantit komponentit tai yksittäiset osakokonaisuudet, jotta koko automatisoidun ajamisen mahdollistava kokoonpano tuli katettua. Listauksen ansiosta prosessista muodostui selkeä kokonaiskuva.

Keskustelujen pohjalta koko auton muutostöistä saatiin koostettua valtava miellekartta, johon koottiin kaikki varustelun työvaiheet suhteellisen yksityiskohtaisesti. Havainnekuva miellekartasta on nähtävissä kuvassa 9. Tarkoituksena ei ollut tehdä liian tarkkaa luetteloa eli esimerkiksi listata jokaista pultin kiristystä, mutta ei myöskään liian korkean tason karkeaa listausta, jotta työtä olisi helpompi ohjeistaa ja mahdollistaa työn etenemisen järjellinen seuranta. Miellekartta mahdollisti koko prosessin visualisoinnin ja erityisesti sen monimutkaisuuden hahmottamisen tehokkaammin. Kun yhden kokonaisen auton

muutostyöprojektin kaikki työvaiheet oli listattu, muodostui lopputulokseksi 23 aliprojektia, jotka sisälsivät yhteensä 342 tehtävää.



Kuva 9. Koko auton muutostöistä muodostunut miellekartta.

Jokaiselle tehtävälle arvioitiin tekijöiden kanssa realistinen työaika, joka vaiheen tekemiseen arvioitiin menevän. Arviot vaihtelivat tehtävän mukaan viidestätoista minuutista useampaan päivään, kun työpäivän pituutena pidettiin 7,5:tä tuntia.

Jokaiselle tehtävälle luotiin YouTrackissa oma kohde ja lisättiin se sille osoitettuun aliprojektiin. Kun kaikki tehtävät oli lisätty, YouTrack laski työmäärän koko automatisoidun auton muutosprojektille.

Työmääräarvioksi koko prosessille muodostui noin 23,23 henkilötyöviikkoa. Jos oletetaan, että tekemässä on täyspäiväisesti kolme henkilöä (kuten tyypillisesti oli), tästä saadaan yhden kokonaisen ajoneuvon läpimenoajaksi noin 7,74 viikkoa. Tämä vastaa varsin hyvin aiempien tehtyjen autojen toteutunutta läpimenoaikaa ja sopii hyvin lähtökohdaksi uuden prosessin tarkastelua varten.

Yleisesti voitaisiin ajatella, että työntekijöiden määrän lisääminen on paras tapa tehostaa työntekoa ja kokoonpanoa. Tämä voikin toimia, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti. Esimerkiksi yhden ajoneuvon ympärille ei mahdu kovin montaa tekijää yhtä aikaa. Lisäksi työn tehokkuus heikkenee, jos työvaiheesta toiseen siirrytään päämäärättömästi. Aina ei ole myöskään mahdollisuutta tehdä seuraavaa suunniteltua tehtävää tilanpuutteen vuoksi. Aiemmassa prosessissa ajoneuvot purettiin yhdessä paikassa nosturilla, ja niitä pidettiin siellä koko muutosprosessin ajan, kunnes ne olivat jälleen ajokunnossa ja siirrettävissä. Tämä tarkoitti, että nosturit olivat varattuna vähintään kaksi kuukautta kerrallaan yhtä ajoneuvoa varten. Nostureita tarvittiin toisinaan myös muihin työtehtäviin, joten niiden pitkäaikainen varaaminen muutostöitä varten ei ollut ihanteellista. Tämän vuoksi on tärkeää hyödyntää tehokkaampia työtapoja, kuten prosessien optimointia tai työnjaon kehittämistä.

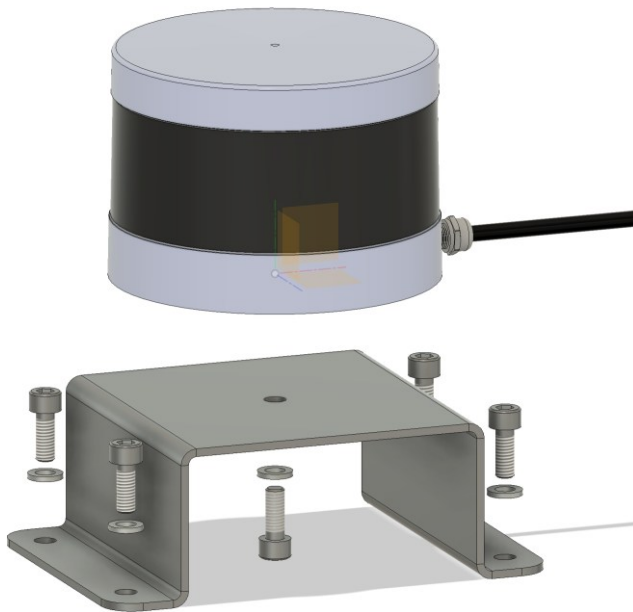
Koska tavoitteena ei ole vain tehostaa tekemistä, vaan myös varmistaa, että varusteluprosessin aikana ajoneuvot valmistetaan samanlaisilla menetelmillä, joilla tasalaatuisuutta parannetaan, ei läpimenoaikaa haluttu lyhentää liian rajusti kerralla. Muutostöiden kehittäminen voidaan nähdä osana iteratiivista prosessia, jossa opitaan tekemällä ja dokumentoidaan tehokkaampi tapa seuraavia käyttökertoja varten.

Tulevaisuutta ajatellen voisi olla hyödyllistä järjestää prosessin tarkastelu esimerkiksi puolivuositain tai vuosineljänneksittäin. Tarkastelussa käytäisiin läpi prosessin potentiaalisia kehityskohteita, sekä vertailtaisiin toteutuneita

läpimenoaikoja arvioituihin. Jos prosessin ohjeellista läpimenoaikaa voidaan suurella varmuudella lyhentää, on projektien tai ajoneuvojen myyjien potentiaalisesti mahdollista kasvattaa myyntiä, olettaen että läpimenoaika toimii pullonkaulana kysynnälle.

4 Hahmotelma uudesta prosessista

Uudessa prosessissa on tarkoitus hyödyntää linjastomaisempaa lähestymistapaa. Tämä tarkoittaa, että ajoneuvoa ei pidetä työn aikana yhdessä paikassa, vaan se etenee muutostöihin varatun hallin läpi tai ympäri työpisteestä toiseen. Linjamaisella lähestymistavalla pyritään parantamaan sekä tehokkuutta että laatua. Tehokkuutta pystytään parantamaan, kun oikeita asioita tehdään oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. Laatua kyetään parantamaan, kun työnjako pystytään tekemään tarkemmin ja tekijät ymmärtävät paremmin oman työvaiheensa sisällön, sekä hyödynnetään tehokkaammin hyvin soveltuvia työkaluja tai muutostöitä varten kehitettyjä asennustyökaluja. Myös kehittyneemmät työ- tai kokoonpano-ohjeet ovat merkittävässä roolissa prosessin tehostumisessa. Kuvassa 10 on yksinkertaistettu havainnekuva anturikokoonpanon räjäytyskuvasta.



Kuva 10 Havainnekuva anturikokoonpanon räjäytyskuvasta

Koska aiemmassa prosessissa ei ollut dokumentaatiota ajoneuvon muutostöistä, on tarkoitus lisätä panostusta työ- ja kokoonpano-ohjeisiin. Käytännössä esimerkiksi johtosarjoja voidaan esikoota kytkentäkaavioiden ja mittakuvien avulla, mikä helpottaa ja nopeuttaa ajoneuvossa tehtävää kasaustyötä. Lisäksi

anturien asennusjärjestystä voidaan optimoida tarkkojen kokoonpano-ohjeiden avulla.

Linjastoa lähdettiin kehittämään siltä pohjalta, että Sensible 4:n käytössä ollutta henkilötyöresurssimäärää ja kokoonpanohallia pystyttäisiin hyödyntämään tähän tarkoitukseen mahdollisimman pienin muutoksin. Työn tekeminen jaettiin neljään suurempaan vaiheeseen: purkamiseen, varusteluun, kokoonpanoon ja erikseen tehtävään esikokoonpanoon. Perusoletuksena pidettiin, että jokaisella työpisteellä on kaksi työntekijää työvaiheiden tarpeen mukaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisella pisteellä olisi yksi henkilö, joka keskittyy mekaanisiin asennuksiin, ja yksi henkilö, joka keskittyy sähköisiin asennuksiin.

Koska kalibrointia haluttiin myös tehostaa, päätettiin se ottaa osaksi loppukokoonpanon työpistettä. Tyypillisesti ohjelmistokehittäjät olivat kalibroineet anturit, joten tällä työpisteellä tarvittaisiin ymmärrystä myös Sensible 4:n ohjelmiston puolelta, jotta kalibrointi olisi mahdollista tehdä oikealla tavalla. Käytännössä tämä mahdollistettaisiin tarkkojen työohjeiden ja hyväksyntäkriteereiden avulla. Kalibrointi on erityisen kriittinen vaihe, koska virheellisesti kalibroidut anturit voivat johtaa siihen, että ajoneuvon automatisoidut toiminnot eivät toimi odotetulla tavalla tai toimivat epätarkasti. Kalibrointivaiheen tarkkuus on siis keskeinen osa koko prosessia, ja sen onnistuminen varmistetaan tarkasti määritellyillä työohjeilla.

Keskustelujen perusteella muodostettu 342 tehtävän lista käytiin läpi, ja jaettiin jokaiselle työpisteelle mahdollisimman tasaisesti. Koska työpisteitä muodostettiin neljä, myös ajoneuvon muutostyön aliprojekteja on neljä erilaista. Työpisteet on suunniteltu niin, että niistä löytyvät kaikki työvaiheissa tarvittavat työkalut, ja että niissä on ergonomista työskennellä tarvittavien kohteiden mukaan. Käytännössä jokaisella pisteellä (paitsi esikokoonpanossa) tarvitaan myös pääsy ajoneuvon katolle, joten on huolehdittava, että asentajilla on mahdollisuus turvallisesti ja ergonomisesti päästä tarvitsemiinsa työkohteisiin. Monet anturit kiinnitetään ajoneuvon katolle, joten sekä anturien kiinnityksien valmisteleminen, niiden paikalleen asentaminen ja lopulta suojien asentaminen vaativat sinne pääsyn.

Käytännössä tämä pystytään ratkaisemaan joko henkilönostimilla, tai rakentamalla kiinteitä asennustelineitä, joiden avulla ajoneuvon katto on saavutettavissa.

Koska ajoneuvosta puretaan heti ensimmäisessä vaiheessa paljon ajamiselle kriittisiä komponentteja, kuten renkaat ja rattiakseli, auton siirtäminen omin voimin kokoonpanopisteestä toiseen on mahdotonta. Nämä osat on purettava heti, koska ne joko estävät pääsyn muihin muutoskohteisiin, tai niiden muokkaaminen on aloitettava heti, jotta ne ehtivät automatisoituun ajoon soveltuvana mukaan kokoonpanoon. Tästä syystä linjastolle tulisi hankkia nostopöytiä tai liikuteltavia nostureita, joilla ilmaan nostettuja ajoneuvoja voidaan siirtää pisteiden välillä. Nostopöydät ja liikuteltavat nosturit tarjoavat joustavuutta ja mahdollistavat ajoneuvon siirtämisen ilman renkaiden tarvetta. Lisäksi ne helpottavat ajoneuvon korkeuden säätämistä asennustöiden aikana, mikä parantaa ergonomiaa ja vähentää asentajien fyysistä rasitusta.

Kiskotettua järjestelmää ajoneuvojen siirtelyyn harkittiin myös yhtenä vaihtoehtona, mutta se tuo haasteita sivukaistojen käytössä ja pisteiden muuntelussa, koska kiskot asennetaan yleensä kiinteästi tehtaan tai kokoonpanotilan lattiaan. Vaikka kiskotettu järjestelmä tarjoaisi vakaan ja automatisoidun tavan siirtää ajoneuvoja, sen kiinteä rakenne vähentää linjaston joustavuutta. Tämä vaikeuttaisi sivukaistojen hyödyntämistä virhetilanteissa ja rajoittaisi pisteiden muokkaamista prosessin kehittyessä tai muuttuessa. Liikuteltavat nosturit sen sijaan mahdollistavat nopean ja joustavan siirron pisteiden välillä eivätkä rajoita työtilan muunneltavuutta.

Koska autot ilmaan nostettuna muodostavat merkittävän työturvariskin, on nostovälineiden valinnassa ja käytössä oltava erityisen huolellinen. Kaupallisia ratkaisuja kattavilla turvaominaisuuksilla on valmiiksi saatavilla, joten sellaisen käyttöä suositellaan. Kuvassa 11 on esimerkkimalli soveltuvan tyyppisestä nostopöydästä.



Kuva 11. Esimerkki nostopöydästä (13).

Ensimmäisessä työpisteessä, joka on nimetty *valmisteluksi*, kohdeajoneuvo puretaan, siihen tehdään kaikki tarvittavat rei'itykset ja valmistelut anturien asennusta varten. Antureiden kiinnitysten rei'itysten tekeminen edellyttää tarkkoja mittauksia ja soveltuvia työkaluja tai asennusvälineitä, jotta anturit voidaan asentaa oikein. Tämä vaihe on kriittinen asennusten tarkkuuden varmistamiseksi, ja se näkyy suoraan lopputuotteessa. Myös antureiden ja muiden komponenttien kiinnitykset keräillään ja sovitetaan tässä vaiheessa, jotta toisessa vaiheessa tehtävä varsinainen asennustyö on mahdollisimman sujuvaa. Kuvassa 12 näkyy osittain purettu Toyota Proace Verso nosturilla valmisteltavana anturien asennustyöhön.



Kuva 12. Toyota Proace Verso osittain purettuna nosturilla.

Toisessa työpisteessä, joka on nimetty *varusteluksi*, asennetaan itse toimilaitteet, anturit ja tehdään niiden kytkennät. Erilaisia asennettavia komponentteja on yhteensä kymmeniä. Antureiden ja toimilaitteiden asentaminen vaatii sekä mekaanista että sähköistä osaamista, jotta järjestelmät integroituvat saumattomasti ajoneuvon sähköjärjestelmiin. Kuvassa 13 näkyy ajoneuvon katolle asennettuja antureita. Etualalla kaksi laserkeilainta saman suojakuoren sisällä, keskellä RTK-antenni ja taaimmaisena kolmas laserkeilain.



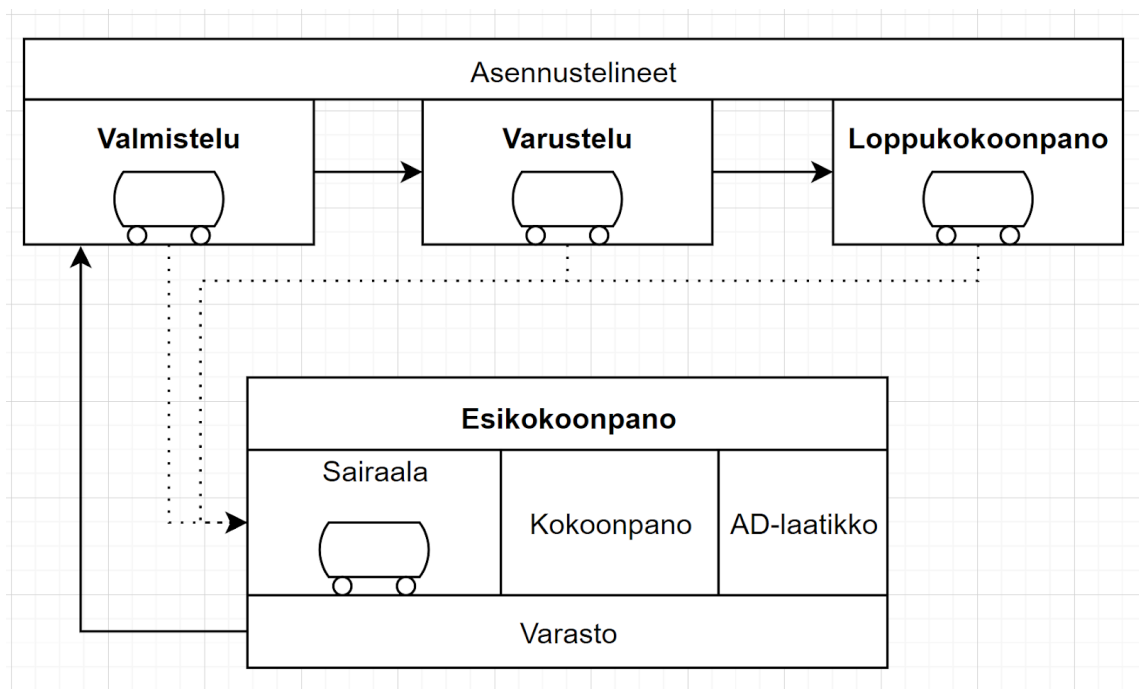
Kuva 13. Antureita ajoneuvon katolle asennettuna.

Kolmannessa työpisteessä, joka on nimetty *loppukokoonpanoksi*, kytketään sähköjärjestelmät päälle ja tarkistetaan järjestelmien oikea toiminta. Tarkistuslistassa käydään läpi kaikki kriittiset asennusvaiheet ja sähköjärjestelmien toiminnallisuus. Alkuvaiheessa testaukset tehdään manuaalisesti olemassa olevia toimintatapoja hyödyntäen, mutta tulevaisuudessa pystytään toivottavasti hyödyntämään automaattisia järjestelmiä, jotka varmistavat, että kaikki komponentit toimivat yhdessä oikein ennen kalibroituvaihetta. Tämän jälkeen asennetaan anturien suojat, palautetaan ajoneuvon alkuperäiset paneelit paikalleen sekä suoritetaan anturien kalibrointi ja lyhyt testi.

Kolmannessa pisteessä on myös niin sanottu shakkilauta, jonka avulla kalibrointi suoritetaan. Tämä kuvioitu alusta, jossa on mustavalkoinen ruutukaavio, muistuttaa perinteistä shakkilautaa. Kalibroinnin aikana laite tunnistaa sen avulla kolmiulotteisen ympäristön, mikä parantaa mittaus- ja havaintotarkkuutta. Kun kameraa kalibroidaan, se "katsoo" shakkilautakuviota eri kulmista ja etäisyyksiltä. Sensible 4:n ohjelmisto analysoi kuvioiden muodonmuutokset ja laskee niiden perusteella tarvittavat kalibrointiparametrit. Tämä mahdollistaa tarkan ja yhdenmukaisen kohdistuksen, mikä on erityisen tärkeää anturien herkkyden

vuoksi. Kiinteä kalibrointipiste varmistaa vakio-olosuhteet jokaiselle ajoneuvolle, mikä parantaa tarkkuutta ja lyhentää kalibrointiaikaa.

Näiden työpisteiden lisäksi on erillinen piste, joka on nimetty *esikokoonpanoksi*. Tällä pisteellä muokataan ajoneuvon alkuperäisiä osia (esimerkiksi irtonaisten paneelien reiitykset antureiden asennusta varten), kootaan anturien kiinnityskoonpanoja, sekä kokoonpannaan AD-laatikko valmiiksi asennusta varten varastoon. Esikokoonpanopisteessä on myös niin kutsuttu sairaala, johon tuodaan kokoonpanolinjalta poistettuja ajoneuvoja tarkastus- tai korjaustoimenpiteitä varten. Myös huolto- ja päivitystoimenpiteet tehdään tarvittaessa tällä pisteellä. Esikokoonpanopisteellä voidaan myös varastoida jonkin verran valmiiksi muokattuja paneeleita, jotta kokoonpano sujuu varmasti toivotulla tavalla. Varastoa täydennetään tarvittaessa autoista puretuilla muokkaamattomilla komponenteilla. Tilauskannasta riippuen voisi olla hyödyllistä harkita myös mahdollisuutta esikokoonpanojen ulkoistamista kolmannelle osapuolelle. Kuvassa 14 on hahmotelma muutostyön linjastosta.



Kuva 14. Kaaviokuva kokoonpanojärjestyksestä linjastolla.

Lasketut henkilötyötunnit vanhalle prosessille olivat 821 tuntia. Jokainen 342 keskusteluissa kerätystä tehtävästä käytiin läpi ja merkittiin soveltuvalla työpisteelle. Aiemmat työmääräarviot siirtyivät suoraan niiden mukana työpisteille, ja niistä muodostui lopulta seuraavat arviot:

1. työpiste, valmistelu yhteensä 233,5 h
2. työpiste, varustelu yhteensä 231,5 h
3. työpiste, loppukokoonpano 171 h
4. työpiste, esikokoonpano 235 h

Alkuperäiset arvioidut työtunnit jakautuivat lopulta todella tasaisesti, pois lukien kolmannen työpisteen noin 60 tuntia pienempi arvio. Linjaston tasaisen läpimenoajan pitämiseksi tämä on kuitenkin hyvä, koska lopulla "ylimääräisellä" ajalla voidaan tehdä aiemmin kokoonpanoprosessiin kuulumaton kalibrointi. Aiemmin täysin manuaalisesti tehty kalibrointi on vienyt keskimäärin noin 2 viikkoa yhden henkilön työaikaan, joten 60 tuntia pitäisi paremmin organisoidulla tekemisellä olla helposti saavutettavissa. Suoraan käännettynä siis yhteistyöaika kaikilta työpisteiltä olisi kalibrointi mukaan laskien noin 931 henkilötyötuntia.

Jos jokaisella varsinaisella kokoonpanotyöpisteellä on kaksi henkilöä ja lasketaan suoraan aiemmin arvioidun pisimmän läpimenoajan 235 h mukaan, käytännössä linjastolta saadaan ulos ajoneuvo kolmen viikon ja yhden päivän välein. Tehokkaampien työpisteiden ja työskentelyn takia olisi tavoittelemisen arvoista tähdätä alkuun noin 2,5 viikon läpimenoaikaan, ja prosessin iteratiivisen kehittymisen myötä laskea se kahteen viikkoon. Takaisin tunneiksi laskettuna ne tarkoittaisivat 2,5 viikon tapauksessa 750:tä henkilötyötuntia, ja kahden viikon tapauksessa 600:aa tuntia.

Jos oletetaan asentajan keskituntikustannukseksi yritykselle 75 €/h, niin

931 henkilötyötunnilla yhden auton työkustannukseksi muodostuisi 69 825 €

750 henkilötyötunnilla yhden auton työkustannukseksi muodostuisi 56 250 €

600 henkilötyötunnilla yhden auton työkustannukseksi muodostuisi 45 000 €.

Jos otetaan prosessin alkuvaiheen tavoitteeksi 750 henkilötyötuntia, säästöä syntyisi 13 575 € ajoneuvoa kohti, joten voidaan sanoa, että jo yhden auton tapauksessa saavutettaisiin merkittäviä säästöjä. Tässä ei kylläkään oteta huomioon uuden työlinjaston aloitus- ja ylläpitokustannuksia eikä niihin tämän työn osalta oteta kantaa.

5 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin Sensible 4 Oy:lle automatisoidun ajamisen mahdollistaville ajoneuvon muutostöille prosessi. Muutostöitä yrityksessä tehtiin jo aiemmin, mutta tekeminen ei ollut tehokasta tai dokumentoitua. Uuden prosessin kehityksessä pyrittiin tehostamaan tekemistä, lyhentämään läpimenoaika ja saavuttamaan kustannussäästöjä, sekä parantamaan muutostöiden laatua ja toistettavuutta erityisesti ajoneuvon varustelun ja kalibroinnin osalta.

Uutta prosessia ei oikeassa maailmassa saatu otettua käyttöön yrityksen olemassaolon aikana tilauskannan puutteen takia, ja lopulta todellinen vertailu rakentamisen läpimenoajan osalta osoittautui mahdottomaksi yrityksen ajauduttua konkurssiin. Prosessia oli tarkoitus hyödyntää ensisijaisesti lähinnä Sensible 4:n valmiiksi suunniteltujen automatisoitujen Toyota Proacejen rakentamiseen, mutta vastaavaa pohjaa on mahdollista hyödyntää myös muissa ajoneuvoissa. Prosessissa tai Sensible 4:n järjestelmien suunnittelussa ei oteta kantaa tarkkaan mihin ajoneuvoon se on tarkoitettu eikä sitä ole tehty ajoneuvospesifisti, vaan se on ennemminkin agnostinen.

On kuitenkin uskottavaa, että uusilla työ- ja kokoonpano-ohjeilla sekä linjamaisella työskentelytavalla voidaan saavuttaa merkittäviä aikataulusäästöjä ja siten myös rahallisia säästöjä, samalla kun kokoonpanon toistettavuus ja laatu paranevat. Tässä työssä ei otettu kantaa lopulliseen toteutukseen käytännön toimenpiteiden osalta. Työstä seuraavia vaiheita olisivat tarkemmat suunnitelmat työpisteiden rakentamisesta, niiden kustannusarvioista, sekä pidemmän aikavälin laskelmat projektin kannattavuudelle.

Työn tavoitteet saavutettiin, ja tarkastelun jälkeen on selvää, että tehokkaalla prosessiluontoisella tekemisellä on saavutettavissa merkittäviä ajallisia ja rahallisia säästöjä.

Lähteet

- 1 SAE J3016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. 2021. Society of Automotive Engineers.
- 2 Half of European truck operators can't expand due to driver shortages. 2024. Verkkoaineisto. The International Road Transport Union. <<https://www.iru.org/news-resources/newsroom/half-european-truck-operators-cant-expand-due-driver-shortages>>. 25.4.2024. Luettu 22.10.2024.
- 3 Tieliikenteen automaation sääntelyhanke. 2021. Valtioneuvosto. 4.5.2021.
- 4 STL Line 13. 2023. Verkkoaineisto. Swiss Transit Lab. <<https://www.swisstransitlab.ch/en/projects/line-13/>>. 28.4.2023. Luettu 28.10.2024
- 5 New Stage In The Cooperation Program Between PSA Peugeot Citroën And Toyota. 2015. Stellantis. <<https://www.media.stellantis.com/em-en/citroen/press/new-stage-in-the-cooperation-program-between-psa-peugeot-citroen-and-toyota>>. 1.12.2015. Luettu 22.10.2024
- 6 Tuppurainen, Manu. 2022. Koeajo: Toyota Proace Verso EV – Sähkösuukula kaupunkikuljetuksiin. Verkkoaineisto. <<https://moottori.fi/koeajo/koeajo-toyota-proace-verso-ev-sahkosukkula-kaupunkikuljetuksiin>> 8.8.2022. Luettu 22.10.2024
- 7 Sensible 4. 2022. Verkkoaineisto. <https://www.linkedin.com/posts/sensible4_autonomousvehicles-robotics-futuremobility-activity-6896438672808321024-K4AH?utm_source=share&utm_medium=member_desktop>. Luettu 22.10.2024
- 8 Asetus tieliikennettä koskevan yleissopimuksen voimaansaattamisesta. 1986. 30/1986.
- 9 Ajoneuvolaki. 2021. 15.1.2021/82
- 10 Suomalaisyritykseltä uusi ohjelmistoalusta robottiautoihin. 2022. Verkkoaineisto. Uusi Teknologia. <<https://www.uusiteknologia.fi/2022/08/10/uusi-sae4-tason-ohjelmistoalusta-robottiautoihin/>>. 10.8.2022. Luettu 27.10.2024
- 11 Agile Glossary. Scrum. Verkkoaineisto. Agile Alliance. <<https://www.agilealliance.org/glossary/scrum/>>. Luettu 27.10.2024

- 12 What is agile? 2023. Verkkoaineisto. McKinsey & Company. <<https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-agile>>. 27.3.2023. Luettu 11.11.2024.
- 13 Powered Mobile Lift Table for Automotive and Railway Industry. Verkkoaineisto. Liftsafe <<https://liftsafe.net/product/powered-mobile-lift-table-for-automotive-and-railway-industry/>>. Luettu 22.10.2024