



Pekka Kilpeläinen, Kalervo Nevala, Pirkka Tukeva,  
Leila Rannanjärvi, Tuomo Näyhä & Tommi Parkkila

## Älykäs tietyömaa

| Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus



# **Älykäs tietyömaa Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus**

Pekka Kilpeläinen, Kalervo Nevala, Pirkka Tukeva,  
Leila Rannanjärvi, Tuomo Näyhä & Tommi Parkkila

VTT Elektronikka



ISBN 951-38-6486-3 (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6487-1 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2004

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Elektronikka, Kaitoväylä 1, PL 1100, 90571 OULU  
puh. vaihde (08) 551 2111, faksi (08) 551 2320

VTT Elektronik, Kaitoväylä 1, PB 1100, 90571 ULEÅBORG  
tel. växel (08) 551 2111, fax (08) 551 2320

VTT Electronics, Kaitoväylä 1, P.O.Box 1100, FIN-90571 OULU, Finland  
phone internat. + 358 8 551 2111, fax + 358 8 551 2320

Toimitus Leena Uksskoski

Otamedia Oy, Espoo 2004

Kilpeläinen, Pekka, Nevala, Kalervo, Tukeva, Pirkka, Rannanjärvi, Leila, Näyhä, Tuomo & Parkkila, Tommi. Älykäs tietyömaa. Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus [The intelligent construction site. The modular control system for the road construction machines]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2255. 116 s.

**Avainsanat** road building, machine automation, wireless communication, positioning systems

## Tiivistelmä

Tämä Tiedote käsittelee tienrakennuskoneiden automatisointiin liittyviä menetelmiä ja teknisiä ratkaisuja, joita on tutkittu MODU-projektissa (Modulaarisen ohjausjärjestelmän kehittäminen tienrakennuskoneiden automaatiosovelluksiin). MODU-projekti kuuluu osana Tekesin Infra-teknologiaohjelmaan ja Älykäs tietyömaa -projektikonaisuuteen. Tiedotteessa esitellään lyhyesti myös Älykäs tietyömaa -kokonaisuuteen kuuluvan LATO-projektin (Langaton tietyömaan ohjaustiedon hallinta) tuloksia. LATO-projektissa on tutkittu langattomien tiedonsiirtotekniikoiden mahdollisuuksia tietyömaan toimintojen hallinnassa sekä pilotoitu työmaan materiaalin kuljetusten hallintaan kehitettyä langatonta hallintajärjestelmää.

MODU-projektissa on tutkittu erityisesti automaatiojärjestelmiä, jotka hyödyntävät 3D-suunnittelu- ja mittaustietoa koneen työsuorituksen automaattisessa ohjauksessa. Projektissa on tutkittu yleiskäyttöisiä menetelmiä suunnittelujärjestelmien, työkoneiden ohjausjärjestelmien ja laadunvalvontajärjestelmien väliseen tiedonsiirtoon. Eri järjestelmien välisiin yhteensopivuusongelmiin ratkaisu on XML-pohjaisen avoimen tiedonsiirtoformaatin kehittäminen ja käyttöönotto. MODU-projektissa on myös tutkittu erilaisten tienrakennuksessa käytettäviin työkoneisiin soveltuvia laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja. Projektissa kehitetty HW-ratkaisu perustuu PC/104-pohjaiseen Rt-Linux -käyttöjärjestelmällä varustettuun ohjainmoduuliin, jota voidaan sovelluskohtaisesti laajentaa sekä anturi- ja toimilaiteliitäntöjen että käyttöliittymätoimintojen osalta.

Projektissa kehitettyjen menetelmien ja automaatoratkaisujen verifiointia varten valittiin case-kohteeksi teiden pohjarakenteiden vahvistamisessa käytettävän stabilointijyrsimen ohjaus. Case-kohteesta saatujen tuloksien perusteella projektissa kehitetyt ohjausalgoritmit ja -menetelmät sekä HW- ja SW-ratkaisut ovat laajasti sovellettavissa 2D-tai 3D-suunnittelu- ja mittaustietoa hyödyntävissä tienrakennuskoneiden automaatiohjauksissa.

Kilpeläinen, Pekka, Nevala, Kalervo, Tukeva, Pirkka, Rannanjärvi, Leila, Näyhä, Tuomo & Parkkila, Tommi. Älykäs tietyömaa. Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus [The intelligent construction site. The modular control system for the road construction machines]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2255. 116 p.

**Keywords** road building, machine automation, wireless communication, positioning systems

## Abstract

This report concerns itself with the technical solutions and methods that are used in automation of the road construction machines. In this report the research work carried out in the MODU project is presented. The research project MODU (The development of modular control system for the road construction machines) is part of the Infra technology program funded by Tekes. The MODU project is part of "the Intelligent Construction Site" project collaboration. In this report the results of the LATO project (Wireless Construction Site) are also introduced briefly. The LATO project is also a part of the "Intelligent Construction site" project collaboration. In LATO project the possibilities of the wireless communication systems in production control on road construction site are studied and a wireless system for handling the material transportation tasks in road construction is developed and piloted.

The objective of the MODU project is to enhance the use of automation in road construction and to develop technology applicable to road construction automation. The main area of the research is machine control systems that use 3D design data for automatic control. Research has been carried out to develop methods for data transfer between CAD programs, machine control systems and quality assurance systems. An XML-based data format is proposed for solving incompatibility problems between different systems. In MODU project hardware and software solutions applicable to the automation of the road construction machines are studied also. The developed HW and SW solution is based on the use of a PC/104 single board PC with Rt-Linux operating system as a control module. This control module can be expanded with different sensor and actuator interface devices as well as user interface devices.

For verifying the developed methods and automation solutions the control system of the stabilizing cutter was chosen as a test case. A stabilizing cutter is used for rehabilitation and subgrade reinforcement of the old road pavement. As a result from the case study methods, algorithms and HW and SW solutions developed during the project were verified. The results of the project are applicable to a wide variety of automation systems in road construction that incorporate 2D and 3D design data and real time measurements for automatic control.

# Alkusanat

Tämä raportti liittyy MODU-projektiin (Modulaarisen ohjausjärjestelmän kehittäminen tienrakennuskoneiden automaatiosovelluksiin). Projekti kuuluu osana Tekesin rahoittamaan Infra-teknologiaohjelmaan ja ”Älykäs tietyömaa” -projekti-kokonaisuuteen. Raportissa esitellään lyhyesti myös ”Älykäs tietyömaa” -kokonaisuuteen liittyvän LATO-projektin (Langaton tietyömaan ohjaustiedon hallinta) tuloksia. LATO-projektissa on sovellettu langattomia tiedonsiirtotekniikoita työmaan materiaalikuljetusten hallintaan.

”Älykäs tietyömaa” -hankekokonaisuuden ja samalla MODU-projektin johtoryhmän ovat muodostaneet: Esa Haapa-aho, Terrasolid Oy (puheenjohtaja), Jukka Juola, Andament Oy, Heimo Poutanen, Sandvik Tamrock Oy, Pentti Heinonen, Junttan Oy, Lars Westermark, Tieliikelaitos, Tom Warras, Tekes, INFRA-teknologiaohjelma, Harto Räty, SML, INFRA-teknologiaohjelma, Kalervo Nevala VTT Elektroniikka ja Rauno Heikkilä Oulun yliopisto, RATE (sihteeri). VTT Elektroniikan projektiryhmän ovat muodostaneet Kalervo Nevala, Pekka Kilpeläinen, Pirkka Tukeva, Ykä Marjanen, Tommi Parkkila, Leila Rannanjärvi ja Tuomo Näyhä.

”Älykäs tietyömaa” -projektikokonaisuutta ovat rahoittaneet Tekes/Infra-teknologiaohjelma, VTT Elektroniikka sekä seuraavat yritykset ja yhteisöt: Tiehallinto, Tieliikelaitos, Terrasolid Oy, Andament Oy, Roadscanners Oy, Geotrim Oy, Junttan Oy, Sandvik Tamrock Oy, Skanska Tekra Oy, TutkimusKORTES Oy, SuunnitteluKORTES Oy, JP-Transplan Oy, Rantakokko & Co Oy, Geobotnia Oy, Finnmap Infra Oy, Helsingin kaupunki.

Muutaman viime vuoden aikana kiinnostus automaatiojärjestelmien soveltamiseen tien rakentamiseen liittyvissä tehtävissä on merkittävästi kasvanut. Samoin langattomien teknologioiden nopea kehitys on tuonut teknisiä mahdollisuuksia kehittää uudentyyppisiä sovellutuksia tienrakennusprosessin eri vaiheiden hallintaan. Tämän raportin tarkoituksena on osaltaan luoda katsaus tienrakennuksen automaatiojärjestelmien tekniikkaan, sovellutuksiin ja mahdollisuuksiin sekä osaltaan auttaa ja rohkaista uusien teknisten ratkaisujen soveltamisessa.

Oulu 19.5.2004

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	10
1. Johdanto .....	13
2. Tienrakennuskoneiden automaatiojärjestelmät.....	16
2.1 Kehitystilanne ja valmistajia .....	16
2.1.1 Järjestelmien automaation tasot .....	16
2.1.2 Yleisimmät mittaustekniikat .....	18
2.1.3 Ohjainlaitteet ja anturiliitännät.....	20
2.1.4 Automaatiojärjestelmien valmistajia.....	21
2.2 Paikannusteknologia.....	23
2.2.1 ATS-takymetri.....	23
2.2.2 GPS .....	24
2.2.3 Paikannusteknologian valinta.....	27
2.3 Suunnitelma- ja paikkatietoa hyödyntävät ohjausjärjestelmät .....	29
2.3.1 Periaate.....	29
2.3.2 Sovellutukset tienparannuksessa.....	30
2.3.2.1 Tien kuntotutkimus ja rakenteenparantamissuunnitelma.....	30
2.3.2.2 Automaatiosovellukset tienparannuksessa.....	31
2.3.3 Sovellutukset pohjanvahvistuksessa .....	32
2.3.3.1 Pohjanvahvistusmenetelmiä.....	32
2.3.3.2 Pohjatutkimukset ja suunnittelumenetelmät .....	33
2.3.3.3 Automaation sovellutukset pohjanvahvistuksessa.....	33
2.3.4 Sovellutukset tienrakennuksessa.....	35
3. Suunnittelu- ja koneenohjausjärjestelmien välinen tiedonsiirto .....	36
3.1 Tienrakentamisen suunnittelujärjestelmät.....	36
3.1.1 Suunnittelun lähtötietojen kerääminen.....	36
3.1.2 Tiegeometrian suunnittelu.....	37
3.1.3 Työmenetelmäsuunnittelu .....	40
3.2 Tietyömaan laadunvalvonta.....	41
3.3 XML-kuvauskieli .....	42
3.3.1 Johdanto .....	42



3.3.2	XML-kielen perusteet .....	43
3.3.3	Rakennemäärittelyt .....	43
3.3.4	Jäsentimet .....	44
3.3.5	XSL-muunnos .....	45
3.3.6	Esimerkkejä XML-kielen sovellutuksista .....	46
3.3.6.1	Iredes .....	46
3.3.6.2	LandXML .....	47
3.3.6.3	Osyris .....	48
3.4	XML-kielen soveltaminen maanrakennuskoneiden ohjauksessa .....	50
3.4.1	Rakentamisprosessin tiedonhallintajärjestelmä .....	50
3.4.2	Esitys suunnittelutiedon XML-pohjaiseksi siirtoformaatiksi .....	51
3.4.3	Esitys laatutiedon XML-pohjaiseksi siirtoformaatiksi .....	54
4.	Työmaan tietoliikennetarkaisut .....	56
4.1	Tiedonsiirtotekniikat .....	56
4.1.1	GSM/GPRS .....	56
4.1.2	WLAN .....	57
4.2	Sovellusesimerkki: Langaton tietyömaan ohjaustiedon hallinta .....	58
4.2.1	Tavoitteet .....	58
4.2.2	Järjestelmän vaatimukset .....	58
4.2.3	Toteutusympäristö .....	59
4.2.4	Päätelaitteet .....	60
4.2.4.1	Ajoneuvotietokone .....	60
4.2.4.2	Matkapuhelin .....	60
4.2.4.3	Ajoneuvovaaka .....	61
4.2.5	Ohjelmistot .....	61
4.2.6	Koeajot .....	65
4.2.6.1	Seinäjoen seutu .....	65
4.2.6.2	Rovaniemi .....	65
4.2.7	Johtopäätöksiä .....	66
4.2.7.1	GPS-matkanmittaus .....	66
4.2.7.2	GPRS-tiedonsiirto .....	67
4.2.7.3	Kuljettajien kehitysjatoksia .....	67
4.2.7.4	Ajoneuvovaaka .....	67
4.2.7.5	Web-käyttöliittymä .....	67
4.2.8	Projektin tulosten soveltaminen .....	68
4.2.9	Yhteenveto .....	70
4.2.10	Tulevaisuuden visioita .....	71
5.	Modulaariset ohjelmisto- ja laitteistoratkaisut .....	73
5.1	Laitteistokokoonpano .....	73
5.2	Rt-Linux-käyttöjärjestelmä .....	75

5.2.1	Linux-käyttöjärjestelmä .....	75
5.2.2	Reaaliaika-Linux .....	75
5.2.3	Rt-Linux-kehitys- ja ajoympäristöt .....	76
5.3	Rt-Linux-kehitysympäristö .....	76
5.3.1	Kehitysympäristön laitteistokokoonpano .....	76
5.3.2	Rt-ohjelmistojen kehitystyökalut .....	78
5.3.3	Sovellutusten siirto kehitysympäristöstä ajoympäristöön .....	78
5.4	Rt-Linux-ajoympäristö .....	79
5.4.1	Ajoympäristön laitteisto .....	79
5.4.2	Rt-Linuxin asentaminen ajoympäristöön .....	80
5.4.3	Rt-Linux-asennuksen monistaminen .....	82
5.4.4	Ajoympäristön ominaisuudet .....	82
5.5	Reaaliaikaohjelmointi Rt-Linuxilla .....	82
5.5.1	Ohjelmiston ei-reaaliaika- ja reaaliaikaosat .....	82
5.5.2	Kernel-moduulit .....	83
5.5.3	Kernel-moduulien lataaminen ja poistaminen ajosta .....	84
5.5.4	Rt-moduulien suoritus .....	84
5.5.5	Reaaliaikaohjelmiston rakenne .....	85
5.6	Graafisen käyttöliittymän toteutus .....	87
5.6.1	Graafisen käyttöliittymän toteutustekniikat .....	87
5.6.2	Graafinen käyttöliittymä Linux-ympäristössä .....	89
5.6.2.1	Grafiikan toteutus konsolitullassa .....	89
5.6.2.2	X-ikkunointijärjestelmä .....	89
5.6.2.3	Framebuffer-laitteiden tuki .....	90
5.6.3	Erillisellä ajoneuvo-pc:llä toteutettu käyttöliittymä .....	90
5.6.3.1	Etuja erillisen ajoneuvo-pc:n käytöstä .....	90
5.6.3.2	Käyttöliittymän ja Rt-ohjelman välinen tiedonsiirto .....	91
5.6.3.3	TCP/IP- ja UDP/IP-socketit .....	92
5.6.3.4	Tiedonsiirron ohjelmistototeutus .....	92
5.6.4	Selainpohjainen käyttöliittymä .....	93
5.6.4.1	Selainpohjaisen käyttöliittymän sovelluskohteita .....	93
5.6.4.2	Dynaamisten sivujen toteutus CGI-ohjelmilla .....	93
5.6.4.3	Grafiikan esittäminen selainpohjaisessa käyttöliittymässä .....	94
5.6.4.4	Sovellusesimerkki: Huoltomiehen käyttöliittymä .....	95
6.	Modulaarinen ohjaus case-koneessa .....	97
6.1	Järjestelmän kuvaus .....	97
6.2	Järjestelmän ominaisuudet .....	98
6.2.1	Käyttöliittymä .....	98
6.2.2	Rungon liikkeiden hallinta .....	99
6.2.3	Sideaineiden syötön automaattinen hallinta .....	101

6.2.4	Tietokoneohjattu nelipyöräohjaus.....	102
6.3	Järjestelmän laitteiston toteutus.....	102
6.4	Järjestelmän ohjelmistojen toteutus.....	103
6.4.1	Järjestelmään kuuluvat ohjelmistot.....	103
6.4.2	Reaaliaikaohjelman toteutus ja toiminta.....	105
6.5	Havainnot.....	107
6.5.1	Kokemuksia käytetyistä tekniikoista.....	107
7.	Yhteenveto.....	109
	Loppusanat.....	112
	Lähdeluettelo.....	113

# Symboliluettelo

AD	Analog to Digital
ATS	Advanced Tracking System
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAN	Controller Area Network
CF	Compact Flash
CGI	Common Gateway Interface
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
DA	Digital to Analog
DGPS	Differential GPS
DOM	Document Object Model
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
EDGE	Enhanced Data rates for GSM (Global) Evolution
ED-50	European Datum 50
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission (USA)
FTP	File Transfer Protocol
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying

GPL	General Public Licence
GPRS	General Packet Radio System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communication
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
Iredes	International Rock Excavation Data Exchange Standard
KKJ	Kartastokoordinaatistojärjestelmä
LAN	Local Area Network
LGPL	Lesser General Public License
NMEA0183	National Marine Electronics Association standard 0183
PC	Personal Computer
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RT	Real Time
RTK-GPS	Real Time Kinematic GPS
SA	Selective Availability
SAX	Simple API for XML
SBC	Single Board Computer
SVG	Scalable Vector Graphics
TCP/IP	Transfer Control Protocol / Internet Protocol

TCL/TK	Tool Command Language /Tool Kit
UDP/IP	User Datagram Protocol / Internet Protocol
Osyris	Open System for Road Information Support
WAP	Wireless Application Protocol
VRS	Virtual Reference Station
WGS84	World Geodetic System 1984
WLAN	Wireless Local Area Network
WWW	World Wide Web
XML	eXtensible Markup Language
XSLT	eXtensible Stylesheet Language Transformations
8-PSK	eight-Phase Shift Keying

# 1. Johdanto

Uusien teiden rakentamisessa ja vanhojen teiden korjauksessa puhutaan usein kymmenien, jopa satojen miljoonien eurojen kustannuksista. Niinpä on luonnollista, että rakentamiskustannuksissa pyritään hakemaan säästöjä. Valitettavasti säästöjä haetaan usein tinkimällä rakentamisen laadusta. Rakennusvirheiden korjaus jälkeensä on tienrakennuksessa kuitenkin erittäin kallista. Parempiin tuloksiin päästään kehittämällä rakentamisen menetelmiä ja prosesseja sellaisiksi, että pystytään tuottamaan laadukasta työjälkeä taloudellisesti ja laatueroiksi huomataan ja voidaan korjata jo rakentamisvaiheessa. Tähän päästään nostamalla tienrakentamisen automaatioastetta ottamalla käyttöön automaattisia koneohjausjärjestelmiä.

Tietotekniikan, paikannustekniikoiden, suunnittelumenetelmien ja -ohjelmistojen sekä langattomien tiedonsiirtotekniikoiden nopea kehittyminen ja yleistyminen kymmenen viime vuoden aikana on mahdollistanut entistä kehittyneempien ohjausjärjestelmien toteuttamisen. Tienrakennuksessa useat työvaiheet ovat toistuvia ja vaativat suurta tarkkuutta. Tällaisia ovat esim. tien rakennekerrosten muotoilu, tiivistys ja päällystys sekä tierakenteen vahvistuksessa käytettävät menetelmät, esim. stabilointi. Useisiin työvaiheisiin onkin kehitetty automaatiojärjestelmiä, jotka helpottavat kuljettajan työtä automatisoimalla ihmiselle vaativimpia tehtäviä. Automaatiojärjestelmien käyttöönotto on edennyt suurissa tienrakennushankkeissa, joissa järjestelmien käyttöönotosta saatavat hyödyt ovat erittäin merkittäviä. Tienrakennuksessa yksittäisten työvaiheiden automatisoinnin jälkeen seuraava askel on koko rakennusprosessin eri työvaiheiden automatisointi ja koko prosessin hallinta kokonaisuutena suunnittelusta valmistukseen ja laadunvalvontaan.

Tienrakennus perustuu tarkkoihin ennalta määriteltyihin suunnitelmiin, joiden perusteella työmaan toimintaa ohjataan. Mittaus- ja valmistustekniikkojen kehittyminen antaa mahdollisuuksia yhä korkeammille tarkkuusvaatimuksille. 3D-mittalaitteilla voidaan toteuttaa automaattisia ohjausjärjestelmiä, joissa paikkatieto yhdistetään reaaliajassa suunnittelutietoon ja tämän tuloksena ohjataan automaattisesti työkonetta. Korkeat tarkkuusvaatimukset edellyttävät ammattitaitoa ja työvaiheiden mahdollisimman pitkälle vietyä automatisointia, jolloin työn suorittajasta johtuvat satunnaiset virheet saadaan poistettua. Automatisoitu työkonetta on käyttäjälleen helpompi hallita, ja sillä saadaan aikaan tasalaatuinen työtulos. Kuljettajan osuus vaihtuu tarkkaa keskittymistä vaativasta manuaalisesta ohjaustehtävästä ohjausjärjestelmän ja mittalaitteiden hallintaan liittyviin työtehtäviin.

Suunnittelutieto luodaan nykyään lähes poikkeuksetta digitaalisessa muodossa erilaisia tehokkaita suunnitteluohjelmistoja hyväksi käyttäen. Eri valmistajien CAD-järjestelmien välillä on tiedostettu olevan yhteensopivuusongelmia, puhumattakaan tilanteesta,

jossa samaan ketjuun liitetään vielä koneenohjausjärjestelmät. Ohjelmien valmistajia on useita, ja kaikilla on käytössä oma formaatti tiedon tallentamiseen. Suunnittelijat ovat kokeneet hankalaksi siirtää tietoa eri järjestelmien välillä, ja tämän ongelman korjaamiseksi on perustettu useita riippumattomia organisaatioita, jotka pyrkivät luomaan yhteisen tiedonvälityformaatin suunnittelujärjestelmien välille. Samantyyppiseen ongelmaan törmätään mietittäessä, miten digitaalisessa muodossa oleva suunnittelutieto saadaan siirrettyä työkoneen ohjausjärjestelmään niin, että kone voi sen perusteella suorittaa työtehtävänsä.

Työvaiheiden automatisoinnin edellytyksenä teknologian kehittämisen lisäksi on työmenetelmän ja koneiden tarkka tunteminen, jolloin voidaan määrittää ohjattavat kohteet ja tiedot niiden hallintaan. Ohjausjärjestelmä tarvitsee toimiakseen tarkan tiedon siitä, miten työ tehdään. Tieto on tuotava koneelle ohjausjärjestelmän tuntemassa formaatissa, josta se osaa poimia tarvittavat piirteet työn suorittamiseksi. Kone ei osaa tulkita virheellisiä tai puutteellisia tietoja, vaan tiedon on oltava yksikäsitteisesti määriteltyä ja ohjausjärjestelmän vaatimukset täyttävää.

Tällä hetkellä eri ohjausjärjestelmien valmistajilla on jokaisella käytössä oma sovelluskohtainen tiedostomuotonsa suunnittelutiedoille, jota koneen ohjausjärjestelmä ymmärtää. Suunnittelutietoja hyödyntävien ohjausjärjestelmien yleistyessä tulevaisuudessa samalla työmaalla tulee olemaan käytössä useiden eri valmistajien järjestelmiä. Tämän takia järjestelmien väliseen yhteensopivuuteen tulee kiinnittää huomiota. Tässä projektissa on tutkittu avoimen XML-pohjaisen formaatin käyttöä digitaalisen suunnitelmatiedon ja työohjeiden esittämisessä. Automaation lisääntyessä tulee entistä ajankohtaisemmaksi standardien kehittäminen tienrakennuksen eri sovellusalueiden tarpeisiin.

Uusien teiden rakentamisen ohella jo olemassa olevan tieverkon parantamistoimet ovat potentiaalinen automaatiojärjestelmien sovelluskohde. Tieverkon parantamistoimet ovat merkittävä menoerä valtiolle. Tulevaisuuden tavoitteena on tehostaa korjausrakentamista siirtymällä entistä enemmän täsmäparantamiseen. Täsmäparantaminen perustuu tien kuntokartoitukseen, jonka avulla laaditaan parannussuunnitelma. Kuntokartoituksia tehdään nykyään jo varsin laajasti käyttäen esim. maatumittauksia. Automatisoidussa tienparannuksessa suunnittelija analysoi mittaustuloksia ja tekee suunnitelman tarkoitukseen kehitetyn ohjelmiston avulla. Suunnitelmasta generoidaan työkoneelle digitaaliset työohjeet, joita koneen automaatiojärjestelmä käyttää. Työsuorituksen edistyessä automaatiojärjestelmä generoi automaattisesti raportin, josta voidaan todeta, onko tehtävä suoritettu suunnitelman mukaisesti. Digitaalisten työohjeiden käyttöön otolla voidaan vähentää paperilla olevien suunnitelmien tulkinnasta aiheutuvia virheitä, ja automaattisella raportoinnilla voidaan vähentää laatumittauksista tulevia kustannuksia.



MODU-projektin tavoitteena oli analysoida tien rakennusprosessia ja määrittää kohteet, joihin automaatiota voidaan ja kannattaa soveltaa. Periaate on, että erilaisten ja eritasoisten automaatio-sovellutusten toteuttamisessa voidaan tämän rajatun sovellusalueen sisällä käyttää samoja menetelmiä, laitteistoja ja ohjelmistokomponentteja. Projektissa tutkittiin ja kehitettiin tienrakennuskoneiden automaatiojärjestelmiin soveltuvia ohjausmenetelmiä ja -ratkaisuja. Tutkimuksessa keskityttiin järjestelmiin, jotka hyödyntävät reaaliaikaista 3D-paikkatietoa ja suunnittelutietoa koneen toimintojen automaattisessa ohjauksessa. Projektissa kehitettiin tämäntyyppisiin koneisiin soveltuva modulaarinen ohjausjärjestelmäarkkitehtuuri, jonka ominaisuuksia ovat mm. muunneltavuus, skaalattavuus ja laajennettavuus.

## 2. Tienrakennuskoneiden automaatiojärjestelmät

### 2.1 Kehitystilanne ja valmistajia

Tienrakennuskoneet voidaan käyttötarkoituksensa mukaan jakaa karkeasti yleiskäyttöisiin koneisiin ja nimenomaan tiettyyn tarkoitukseen soveltuviin erikoiskoneisiin. Yleiskäyttöisenä koneena voidaan pitää esimerkiksi kaivinkonetta tai puskutraktoria, joita käytetään mitä erilaisimmissa työvaiheissa ja kohteissa maanrakennuksessa. Murskeenlevittimet, asfaltinlevittimet ja maaperän stabiloinnissa käytettävät koneet ovat esimerkkejä vain tiettyyn työvaiheeseen kehitetyistä erikoiskoneista. Taloudellista etua automaatiolla saavutetaan mm. työn tehostumisen, laadun parantumisen ja materiaalien säästön kautta. Riippuu suuresti itse koneesta ja työtehtävästä, mikä automatisoinnin taso on teknisesti ja taloudellisesti järkevää. Parhaisiin tuloksiin päästään työvaiheissa, jotka ovat luonteeltaan samanlaisena toistuvia. Yhteen työvaiheeseen kehitetyt erikoiskoneet soveltuvat usein parhaiten automatisoitaviksi. Yleiskäyttöisissä koneissa ohjausjärjestelmät ovat usein lisävaruste, joka tehostaa koneen käyttöä tietyssä työvaiheessa.

#### 2.1.1 Järjestelmien automaation tasot

Täysin automaattisesti ilman kuljettajaa toimivan koneenohjausjärjestelmän kehittäminen ei ole useimmissa maanrakennuksen työtehtävissä järkevää. Työtehtävän suoritusta voidaan kuitenkin huomattavasti tehostaa osittaisellakin automaation käyttöönotolla. Automaatiojärjestelmät voidaan jakaa niiden automaatioasteen mukaan eri tasoihin. Taulukossa 1 esitetään eri maanrakennuskoneiden automaatiojärjestelmien jaottelu niiden toimintojen perusteella viiteen päätasoon. Tätä yleistä jakoa voidaan tarkentaa sovelluskohtaisesti.

*Taulukko 1. Maanrakennuskoneiden automaatiojärjestelmien jaottelu automaatioasteen perusteella.*

Taso	Automaatioaste	Ominaisuudet
1	Kuljettajaa opastava	Ohjaus tapahtuu manuaalisesti järjestelmän opastamana
2	Koordinoitu ohjaus	Koneen liikkeiden ohjaus manuaalisesti karteesisessa koordinaatistossa mahdollista
3	Osittain automatisoitu	Koneen yksittäisiä työliikkeitä säädetään automaattisesti kuljettajan antaman asetusarvon mukaisesti
4	Täysin automatisoitu	Koneen työliikkeitä säädetään automaattisesti kuljettajan valvonnassa
5	Autonominen järjestelmä	Automaattinen työsuoritus ilman kuljettajaa

1. Kuljettajaa opastavat järjestelmät ovat koneeseen liitettäviä mittausjärjestelmiä, jotka helpottavat kuljettajan työtä opastamalla kuljettajaa esim. merkkivalojen tai graafisen näytön avulla. Kuljettaja suorittaa koneen toimilaitteiden ohjauksen manuaalisesti. Kuljettajaa opastavista järjestelmistä hyvä esimerkki ovat erilaiset kaivinkoneiden kaivussyvyyden näyttölaitteet.
2. Koordinoidulla käsiohjauksella tarkoitetaan järjestelmää, jossa koneen työkalua voidaan hallita manuaalisesti karteesisessa koordinaatistossa. Erotuksena tavalliseen manuaaliseen ohjaukseen kuljettaja ei ohjaa yksittäisiä koneen toimilaitteita vaan suoraan koneen työkalun liikkeitä. Koneen automaatiojärjestelmä ohjaa koneen yksittäisiä toimilaitteita automaattisesti. Menetelmällä voidaan helpottaa huomattavasti koneen liikkeiden manuaalista ohjausta. Menetelmää on sovellettu mm. tiehöylän terän hallintaan.
3. Osittain automatisoiduissa järjestelmissä työkoneen yksittäisiä liikkeitä on automatisoitu kuljettajan huolehtiessa osasta työliikkeitä manuaalisesti. Asetusarvojen asetus ja muuttaminen työsuorituksen aikana tapahtuu kuljettajan toimesta ja automaatiojärjestelmä pyrkii pitämään automaattisesti hallittavan liikkeen kuljettajan asettamassa asetusarvossa. Tyypillinen esimerkki tämäntyyppisestä järjestelmästä on tiehöylän kallistusautomaatiikka, jossa järjestelmä pitää tiehöylän terän automaattisesti kuljettajan asettamassa asetusarvossa.
4. Täysin automatisoidussa järjestelmässä koneen työliikkeet on automatisoitu niin, ettei kuljettajan tarvitse puuttua niiden suoritukseen järjestelmän toimiessa normaalisti. Kuljettajan päätehtävät ovat työkoneen ajaminen, automaatiojärjestelmän toiminnan valvominen ja manuaalinen ohjaus erikoistilanteissa. Esimerkki tämäntyyppisestä järjestelmästä on tiehöylän 3D-ohjaus, jossa tiehöylän teränhallinta suoritetaan automaattisesti reaaliaikaisen paikannuksen ja CAD-suunnitelman perusteella.
5. Autonominen järjestelmä on ilman kuljettajaa toimiva järjestelmä, joka aistii ympäristöään ja osaa suoriutua sille annetuista tehtävistä itsenäisestä muuttuvissa olosuhteissa. Järjestelmiä ei ole toistaiseksi markkinoilla, vaikka erilaisia järjestelmiä onkin kokeiltu tutkimusprojekteissa. Esimerkkejä tämäntyyppisistä sovellutuksista on mm. kuorma-autojen automaattinen lastaus kaivinkoneella. Toistaiseksi ihmisen korvaaminen automaatiojärjestelmällä tavallisimmissa maanrakentamisen työvaiheissa ei ole teknisesti ja taloudellisesti järkevää.

## 2.1.2 Yleisimmät mittaustekniikat

Tienrakennuksessa automaatiojärjestelmien tärkeä sovelluskohde on tien eri rakennekerrosten materiaalin levitys ja muotoilu. Tässä työssä tärkeitä parametreja ovat rakennekerroksen oikea paikka, korkeustaso ja kallistukset sekä rakennekerroksen paksuus. Em. parametrien automaattinen säätö perustuu työkonene työkalun paikan ja asennon mittaamiseen. Näissä mittaustehtävissä käytetään useita eritasoisia anturi- ja paikannusratkaisuja.

Korkeuden mittaamenetelmät voidaan jakaa absoluuttiseen ja suhteelliseen mittaukseen. Absoluuttisessa mittauksessa mittalaitteella määritetään koneen työkalun absoluuttinen korkeus työmaan koordinaatistossa. Suhteellisessa mittauksessa määritetään koneen työkalun korkeus suhteessa ulkoiseen referenssitason. Referenssitasona voi toimia esim. vanha tien pinta ja työmaalle langalla merkitty referenssitaso. Asennon mittauksessa käytetään tavallisesti kallistusantureita, joilla voidaan mitata absoluuttinen kallistus horisontin suhteen. Taulukossa 2 esitetään ohjausjärjestelmien yleinen jaottelu eri tasoihin käytettävien mittaustekniikoiden perusteella.

*Taulukko 2. Ohjausjärjestelmien jaottelu mittauseriaatteen perusteella.*

Taso	Dim.	x-y	z	Kuvaus	Mittaustekniikka
1	1D	-	-	Korkeuden mittaus koneen sisäisessä koordinaatistossa	Toimilaitteiden paikka-anturit
2	1D	-	R	Korkeuden mittaus ulkoisesta referenssitasosta, esim. tien pinnasta	Etäisyysanturit (esim. ultraääni-anturit)
3	1D	-	A	Absoluuttisen korkeuden mittaus työmaan koordinaatistossa	Lasertaso
4	2D	A	-	Absoluuttinen x,y-paikan mittaus työmaan koordinaatistossa	GPS tai DGPS
5	3D	A	A	Absoluuttisen x,y,z-paikan mittaus työmaan koordinaatistossa	RTK-GPS- tai ATS-takymetri

*R = Suhteellinen mittaus käytettävästä referenssitasosta, esim. tien pinnasta*

*A = Absoluuttinen mittaus työmaan koordinaatistossa*

1. Korkeuden mittaus koneen sisäisessä koordinaatistossa on tavallisesti toteutettu koneen toimilaitteiden aseman mittauksella. Toimilaitteiden aseman perusteella voidaan määrittää koneen työkalun paikka ja asento koneen koordinaatistossa eli työkalun paikka ja asento koneen rungon suhteen.

2. Korkeuden mittauksessa käyttäen ulkoista referenssitason mitataan tavallisesti työkalun etäisyyttä joko tien pinnasta tai asetetusta langasta. Käytettäessä referenssitasona tien pintaa, tavallinen mittausmenetelmä on ns. ohjainsuksen käyttö. Ohjainsuksi voi olla tietä laahaava, jolloin sen korkeutta mitataan paikka-antureilla. Vaihtoehtoisesti ohjainsuksi voi olla toteutettu kosketuksettomasti ultraääniantureilla tai laserskannerilla. Tämän tyyppiset ratkaisut ovat tavallisia asfaltinlevittimissä ja jyrsimissä. Asetettua lankaa käytetään referenssitasona betoniteiden rakentamisessa käytettävissä valukoneissa.
3. Absoluuttisessa korkeuden mittauksessa työkalun korkeus, eli z-koordinaatti, mitataan absoluuttisesti työmaan koordinaatiston suhteen. Tavallisin käytössä oleva tekniikka on lasertasomittaus. Tässä menetelmässä lasertaso asetetaan tunnetulle korkeudelle, jolloin lasertason suhteen voidaan mitata koneen työkalun absoluuttinen korkeus. Tyypillisiä sovelluskohteita ovat tiehöylän terän ohjaus ja kaivinkoneiden kaivusvyöden mittalaitteet.
4. 2D-paikannus tarkoittaa koneen absoluuttisten x- ja y-koordinaattien mittausta työmaan koordinaatistossa. X,y-paikannus voidaan toteuttaa edullisella GPS-satelliittipaikannuslaitteella. Tämän tyyppisiä sovellutuksia ovat esim. tiedonkeruu- ja navigointisovellukset. DGPS-tekniikka mahdollistaa suuremman tarkkuuden. Sovelluskohteita on esim. tiivistämiskertojen automaattinen laskeminen täryjyrällä tapahtuvassa asfaltin tiivistämisessä.
5. 3D-paikannus tarkoittaa koneen absoluuttisten x-, y- ja z-koordinaattien mittausta työmaan koordinaatistossa. 3D-paikannus voidaan toteuttaa tähän tarkoitukseen suunnitelluilla erikoismittalaitteilla, joita ovat esim. RTK-GPS-laitteet ja ATS-takymetri. Sovellutuksia ovat 3D-malleja hyväksi käyttävät ohjausjärjestelmät, esim. tiehöylän, puskutraktorin, asfaltinlevittimen ja kaivinkoneen ohjausjärjestelmät. Usein 3D-paikannuksen lisäksi on tarpeen määrittää koneen asento eli rotaatiot x-, y- ja z-akselien suhteen. x- ja y-akselien suhteen rotaatiot voidaan mitata kallistusantureilla. Rotaatio z-akselin suhteen voidaan liikkuvilla koneilla mitata peräkäisistä paikan mittauksista lasketun suuntavektorin perusteella. Paikallaan pysyvillä koneilla, esim. kaivinkonealustaisilla koneilla, rotaatio z-akselin suhteen voidaan mitata kahdella antennilla varustetulla RTK-GPS-laitteella.

Useissa sovellutuksissa käytetään useamman taulukossa 2 esitetyn mittausmenetelmän yhdistelmiä, esim. GPS-laitteella tapahtuvaan x,y-paikannukseen voidaan yhdistetään ultraääniantureihin perustuva suhteellinen korkeuden mittaus ja kallistusantureilla toteutettu asennon mittaus. Yksinkertaisimmissa järjestelmissä asetusrvojen, kuten kallistuksen, korkeuden tai kerrospaksuuden, asettaminen tapahtuu kuljettajan toimesta. Lasertaso- ja ultraääniantureita käytettäessä ongelmaksi muodostuvat geometrialtaan monimutkaiset tien osat, esim. kallistuksen muutoskohtia sisältävät rampit.

Paikannusteknologian kehittyminen ja paikannuslaitteiden hintojen laskeminen mahdollisti 1990-luvulla reaaliaikaiseen 3D-mittaukseen perustuvien ohjausjärjestelmien tulehmissen markkinoille. 3D-ohjausjärjestelmät perustuvat koneen työkalun, esim. terän, reaaliaikaiseen paikantamiseen ja mitatun paikan vertaamiseen reaaliajassa suunnittelu-tietoon. 3D-ohjausjärjestelmillä monimutkaisetkin tiegeometriat voidaan tehdä ilman ongelmia. Paikannuslaitteena käytetään tavallisesti koneenohjaukseen tarkoitettua ATS-takymetriä tai RTK-GPS-laitteita. 3D-ohjausjärjestelmiä on kehitetty mm. tiehöylään, puskutraktoriin, kaivinkoneeseen, asfaltinlevittimeen ja päällysteiden jyrksinnässä käytetäviin koneisiin. (Heikkilä & Jaakkola 2002)

### 2.1.3 Ohjainlaitteet ja anturiliitännät

Yksinkertaisimpien markkinoilla olevien järjestelmien ohjainlaitteena käytetään tavallisesti mikrokontrollereita tai ohjelmoitavia logiikoita. Tämäntyyppiset järjestelmät ovat suljettuja ns. sulautettuja järjestelmiä. Monimutkaisempien järjestelmien, esim. 3D-ohjausjärjestelmien, toteutus näillä tekniikoilla on hankalaa. Rajoittavia tekijöitä ovat mm. mikrokontrollerien vaatimaton laskentateho, keskusmuistin määrä, tiedon käsittely- ja tallennuskapasiteetti sekä puutteelliset liitännät ja yhteensopivuus muiden järjestelmien kanssa.

PC-tekniikka on yleistynyt viime vuosina teollisuuden ohjaus- ja säätösovellutuksissa. Tämä johtuu PC-tekniikan hinnan laskusta ja PC-pohjaisten laitteiden monipuolisista ominaisuuksista, esim. joustavuudesta, laskentatehosta ja helposta ohjelmoitavuudesta. PC-pohjaisilla järjestelmillä voidaan toteuttaa ratkaisuja, joiden toteuttaminen sulautetuilla järjestelmillä on erittäin hankalaa. Yhdelle kortille integroitu pc, ns. SBC (Single Board Computer), on eräänlainen pc-laitteen ja sulautetun järjestelmän välimuoto. Saatavilla on myös valmiita ajoneuvo-pc-ratkaisuja, jotka on suunniteltu kestämaan vaativassa työkonetyössä, esim. metsäkoneissa.

3D-ohjauksessa ohjausjärjestelmän täytyy reaaliaikaisesti vastaanottaa paikannuslaitteelta tulevaa mittaustietoa, käsitellä 3D-tiemalleja ja paikkatietoa ja päivittää tietoja graafiseen käyttöliittymään. Lisäksi ohjausjärjestelmältä vaaditaan yhteensopivuutta suunnittelujärjestelmien kanssa. Näiden syiden takia lähes kaikissa 3D-ohjausjärjestelmissä käytetään pc-tekniikkaa paikannus- ja vertailulaskennan toteuttamiseen sekä käyttöliittymätoimintoihin. Varsinainen toimilaitteiden hallinta voi olla silti toteutettu sulautetulla järjestelmällä, joka on yhdistetty pc-tietokoneeseen tavallisesti joko sarjakaapelilla tai väylällä, esim. CAN-väylällä. Tämä ratkaisu on yleinen esimerkiksi tiehöylän 3D-ohjausjärjestelmissä. Täysin pc-pohjaisissa järjestelmissä ei käytetä erillistä sulautettua laitetta toimilaitteiden hallintaa.

Pc-pohjaisissa järjestelmissä käytetään käyttöjärjestelmänä yleisesti sekä Windows- että Linux-käyttöjärjestelmiä. Windows-pohjaisten laitteiden etu on, että niillä voi tavallisesti ajaa myös muita Windows-ohjelmia. Yleisesti käytettyjä käyttöjärjestelmiä ovat Windows NT, XP ja CE sekä NT:n ja XP:n Embedded-versiot. Windows-käyttöjärjestelmään on saatavilla myös reaaliaikalaajennuksia, esim. TenAsysin InTime-reaaliaikalaajennus, jolloin niillä voidaan toteuttaa myös kovaa reaaliaikaa vaativia ohjaus- ja säätösovellutuksia. Windowsin reaaliaikalaajennusten huonoja puolia ovat kalit lisenssit.

Linux-käyttöjärjestelmän käyttö ohjaus- ja säätösovellutuksissa on yleistynyt, koska Linuxin laitteistovaatimukset ovat Windows-järjestelmiä pienemmät ja Linux on saatavilla useille laitteistokokoonpanoille. Linux-käyttöjärjestelmä on edullinen hankkia, ja siihen on saatavissa myös reaaliaikaominaisuuksilla varustettu versio. Linux-pohjaiset järjestelmät perustuvat tavallisesti Linux-käyttöjärjestelmän Embedded-versioihin. Esimerkiksi Svensk Byggnadsgeodesi AB:n kehittämä GeoROG on Linux-käyttöjärjestelmän ja pc-tekniikkaan perustuva lisälaitte, jolla 3D-ohjaus voidaan toteuttaa. Linux-pohjaisia ohjain-pc-ratkaisuja tarjoaa mm. suomalainen Axiomatic Technologies Oy, jonka ohjain-pc:llä on toteutettu mm. Unisto Oy:n markkinoima kaivinkoneen kaivusvyöden näyttö ja teräspaalujen asennukseen tarkoitettu lisälaitte.

Anturi- ja toimilaiteliitännöissä käytetään yleisesti sekä analogia- ja virtaviestejä että väyläpohjaisia järjestelmiä. CAN-väylän (Controller Area Network) käyttö on työkonekäytössä yleistä, ja useimmat ohjausjärjestelmät käyttävät CAN-pohjaista tiedonsiirtoa. Väyläpohjaisten järjestelmien etuna on vähentynyt kaapeloinnin tarve. Haittapuolia on antureihin integroitavan elektroniikan määrän lisääntyminen. CAN-väylästä on olemassa useita standardeja. Yleisimpiä ovat CANOpen, DeviceNet ja J1939. Eri standardeista johtuen CAN-laitteet eivät ole välttämättä keskenään yhteensopivia. Mittalaitteissa, esim. servotakymetreissä ja RTK-GPS-laitteissa, RS-232 pitää edelleen pintansa standardiliitännänä, joskin Trimble on tuonut markkinoilla myös Bluetooth-yhteydellä varustettuja mittalaitteita.

#### **2.1.4 Automaatiojärjestelmien valmistajia**

Markkinoilla olevat ohjausjärjestelmät ovat pääosin jälkikäteen hankittavia ja asennettavia lisävarusteita. Maanrakennuskoneiden valmistajat ovat ottaneet automaatiotekniikkaa nihkeästi käyttöön omista tuotteistaan. Markkinoilla onkin useita nimenomaan koneenohjausjärjestelmien kehittämiseen keskittyneitä yrityksiä. Suurimpia 3D-paikannusjärjestelmien valmistajia ovat amerikkalaiset Trimble ja Topcon sekä sveitsiläinen Leica, jotka valmistavat ja markkinoivat myös omaan paikannusteknologiaansa perustuvia 3D-ohjausjärjestelmiä.

Lisäksi useat pienemmät yritykset tekevät yhteistyötä paikannuslaitevalmistajien kanssa. Esimerkiksi saksalainen Moba AG tekee ohjausjärjestelmiä yhteistyössä Leican kanssa. Maininnan arvoinen on myös useisiin eri tienrakennuskoneisiin ohjausjärjestelmiä valmistava ranskalainen D&P Systems, jonka tuotevalikoimaan kuuluu tiehöylän ohjausjärjestelmän lisäksi useisiin muihin tietyökoneisiin kehitettyjä osaksi pitkällekin automatisoituja ohjausjärjestelmiä. Ruotsalainen Svensk Byggnadsgeodesi AB on tuoteistanut lisävarusteena eri koneenohjausjärjestelmiin liitettävän GeoROG 3D-mittausmoduulin. Mittausmoduuli on liitettävissä eri valmistajien koneenohjausjärjestelmiin, ja sitä voi käyttää yleisimpien ATS-takymetriin ja GPS-laitteiden kanssa. Sovellutuksia ovat mm. tiehöylän, puskutraktorin, kaivinkoneen, asfaltinlevittimen ja asfaltinjyrsimien 3D-ohjaus. (D&PS 2001)

Edellä mainittujen lisäksi ohjausjärjestelmiä on kaupallisesti tarjolla myös muutamalta suomalaiselta valmistajalta. Tiehöyliin ohjausjärjestelmiä tarjoavat Createc Oy ja Roadsys Oy. Kaivinkoneiden lisälaitteita valmistavat Suomessa Novatron Oy, Unisto Oy ja Ideachip Oy. Taulukoiden 3 ja 4 tiedot on kerätty valmistajien esitteistä ja www-sivuilta.

*Taulukko 3. Tienrakennuksessa käytettävien koneiden ohjausjärjestelmien valmistajia.*

<b>Valmistaja</b>	<b>Valmistusmaa</b>	<b>Tiehöylä</b>	<b>Puskutraktori</b>	<b>Kaivinkone</b>	<b>Asfaltinlevitin</b>	<b>Asfaltinjyrsin</b>
Trimble inc.	USA	3D	3D	3D	1D	1D
Topcon inc.	USA	3D	3D	3D	1D	1D
Leica Geosystems AG / Laser Alignment / Moba Mobilautomation GmbH	Sveitsi/USA /Saksa	3D	3D	-	3D	3D
Svensk Byggnadsgeodesi AB	Ruotsi	3D	3D	3D	3D	3D
Createc Oy	Suomi	3D	-	-	-	-
Roadsys Oy	Suomi	3D	-	-	-	-
Joseph Vöegele AG /Wirtgen Group	Saksa	-	-	-	3D	-
D&P Systems SARL	Ranska	3D	3D	-	3D	3D
Mikrofynd A/S	Tanska	3D	3D	1D	-	3D
Apache Technologies inc.	USA	-	1D	1D	-	-
Novatron Oy	Suomi	-	-	1D	-	-
Unisto Oy	Suomi	-	-	1D	-	-
Spring Machine Control	Italia	-	-	1D	-	-

*1D = Lasertaso- tai ultraääniantureihin perustuva järjestelmä*

*3D = 3D paikannuksella varustettu järjestelmä*



*Taulukko 4. Muita ohjausjärjestelmiä ja niiden valmistajia.*

<b>Yritys</b>	<b>Valmistusmaa</b>	<b>Tuote</b>
Ideachip Oy	Suomi	ALLU-stabilointilaitteisto kaivinkoneeseen
Unisto Oy	Suomi	MOVAX-teräspaalujen asennuksen lisälaite kaivinkoneeseen

## **2.2 Paikannusteknologia**

### **2.2.1 ATS-takymetri**

Takymetri on maanmittauksessa käytettävä optinen mittalaite, jolla voidaan mitata kohteeseen viedyn prisman x-, y- ja z-koordinaatit työmaan koordinaatistossa. Ennen mittausta takymetri orientoidaan työmaan koordinaatistoon maastoon merkittyjen kiintopisteiden avulla. Mitattaessa takymetri suunnataan prismaan. Mittaus perustuu laserillä tapahtuvaan etäisyyden mittaukseen sekä laitteen sisäisillä kulma-antureilta saataviin vaaka- ja pystysuuntaisiin suuntakulmiin. Kun takymetrin paikka on tunnettu, voidaan etäisyyden ja mitattujen kulmien perusteella laskea prisman x-,y- ja z-koordinaatit. Koneenohjaussovellutuksissa käytetään automaattisia ns. ATS-takymetrejä (Advanced Tracking System). Nämä laitteet on varustettu prisman automaattisella seurannalla, jolloin ne voivat seurata ja mitata liikkuvan prisman paikkaa automaattisesti useita kertoja sekunnissa. Koneenohjaussovellutuksissa laitteet on varustettu radiomodeemilla, jonka avulla mittauksiedot välitetään työkoneeseen asennetulle koneenohjausjärjestelmälle. Kuvassa 1 on ATS-takymetrillä varustettu tiehöylän 3D-ohjausjärjestelmä käytössä Kemi-Tornio- moottoritietä työmaalla.



*Kuva 1. Tiehöylän 3D-ohjausjärjestelmä Kemi–Tornio-moottoritietä työmaalla (kuva VTT).*

Koneenohjaussovellutuksissa ATS-takymetri on tällä hetkellä yleisimmin käytetty 3D-mittalaite. Ensimmäiset ATS-takymetrit tulivat markkinoille jo vuonna 1990 (Spectra Precision AB:n valmistama Geodimeter 400 -sarja). Nykyään ATS-takymetrejä valmistavat mm. Leica, Trimble, Topcon ja Sokkia. ATS-takymetriensä hyviä puolia koneenohjaussovellutuksissa ovat niiden tarkkuus ja luotettavuus. Lisäksi mittausvirheiden toteaminen on helpompaa verrattuna GPS-tekniikkaan. Huonoja puolia on, että optisesta mittausmenetelmästä johtuen tarvitaan esteetön näkyvyys prisman ja mittalaitteen välillä ja laitteen maksimi mittausetäisyys on käytännössä n. 200 m. Tämä asettaa rajoituksia mittalaitteen sijoittamiseen työmaalle. Mittalaitetta joudutaan siirtämään työn edistytessä, joten työmaan kiintopisteverkkoa joudutaan tämän takia tihentämään. Lisäksi esimerkiksi työmaaliikenteestä aiheutuvat näköesteet keskeyttävät mittalaitteen toiminnan. Tilapäisten näköesteiden varalta mittalaitteet on varustettu automaattisella prisman uudelleen haulla. Taulukossa 5 on esitetty koneenohjaussovellutuksiin tarkoitettun Trimble 5600 ATS- takymetrin teknisiä tietoja.

*Taulukko 5. Valmistaja ilmoittamia teknisiä tietoja Trimble 5600 -ATS-takymetrille. (Trimble 2002)*

Maksimi mittausetäisyys	700 m
Lyhin mittausetäisyys	15 m
Maksimi liikkuvan prisman nopeus	Aksiaalinen nopeus 6 m/s Kulmanopeus 23 °/s
Maksimi mittataustaajuus	6 Hz
Mittausten latenssi (mukaan lukien radiomodeemin viive )	183 ms
Paikannustarkkuus vakionopeudella 1 m/s liikkuvalle kohteelle	Vaakasuunta 2 mm + 14 ppm Pystysuunta 2 mm + 14 ppm
Prisman uudelleenhakuun menevä aika (riippuu hakuikkunan koosta)	<10 s

### 2.2.2 GPS

GPS (Global Positioning System) on Yhdysvaltojen puolustusministeriön alun perin sotilastarkoituksiin kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä. Vastaava järjestelmä on venäläinen GLONAS-järjestelmä. Euroopassa suunnitellaan omaa GALILEO-satelliittipaikannusjärjestelmää, jonka pitäisi valmistua vuoteen 2008 mennessä. GALILEO-järjestelmä on suunnattu pääasiassa siviilikäyttöön.

GPS-järjestelmä perustuu maata kiertäviin satelliitteihin, jotka lähettävät maahan radio-signaalia. Radiosignaali voidaan vastaanottaa GPS-vastaanottimella. Signaali sisältää satelliitin senhetkisen sijainnin ja signaalin lähetysajan. Lähetysajan perusteella voidaan

määrittää signaalin kulku-aika satelliitista vastaanottimeen. Koska radiosignaalin nopeus on lähes sama kuin valon nopeus, voidaan kulkuajan perusteella laskea satelliitin ja GPS-vastaanottimen välinen etäisyys, ns. vale-etäisyys. Kun on määritelty GPS-vastaanottimen vale-etäisyys neljään eri satelliittiin, voidaan laskea vastaanottimen x-, y- ja z-koordinaatit. (Henttu & Lehtoranta 1993, Tielaitos 1991)

Satelliittien radiosignaalin lähetyksessä käytetään kahta taajuutta, L1 (1575 MHz) ja L2 (1227 MHz). Kantaaltoon on vaihemoduloitu kahta eri binäärikoodia. Toinen näistä koodista on tarkkuudeltaan karkeampi siviilikäyttöön tarkoitettu C/A-koodi ja toinen on sotilaskäyttöön tarkoitettu P-koodi. C/A-koodia lähetetään vain taajuudella L1. P-koodia lähetetään sekä taajuudella L1 että L2. Yhdysvaltain puolustusministeriö voi halutessaan tahallisesti huonontaa C/A-koodin tarkkuutta. Tästä käytetään nimitystä SA eli Selective Availability. Koska GPS-laitteet ovat laajasti käytössä esim. siviili-ilmailussa ja merenkulussa, Yhdysvallat päätti vuonna 2000 lopettaa toistaiseksi siviilikäyttöön tarkoitettua GPS-signaalin tahallisen huonontamisen. Nykyään edullisilla käsikäyttöisillä GPS-laitteilla päästään hyvissä olosuhteissa jopa muutaman metrin tarkkuuteen. Tämä tarkkuus ei kuitenkaan ole riittävä moniin koneenohjaussovelluksiin.

GPS-laitteiden tarkkuutta voidaan huomattavasti parantaa käyttämällä tunnetulle pisteelle sijoitettua referenssivastaanotinta. Referenssivastaanottimen mittauksen perusteella voidaan määrittää paikanmittauksen virheet ja ottaa nämä huomioon mittauksissa. Tätä menetelmää kutsutaan differentiaaliseksi GPS-paikoitukseksi, lyhemmin DGPS. Menetelmällä päästään parhaimmillaan kymmenien senttimetrin tarkkuuteen. Korjaussignaalia DGPS-laitteelle lähettää Suomessa Digita Oy, jonka palvelu kattaa koko Suomen. Rannikkoalueilla voidaan käyttää Merenkululaitoksen tukiasemien lähettämää korjaussignaalia.

Koneenohjauksessa mittaustarkkuuden lisäksi tärkeä ratkaiseva seikka on mittauksen reaaliaikaisuus ja mittaustaajuus. Liikkuvien kohteiden paikannukseen on viime aikoina tullut RTK-GPS-laitteita (Real Time Kinematics), joilla päästään 10 Hz:n mittaustaajuuteen ja jopa kahden senttimetrin tarkkuuteen. Joihinkin laitteisiin voidaan liittää useita GPS-antenneja, jolloin myös koneen asennon mittaus on mahdollista. Taulukossa 6 on esitetty Leican valmistaman koneenohjaussovellutuksiin tarkoitettua MC500 RTK-GPS-vastaanottimen teknisiä tietoja.

RTK-GPS-mittaus tarvitsee tunnetulle pisteelle asetettua korjaussignaalia lähettävän tukiaseman. Tukiaseman ja GPS-laitteen välinen etäisyys saa olla maksimissaan 20–30 km. Suomessa Geotrim Oy on rakentanut kiinteän GPS-tukiasemaverkon, jota käyttäen oman erillisen tukiaseman pystyttäminen ei ole välttämätöntä. Ns. virtuaaliturkiasemaverkko (VSR, Virtual Reference Station) muodostuu kiinteistä GPS-tukiasemista. Verkkoa ohjaa laskentakeskus, johon kaikki verkon tukiasemat on liitetty.

Mitattaessa VRS-järjestelmän laskentakeskus laskee käyttäjälle aivan hänen viereensä oman laskennallisen tukiaseman, virtuaalitukiaseman. Yhteydenpito mittaavan GPS-vastaanottimen ja laskentakeskuksen välillä tapahtuu GSM-verkon välityksellä. VRS-järjestelmä toimii tällä hetkellä Etelä-Suomessa, mutta sen on tarkoitus laajentua koko Suomen kattavaksi vuoden 2005 aikana.

*Taulukko 6. Valmistajan ilmoittamia Leica MC500 -RTK-GPS-laitteen teknisiä ominaisuuksia.*

Alustukseen menevä aika	Tyypillisesti n. 10 s (näkyvyys 5 satelliittiin ja taajuuksien L1 ja L2 vastaanotto)
Mittaustarkkuus RTK-moodissa	Vaakasuunta 1 cm + 1 ppm Korkeussuunta 1 cm + 2 ppm
Mittaustarkkuus DGPS-moodissa	Vaakasuunta 30 cm + 2 ppm Korkeussuunta 60 cm + 2 ppm
Mittaustaajuus	10 Hz
Mittausten latenssi	50 ms

Tarkkojen GPS-laitteiden hinnan laskiessa niitä voidaan pitää hyvänä vaihtoehtona työkonoiden automaattiseen ohjaukseen sovellutuksissa, joissa n. 2 cm:n tarkkuus on riittävä. Tällaisia sovellutuksia ovat esim. materiaalien muotoilu kaivinkoneella tai pusku-traktorilla.

GPS-järjestelmän etuja on, että se on käytettävissä ympäri vuorokauden sääoloista riippumatta joka puolella maapalloa. ATS-takymetriin verrattuna GPS-laitteen etuna on, että ei tarvita mittalaitteen pystytystä ja siirtoa työn edistyessä. Ongelmia aiheuttavat järjestelmän mittaustarkkuuden vaihtelevuus mm. satelliittien aseman, ilmakehässä tapahtuvien muutosten ja C/A-koodin tarkkuuden heikentämisen takia. Järjestelmä vaatii esteettömän näkyvyyden satelliitteihin, joten siltojen, rakennusten tai tunneleiden aiheuttamat katveet estävät järjestelmän toiminnan.

GPS-laitteilla mittaus tapahtuu WGS84-koordinaatistosysteemissä. Tämä eroaa Suomessa käytössä olevasta KKJ- eli kartastokoordinaatistojärjestelmästä. KKJ-järjestelmä perustuu eurooppalaiseen ED-50-järjestelmään. Myös tarvittavat muunnokset eri koordinaatistojen välillä voivat aiheuttaa virheitä. GPS-laitteiden liittäminen osaksi koneenohjauksjärjestelmää on suoraviivaista, koska GPS-laitteet tukevat NMEA0183-standardin mukaista merkkipohjaista tiedonsiirtoa sarjakaapelilla. Lisäksi käytössä on tehokkaampaa tiedonsiirtoa varten valmistajakohtaisia binäärisiä tiedonsiirtoformaatteja. (Ollikainen 1993)

### 2.2.3 Paikannusteknologian valinta

Paikannusteknologian valintaan vaikuttavat ensisijaisesti sovellutuksen tarkkuusvaatimukset, mittausmenetelmän soveltuvuus käyttötarkoitukseen ja mittalaitteen hinta. Taulukossa 7 on esitetty eri paikannustekniikoiden tarkkuudet ja laitteiden hintaluokka. Koneiden paikannustarpeet työmaalla voidaan jakaa karkeasti 2D- ja 3D-paikannukseen. 3D-paikannuksessa käytettävät laitteet ovat huomattavasti 2D-paikannukseen käytettäviä laitteita kalliimpia. Taulukossa 8 on yhteenveto eri paikannustekniikoiden hyvistä ja huonoista puolista sekä niiden mahdollisista sovelluskohteista.

*Taulukko 7. Eri paikannustekniikoiden tarkkuus ja laitteiden hintaluokka.*

<b>Vaadittava paikannustarkkuus</b>	<b>Paikannustekniikka</b>	<b>Paikannuslaitteen hinta</b>
< 10 m 2D	GPS	300 €
< 1 m 2D	DGPS	5000 € – 10000 €
< 5 cm 3D	RTK-GPS	35 000 € – 50 000 € *)
< 5 mm 3D	ATS-takymetri	30 000 € – 45 000 €

*\*) RTK-GPS-mittauksissa tarvitaan tavallisesti kaksi GPS-laitetta, joista toinen toimii tukiasemana ja lähettää korjaussignaalia. Yhtä tukiasemaa voi käyttää useampi RTK-GPS-laite. Tukiasemaan ei välttämättä tarvita virtuaalitukiasemaverkon toiminta-alueella.*

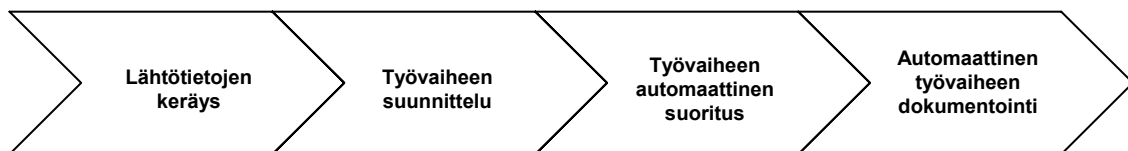
Taulukko 8. Paikannustekniikoiden ominaisuuksien vertailu.

<b>GPS</b>	
Edut	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ edullinen hinta suhteessa tarkkuuteen</li> <li>▪ useita valmistajia ja laitteiden saatavuus hyvä</li> <li>▪ helppo käyttää</li> </ul>
Huonot puolet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ vaatimaton tarkkuus koneenohjaukseen</li> </ul>
Sovelluskohde	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ navigointi ja tiedonkeruu</li> </ul>
<b>DGPS</b>	
Edut	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kohtuullinen hinta suhteessa tarkkuuteen</li> <li>▪ hyvä x-y-paikannustarkkuus hyvissä olosuhteissa</li> </ul>
Huonot puolet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ riittämätön z-paikannustarkkuus</li> <li>▪ paikannustarkkuus vaihtelee</li> </ul>
Sovelluskohde	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ opastus ja tiedonkeruu</li> <li>▪ sovellutukset, joissa ei tarvita korkeustietoa</li> </ul>
<b>RTK-GPS</b>	
Edut	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ muutaman senttimetrin x-y-z-paikannustarkkuus hyvä hyvissä olosuhteissa</li> <li>▪ laaja käyttöalue, n. 30 km tukiasemasta</li> <li>▪ ei vaadi työmaalle tiheää tukipisteverkkoa</li> <li>▪ samaa tukiasemaa voi käyttää useita koneita</li> <li>▪ myös asennon mittaus mahdollista moniantennisella vastaanottimella</li> </ul>
Huonot puolet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kallis mittalaite, käytännössä vain erikoissovellutuksiin</li> <li>▪ vaatii tukiaseman tai virtuaalitukiasemaverkon tarkkaan paikannukseen</li> <li>▪ rakennukset, sillat ja tunnelit yms. katveet estävät toiminnan</li> <li>▪ paikannustarkkuus vaihtelee</li> <li>▪ uusi tekniikka, toimivuudesta ei ole vielä paljon kokemuksia</li> </ul>
Sovelluskohde	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ karkea materiaalien levitys ja muotoilu</li> <li>▪ vanhojen teiden korjausrakentaminen, jos ei ole kiintopisteverkkoa</li> </ul>
<b>ATS-takymetri</b>	
Edut	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ luotettava kauan käytössä ollut tekniikka</li> <li>▪ hyvä tarkkuus, jopa millimetrien x-,y-,z-paikannustarkkuus</li> <li>▪ mittauksen virheet helppo havaita</li> </ul>
Huonot puolet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kallis mittalaite, käytännössä vain erikoissovellutuksiin</li> <li>▪ lyhyen toimintasäteen takia, tavallisesti n. 200 m, tarvitaan kojeen siirtoja työn edistyessä</li> <li>▪ vaatii näköyhteyden mittalaitteen ja työkoneeseen kiinnitetyn prisman välillä, työmaaliikenne ja näköesteet työmailla ongelma</li> <li>▪ kojeen asemointia varten vaaditaan tiheä kiintopisteverkko ja hyvä näkyvyys kiintopisteisiin</li> </ul>
Sovelluskohde	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tarkka materiaalien muotoilu</li> <li>▪ uusien teiden rakennus, jolloin kiintopisteverkko tavallisesti olemassa</li> </ul>

## 2.3 Suunnitelma- ja paikkatietoa hyödyntävät ohjausjärjestelmät

### 2.3.1 Periaate

Tienrakennus perustuu maastossa suoritettaviin mittauksiin sekä näiden lähtötietojen perusteella laadittuihin suunnitelmiin. Digitaalisessa muodossa olevaa suunnittelutietoa voidaan käyttää työkoneen toimintojen automaattiseen ohjaamiseen, kun se yhdistetään reaaliaikaiseen paikkatietoon. Työkoneen automaatiojärjestelmällä voidaan kerätä ja tallentaa koneen työsuorituksen aikana paikkaan sidottuja laatu- ja toteumatietoja laadunvarmistuksen tarpeisiin (kuva 2). Tämä toimintaperiaate soveltuu useisiin tienrakennuksessa ja tienparannuksessa käytettävien koneiden automatisointiin.



*Kuva 2. Automatisoidun tienrakennusprosessin vaiheet.*

Menetelmän soveltamisen edellytyksenä tietyn työvaiheen suunnittelumenetelmien tuntemus sekä työkoneen toiminnan tuntemus, jotta suunnitteluohjelmistolla pystytään analysoimaan suunnittelun pohjana olevia lähtötietoja ja muodostamaan työkoneen automaatiojärjestelmälle työn suorituksen kannalta välttämättömät parametrit sisältävät digitaaliset työohjeet. Digitaalisten työohjeiden tulee sisältää koneen tarvitsemat parametrit paikkaan sidottuna niin, että ne voidaan koneen työsuorituksen aikana reaaliaikaisesti yhdistää mitattuun paikkatietoon. Paikannustiedon ja digitaalisten työohjeiden perusteella tulee pystyä hakemaan tai laskemaan mitatussa koneen paikassa voimassa olevat parametrit, joita käytetään koneen automaattisessa ohjauksessa.

Automaattisessa koneen työsuorituksen dokumentoinnissa haasteena on mitata reaaliaikaisesti ohjausjärjestelmän omilla antureilla järjestelmän toimintaa ja saavutettavaa työn laatua. Poikkeamat digitaalisissa työohjeissa annetuista arvoista tulee havainnollistaa koneen kuljettajalle työsuorituksen aikana, jotta kuljettaja voi suorittaa vaadittavat korjaustoimenpiteet. Lisäksi koneen tulee työsuorituksen aikana käsitellä ja tallentaa antureilta tuleva mittaustieto muotoon, jota voidaan hyödyntää laadunvarmistuksessa.

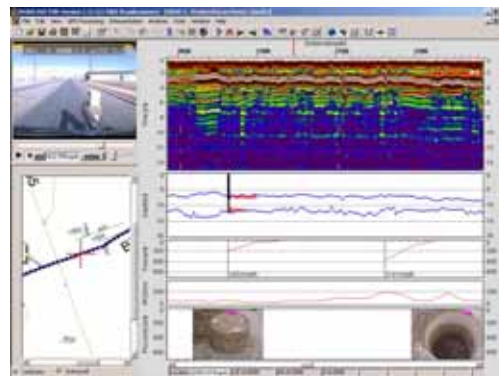
On huomattava, että koneen omilla antureilla saatava mittaustieto kertoo lähinnä ohjausjärjestelmän sisäisestä tarkkuudesta. Koneen työsuorituksen aikana mittaukset, esim. paikannus ja kallistuksien mittaukset, suoritetaan dynaamisesti koneen liikkuessa, joten niiden tarkkuus on heikompi kuin staattisesti suoritettavien mittausten. Jos laadunvarmistuksessa luotetaan pelkästään koneen omilla antureilla kerättyyn tietoon, tulee

mittausmenetelmän rajoitukset ottaa huomioon ja käytetyn menetelmän luotettavuus varmistaa vertaamalla mittaustuloksia eri menetelmillä saatuihin tuloksiin. Lisäksi tulee huolehtia säännöllisestä järjestelmän kalibroinnista.

## 2.3.2 Sovellutukset tienparannuksessa

### 2.3.2.1 Tien kuntotutkimus ja rakenteenparantamissuunnitelma

Vanhojen teiden parantaminen perustuu tien kunnon kartoittamiseen ja parantamissuunnitelman laatimiseen. Parannustoimet voidaan jakaa tien päällysteiden korjaukseen ja koko tierakenteen korjaukseen. Tien kuntotutkimuksessa otetaan huomioon tien näkyvät vauriot, esim. päällystevauriot, sekä tien pohjan rakenteiden kunto. Tien rakenteita voidaan tutkia maatukamittauksilla. Maatukamittauksilla voidaan selvittää mm. tien eri rakennekerroksien paksuus ja laatu sekä päällysteiden paksuudet, vauriot ja tyhjättila. Maatukamittauksia voidaan suorittaa tarkoitukseen kehitetyllä mittausautolla, kuva 3. Mittausauto on varustettu maatukalaitteiston lisäksi mm. videokameralla ja GPS-paikannuslaitteella. Kuntotutkimuksessa maatukamittauksiin voidaan yhdistää myös muita mittausmenetelmiä, esim. kantavuuden, tasaisuuden ja uraisuuden mittauksia. Maatukamittausten vaativin osa on mittaustulosten tulkinta. Mittaustulosten tulkintaan käytetään ohjelmistoa, jossa suunnittelija voi tutkia yhtä aikaa kaikkia mittaustuloksia ja laatia tien rakenteen parantamissuunnitelman, kuva 3. Rakenteen parantamissuunnitelma sisältää valitut parannustoimenpiteet tien eri osille ja sekä eri toimenpiteisiin liittyviä parametreja.



*Kuva 3. Tien pohjan kuntokartoitus maatukamittauksella ja rakenteen parantamissuunnitelman tekeminen RoadDoctor-ohjelmalla (kuvat Roadscanners Oy).*

Tien kuntotutkimuksessa korjauskohteiden paikannus perustuu matkan mittaukseen tai DGPS-mittauksiin. Useimmissa tapauksissa korjauskohteessa ei ole käytettävissä valmista kiintopisteverkkoa. Mittaukset yhdistetään tieverkosta olemassa olevaan x,y-



sijaintitietoon. Suomen tieverkon teiden x,y-sijaintitieto on saatavissa Maanmittauslaitoksen ylläpitämästä maastotietokannasta. Rakenteenparantamissuunnitelmissa korjauskohteiden sijainti on ilmoitettu tierekiteriosoitteella, joka muodostuu tienumerosta, tieosanumerosta, paalutuksesta ja kaistanumerosta.

Parhailtaan on meneillään Tiehallinnon Digiroad-projekti, jossa kerätään Suomen tieverkkoon liittyvä tieto yhteen tietokantaan. Digiroad-tietokannan tulisi kattaa koko Suomen tieverkko vuoden 2003 loppuun mennessä ja sisältää teiden x,y-sijaintitieto 1–3 metrin tarkkuudella. Digiroad-tietokanta sisältää lisäksi runsaasti teihin liittyvää ominaisuustietoa ja esimerkiksi osoitetietoja, joita voidaan tulevaisuudessa soveltaa erilaisissa paikkatietojärjestelmissä, navigointisovellutuksissa ja mobiilipalveluissa.

### 2.3.2.2 Automaatiosovellukset tienparannuksessa

Tienparannustoimet voidaan pääosin jakaa tien rakenteen parantamiseen ja tien päällystevaurioiden korjaukseen. Näissä työvaiheissa käytettävien koneiden automaattisessa ohjauksessa voidaan käyttää hyväksi digitaalisessa muodossa olevia tienparannussuunnitelmia ja paikannustekniikkaa. Tällä ns. täsmäparantamisella pyritään parempaan laatuun ja tehokkuuteen sekä materiaalien säästöihin.

Tien rakenteen parantamisessa käytetään stabilointijyrsintää (kuva 4). Stabilointi on tierakenteen parantamismenetelmä, jossa tien kantava kerros tai kantavan rakennekerroksen yläosa sidotaan stabilointiaineilla. Stabilointiaineina käytetään mm. bitumia, sementtiä, masuunihiekkaa tai eri materiaalien yhdistelmiä eli komposiitteja. Stabiloinnilla parannetaan tien kuormituskestävyyttä. Stabilointijyrsinnässä vanha tien pinta jyrsitään ja sekoitetaan tasalaatuiseksi. Tarvittaessa ennen varsinaista stabilointijyrsintää suoritetaan esijyrsintä. Stabilointijyrsinnän aikana vanhaan tiemateriaaliin lisätään sideaineita ja tarvittaessa uutta kiviainesta. Jyrsinnän jälkeen tie muotoillaan tiehöylällä ja tiivistetään. Menetelmä soveltuu hyvin vanhojen teiden rakenteen parantamiseen, koska suuria maamassojen vaihtoja ei tarvita ja vanha tiemateriaali voidaan hyödyntää. (Tiehallinto 2002a, Tiehallinto 2002b )

Stabilointijyrsinnän laadun kannalta oleellisimpia seikkoja ovat jyrsinnällä saatava oikea materiaalin koostumus ja rakeisuus, jyrsintäsyvyys, sideaineen oikea suhteutus ja tasainen jakautuminen sekä stabilointijyrsityn pinnan muoto, tasaisuus ja tiiviys. Stabilointijyrsimen automaattisessa ohjauksessa voidaan jyrsintäsyvyyden, jyrsinrummun kallistuksen ja sideaineiden syötön automaattisella ohjauksella huomattavasti helpottaa koneen kuljettajan työtä, parantaa stabiloinnin laatua ja tehostaa työn suoritusta. Stabiloinnissa materiaalikustannukset muodostavat huomattavan osan kokonaiskustannuksista. Stabiloinnissa optimaalinen sideainepitoisuus määritetään suunnitteluvaiheessa stabi-

loitavasta kohteesta otettujen materiaalinäytteiden perusteella. Entistä tarkemmalla sideaineiden suhteutuksen suunnittelulla sekä sideaineiden syötöllä voidaan materiaalikuiluissa aikaansaada säästöjä. Ns. täsmäparantamisessa koneen työsuoritusta voidaan hallita automaattisesti koneen mitatun paikan ja suunnittelutiedon perusteella.

Päällystevaurioiden korjauksessa käytetään tavallisesti asfaltin jyrshintää ja uudelleen päällystystä sekä remixer-laitteita. Remix-pintauksessa vanha päällyste lämmitetään, jyrshintään, siihen lisätään uutta materiaalia ja materiaali levitetään uudestaan. Remixmenetelmän etu on vanhan päällystemateriaalin hyödyntäminen. Samoin kuin stabilointijyrshintäjätapauksessa säädettäviä parametreja ovat tien profiiliin vaikuttavat parametrit, esim. jyrshintäjävyvyys ja kallistus, ja materiaalien ja sideaineiden lisäykseen liittyvät parametrit. (Tielaitos 1998, Tiehallinto 2002a, Tiehallinto 2002b)



*Kuva 4. Vanhan tienpohjan vahvistaminen stabilointijyrshintäjä (kuva VTT).*

### **2.3.3 Sovellukset pohjanvahvistuksessa**

#### **2.3.3.1 Pohjanvahvistusmenetelmiä**

Pohjanvahvistuksella tarkoitetaan huonosti kantavat maaperän kantavuuden parantamista. Suuria maamassojen vaihtoja voidaan korvata parantamalla alkuperäisen materiaalin kantavuutta stabiloimalla ja lyöntipaaluksella. Yleisesti käytössä olevat stabilointimenetelmät ovat syvästabilointi ja massasyvästabilointi. Näissä menetelmissä heikosti kantavaa maapohjaa pyritään lujittamaan sekoittamalla siihen erilaisia sideaineita. Tavallisia sideaineita ovat kalkin, sementin ja erilaisien teollisuuden sivutuotteiden seokset. Lyöntipaaluksessa maaperän vahvistus tapahtuu iskemällä maaperään teräsbetonipaaluja tai teräspalkkipaaluja. (Tiehallinto 2003)

### 2.3.3.2 Pohjatutkimukset ja suunnittelumenetelmät

Pohjanvahvistuksen onnistumisen kannalta tärkeimpiä seikkoja on vahvistusmenetelmän oikea valinta sekä rakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Suunnittelu perustuu maaperätutkimuksiin. Maaperätutkimuksilla pyritään määrittämään mm. maaperän laatu ja eri maakerrosten rajat sekä maakerrosten rakeisuus, humuspitoisuus, vesipitoisuus ja hienousluku, maaperän lujuus- ja painumaominaisuudet sekä pohjaveden pinnan korkeus ja sen vaihtelut. Mittausmenetelmiä ovat mm. maaperän kairaukset eri menetelmillä, maaperänäytteiden analysointi laboratoriossa ja vesipitoisuuden kartoitus sähkövastusluotauksella. Tarvittaessa voidaan suorittaa koestabilointeja ja koepaalutuksia. Tutkimusten perusteella valitaan käytettävät rakenteet ja sideaineet ja sekä laaditaan pohjanvahvistussuunnitelma. (Tiehallinto 2001a)

Pohjanvahvistuksella pyritään saavuttamaan asetettu tavoitekantavuus. Syvä- ja massasyvästabiloinnin perusongelma on, että stabilointiprosessin hallinta ja laadunvarmistus on hankalaa. Tämä näkyy mm. suurina vaihteluina stabiloidun rakenteen kantavuudessa. Vaihtelut voivat johtua maaperän ominaisuuksien vaihtelusta, jota ei ole suunnitteluvaiheessa riittävästi huomioitu, tai stabilointityön suorituksesta. Keinoja laatuvaihteluiden vähentämiseksi ovat entistä tarkempien suunnittelumenetelmien käyttöönotto sekä pohjanvahvistusprosessin parempi hallinta automaatiojärjestelmien avulla. (Korkiala-Tanttu & Törnqvist 2003)

### 2.3.3.3 Automaation sovellutukset pohjanvahvistuksessa

Syvästabiloinnissa käytetään yleisimmin pilaristabilointia. Vierekkäiset pilarit muodostavat pilarikentän. Sideaineiden sekoituksessa stabiloitavaan maahan käytetään pystysuunnassa liikkuvaa sekoitinta. Pilarit ovat tavallisesti halkaisijaltaan 600–800 mm paksuja ja maksimissaan 20 m pitkiä. Syvästabilointiin käytetään työvaiheeseen kehitettyä erikoiskalustoa, kuva 5. Massasyvästabiloinnissa pyritään muodostamaan maahan yhtenäinen stabiloitu vyöhyke. Tämä saadaan aikaan moneen suuntaan liikkuvan sekoitinpään avulla. Työvaiheessa käytetään tavallisesti kaivinkoneen alustalle rakennettuja koneita, jolloin maksimisyvyys on n. 5 m.



*Kuva 5. Pohjanvahvistus lyöntipaalutuksella ja syvästabiloinnilla (kuvat Junttan Oy ja YIT Oy).*

Stabilointia suoritettaessa tärkeitä seikkoja on pilarien tai stabiloitavien vyöhykkeiden oikea sijainti, sideaineen sekoittuminen tasaisesti maaperään sekä syötettävän sideaineen määrän tarkka hallinta. Paikannusteknologiaa hyödyntäminen stabilointityön hallinnassa antaa uusia mahdollisuuksia pilarien sijaintipoikkeaminen pienentämiseen ja sideaineiden syötön hallintaan. Sideaineiden syöttö voidaan kohdistaa tarkasti haluttuun kohtaan stabiloitavaa maaperää ja ns. täsmäsyöttö antaa mahdollisuuden muuttaa sideaineiden suhteutusta nykyistä tarkemmin vastaamaan maaperän ominaisuuksia tietyssä paikassa. Sekoituspään paikan ohjaus ja sideaineen syöttö voidaan toteuttaa automaattisesti digitaalisessa muodossa olevan suunnitelman mukaan, ns. digitaalisten työohjeiden mukaisesti. Stabilointityön aikana koneen ohjausjärjestelmä voi dokumentoida automaattisesti stabilointiprosessin suorituksen.

Vastaavasti lyöntipaalutuksessa tärkeitä seikkoja ovat asennettavien paalujen paikka ja asento sekä kantavuus. Paalutustyö toteutetaan työohjeiden mukaisesti ja paalutustyön aikana pidetään paalutuspöytäkirjaa. Paalutuspöytäkirjaan merkitään mm. jokaisen paa-

lun lyöntiin kulunut aika, korkeustaso, paikka ja asento sekä painuma loppulyönneillä. Paikannusteknologiaa ja automaattista työkonteen ohjausta voitaisiin lyöntipaalutuksessa soveltaa ottamalla käyttöön digitaalisessa muodossa olevat paalutussuunnitelmat sekä käyttämällä automaatiojärjestelmää hyväksi paalutuspöytäkirjan pitämisessä. Esimerkki paikannusteknologian hyödyntämisestä lyöntipaalutuksessa on Lancasterin yliopistossa on kehitetty GPS-paikkatietoon perustuva lyöntipaalutuskoneen ohjausjärjestelmä. Järjestelmällä pyrittiin nopeuttamaan paalun paikan ja asennon asettamista. (Tiehallinto 2001b, Rautaruukki 2002, Seward 1997)

### 2.3.4 Sovellukset tienrakennuksessa

Uusien teiden rakentamisessa automaatiojärjestelmien sovelluskohteita ovat tien rakenekerrosten muotoilussa käytettävät koneet, esim. puskutraktori, kaivinkone ja tiehöylä, sekä materiaalien levittämisessä käytettävät koneet, esim. murskeenlevitin ja asfaltinlevitin (kuva 6). Muotoilu- ja levitystehtävissä 3D-paikkannuslaitteita yhdistettynä koneeseen asennettuihin antureihin käytetään työkonteen työkalun paikan ja asennon määrittämiseen. Mittaustietoa verrataan 3D-suunnittelutietoon, ja laskettujen erosuureiden perusteella joko ohjataan konetta automaattisesti tai esitetään koneen ohjausta helpottavaa tietoa kuljettajalle.

2D-paikkannusta voidaan hyödyntää materiaalien tiivistämisessä käytettävissä koneissa, esim. täryjyrissä (kuva 6). Näissä järjestelmissä tiivistymistyön edistyminen esitetään kuljettajalla graafisella näytöllä. Järjestelmät perustuvat joko tiivistymisen mittaukseen koneeseen asennetuilla antureilla tai ylityskertojen laskentaan GPS-paikkannuslaitteella mitatun koneen paikan perusteella.



*Kuva 6. 3D-paikkannusjärjestelmällä varustettu asfaltinlevitin ja GPS-paikkannukseen perustuva täryjyrän ohjausjärjestelmä Intermat-messuilla Pariisissa 2003 (kuvat VTT).*

## 3. Suunnittelu- ja koneenohjausjärjestelmien välinen tiedonsiirto

### 3.1 Tienrakentamisen suunnittelujärjestelmät

#### 3.1.1 Suunnittelun lähtötietojen kerääminen

Tien suunnittelu aloitetaan maastotietojen hankinnalla, koska oikeat ajan tasalla olevat maastotiedot ovat edellytys hyvän suunnitelman tekemiselle. Maastomittauksista runkomittaus luo suunnittelulle perustan. Sillä luodaan alueelle koordinaatisto ja sidotaan se valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Koordinaatisto on aina kolmiulotteinen, eli kaikki pisteet sisältävät myös korkeusjärjestelmän mukaisen korkeustiedon. Runkomittausten lisäksi tarvitaan pohjakartta, joka toimii suunnitelman esityspohjana. Numeerinen pohjakartta on vektori- tai rasterimuotoinen. (Tiehallinto 2002c)

Tietokoneavusteisessa tiensuunnittelussa tarvitaan numeerinen kolmiulotteinen maastomalli, jota tarvitaan mm. vaaka- ja pystygeometrian suunnittelussa, tierakenteen mallintamisessa ja tilavuuslaskennassa. Maastomallin mittaamiseen käytetään joko fotogrammetrista tai laser-keilausmenetelmää. Laser-keilaus suoritetaan ilmasta käsin keräämällä etäisyysdataa maanpinnan ja mittalaitteen väliltä. Kerättyyn dataan yhdistetään paikkatieto, jolloin saadaan mitattavan alueen maastomalli. Laser-keilauksen yhteydessä maastosta voidaan ottaa myös digitaalisia ilmakuvia, jotka sidotaan paikkatietoon. Fotogrammetrinen menetelmä perustuu stereokuvaukseen, jonka perusteella maastosta saadaan kolmiulotteinen malli. (Tiehallinto 2002c)

Vastusluotauksella saadaan tietoa maan sisäisistä rakennekerroksista ja niiden sijainneista. Menetelmä perustuu neljän maahan samaan linjaan asennettavan elektrodin käyttöön. Kaksi ulointa elektrodia syöttää maahan virtaa ja kaksi sisempää mittaa potentiaaliero eri syöttövirran arvoilla. Mittaustuloksena saadaan sähköinen vastus tietyllä syvyydellä maanpinnasta. Vastus vaihtelee maaperän raekoon, homogeenisuuden ja vesipitoisuuden mukaan. Mittaustulokset muutetaan todelliseen korkeustasoon topografikorjauksella. (Tiehallinto 2002c)

Maatutkamittauksessa mitataan maaperään lähetettyjen radioaaltojen heijastumista takaisin. Mittaus tehdään hitaasti maanpinnalla liikuteltavalla antennilla, joka lähettää radioaaltoja ja mittaa niiden kulku-aikaa. Maatutkalla saadaan tietoa tien tai kadun rakenteiden paksuuksista ja kunnosta sekä pohjamaan laadusta tarvittaessa kymmeniin metreihin saakka.

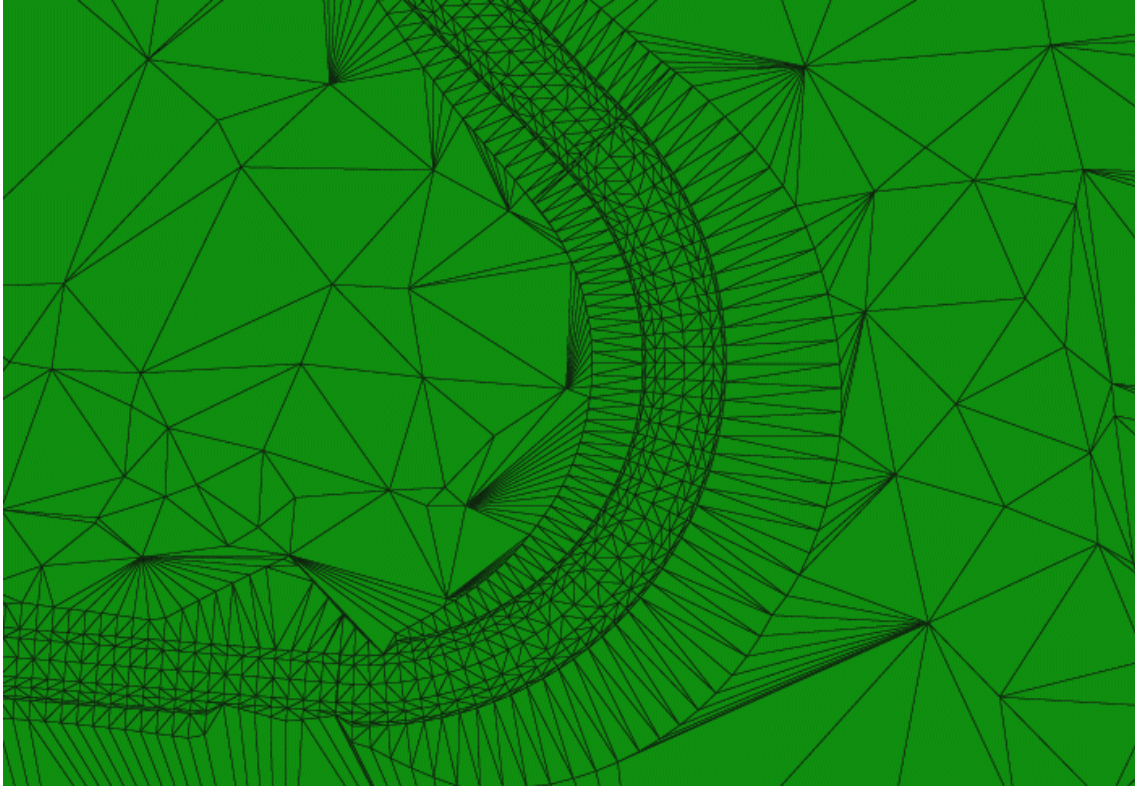
Maaperän mittauksiin tarkoitettuja laitteistoja on käytössä jo useilla tierakentamiseen liittyvillä tahoilla, mutta mittausaineistoon perustuva menetelmäsuunnittelun automati-

sointi on vielä suhteellisen uusi asia. Roadscanners Oy on kehittänyt maatutkamittauksia ja analysointiohjelmistoja jo usean vuoden ajan. Heidän kehittämästään mittaus- ja analysointijärjestelmästä on mahdollista saada ohjausparametritieto tierakenteen stabilointia, mm. stabilointijyrsintää, varten.

### **3.1.2 Tiegeometrian suunnittelu**

Maastomallin ja myös koko digitaalisen tiensuunnittelun ongelmana ovat lukuisat eri formaatit, joita eri valmistajien suunnitteluohjelmistot käyttävät. Mallien siirtäminen järjestelmästä toiseen ei ole aukotonta. Käytettäessä konvertointia järjestelmästä toiseen osa tiedosta saattaa muuttua tai hävitä siirron aikana. Eri osapuolten järjestelmille on lähtötilanteessa luotava omat maastomallinsa, mikä lisää työmäärää. Lisäksi tiedonvaihto suunnittelutyön aikana on hankalaa.

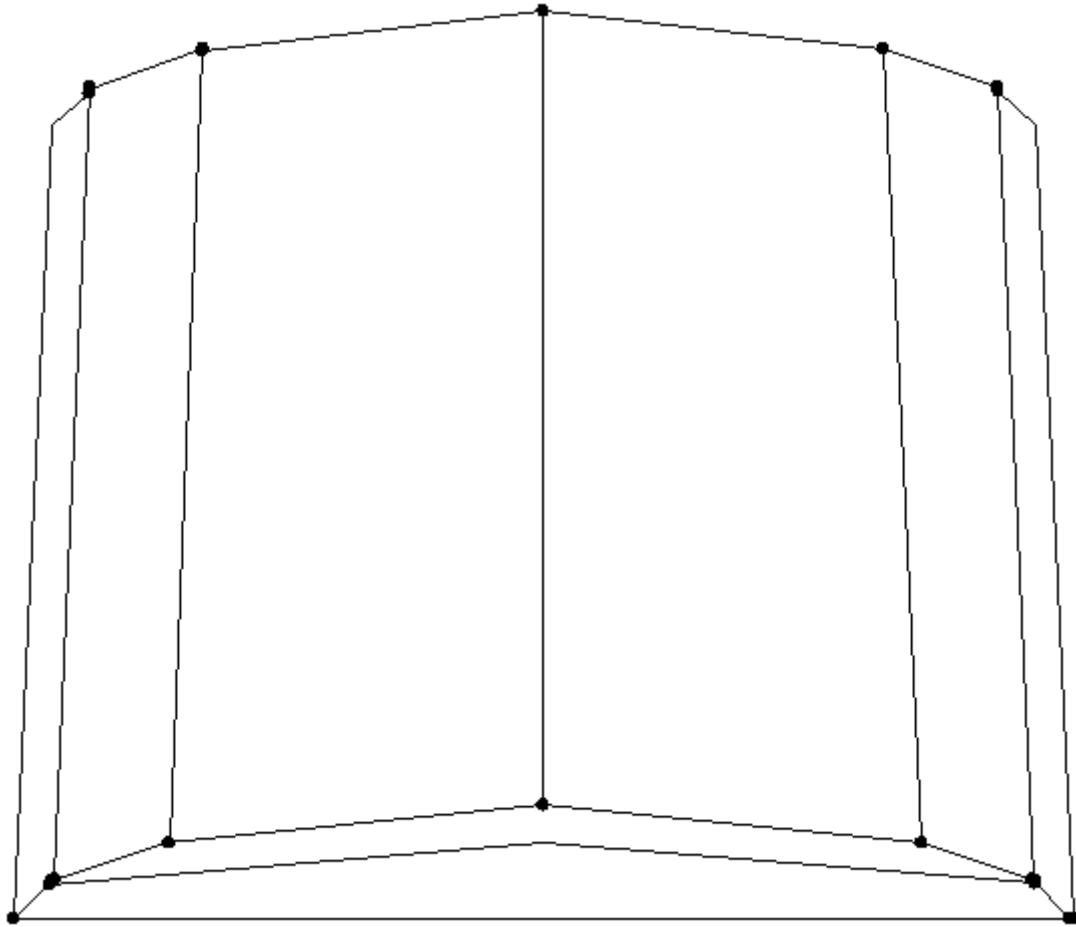
Pisteistä koostuvaan kolmiulotteiseen suunnitelmaan tarvitaan mahdollisimman yksinkertainen pintojen kuvaamistapa, joka määrittää yksikäsitteisen pinnan pisteiden välille. Eräs tapa kuvata pintoja on kolmioverkkomalli, jossa vierekkäiset pisteet yhdistetään kolmioiksi (kuva 7). Kolmioilla saadaan määritettyä pisteiden väliset pinnat yksikäsitteisesti, koska kolme pistettä ovat aina samassa tasossa. Kolmioverkkomallin toiminnan edellytyksenä on riittävän tiheä pisteverkko. Verkkoa voidaan tarkkuusvaatimusten mukaan tihentää nykyisillä tietokoneohjelmilla geometrisesti vaikeissa kohteissa, kuten kaarteissa ja rampeissa. Tällä menettelyllä päästään riittävään tarkkuuteen geometrian kuvaamisessa. Kolmioverkkoa voidaan käyttää pintamallin lisäksi rakennekerrosten materiaalimäärien laskemiseen. Malli on mahdollista laajentaa varsinaisen tiealueen ulkopuolelle, jos sille on tarvetta esimerkiksi maisemointitöissä.



*Kuva 7. Esimerkki kolmioverkkomallista (Tukeva 2003).*

Poikkileikkausmenetelmässä tien rakennekerrosten pintoja mallinnetaan yhdistämällä peräkkäisten poikkileikkausten pintojen pisteitä tien suuntaisilla viivoilla (kuva 8). Poikkileikkaustieto on yksinkertainen ja tehokas menetelmä tiedon kuvaamiseen, mutta sen heikkoutena on vastinpisteitä yhdistävien suorien väliltä puuttuva pistetieto. Poikkileikkaustietoa on saatavilla yleensä 10–20 metrin välein, mikä luo epätarkkuutta poikkileikkausten väliin jäävään alueeseen. (Perälä 1998)





*Kuva 8. Poikkileikkausmalli (Tukeva 2003).*

Parametrisoitu menetelmä mallintaa 3D-geometrian matemaattisten mallien perusteella. Menetelmä on saman tyyppinen kuin poikkileikkausmenetelmä, mutta sitä on parannettu lisäämällä matemaattisia malleja pintoja kuvaavien viivojen välille. Viivat voivat sisältää suorien osien lisäksi ympyränkaaria ja klotoideja. (Perälä 1998)

Suunnitteluohjelmat tallentavat mallit ilman mitään yhtenäistä menetelmää suunnittelu-tiedon hallintaan. Vanhemmat ohjelmat käyttävät ascii-pohjaista tiedostoa, johon geometria tallennetaan ohjelman ymmärtämässä formaatissa. Nykyinen suuntaus näyttäisi olevan kohti tietokantapohjaista tiedonhallintajärjestelmää, jolloin tiedon hallinta tulee monipuolisemmaksi ja helpommaksi. Pistetietoihin voidaan liittää erilaisia ominaisuuksia tarpeen mukaan. Tietokannasta voidaan generoida erilaisia malleja käyttäjän tarpeisiin hakutietojen perusteella. Koneohjausjärjestelmään on mahdollista luoda suunnittelumalli, jossa on vain sen tarvitsemat tiedot.

Tietokoneavusteisesti suunnitellut tiemallit tallennetaan digitaaliseen muotoon. Mallien varastoimiseen ja siirtämiseen tarvitaan tallennusformaatti, jolla kuvattu geometria ja

muu suunnittelutieto voidaan varastoida. Tallennusformaatti voi olla joko binääri- tai ascii-muotoinen. Binäärimuotoinen formaatti on tilankäytön suhteen tehokkaampi, mutta sen lukeminen ilman suunnitteluohjelman valmistajan lisensoimaa työkalua on mahdotonta. Binäärimuotoisen formaatin rakennetta on vaikea selvittää. Ascii-formaatti sisältää suunnittelutiedon merkkeinä, jolloin sen avaaminen onnistuu millä tahansa tekstieditorilla. Rakenne voi olla vaikea selvittää mm. hankalan muotoilun takia, mutta teoriassa se on kuitenkin mahdollista.

Suomalainen Insinööritoimisto Oy:n tekemän tutkimuksen mukaan suunnittelijoiden käyttämistä maasto- ja karttaformaateista yleisin oli Autodeskin kehittämä ja ohjelmistoissaan käyttämä .dwg-formaatti. Sen jälkeen seuraavaksi yleisimpiä olivat odotetusti .dxf- ja .dgn-formaatit sekä erilaiset kuvatiedostot. Markkinoiden kirjoa kuvaa hyvin se, että kyselyssä mukana olleet 15 eri formaattia olivat olleet jossakin määrin käytössä suuressa osassa vastanneita yrityksiä. Yli puolet vastaajista oli sitä mieltä, että eri formaattien määrää tulisi selkeästi vähentää tiedonsiirron selkeyttämiseksi.

Suomessa muutamat suunnittelussa yleisimmin käytetyt formaatit ovat saavuttaneet standardinomaisen aseman. Tielaitoksen käyttämät ja kehittämät tiedostomuodot kuvaavat maastomallin, tien vaaka- ja pystygeometrian ja pohjatutkimuksen. Uudistusten myötä tiedostomuotoja on muutettu Teklan Xroadia vastaaviksi. Dxf on Autodeskin käyttämä siirtoformaattiksi tarkoitettu ascii-muotoinen tiedosto. Dxf:n käyttöä vaikeuttavat siihen jatkuvasti tehtävät muutokset versiopäivitysten yhteydessä. Dwg on Autodeskin käyttämä binäärimuotoinen tallennusformaatti. Autodesk ei ole koskaan julkaissut .dwg-formaatin määrittelyä, mutta OpenDWG-allianssi on selvittänyt formaatin rakenteen ja pyrkii pitämään sen avoimena tallennus- ja tiedonsiirtomuotona. Pohja-, kaava- ja johtokarttojen siirtoon käytetään yleisimmin Maanmittauslaitoksen Fingis-formaattia.

### **3.1.3 Työmenetelmäsuunnittelu**

Työmenetelmäsuunnittelulla tarkoitetaan maastosta tehtyjen mittausten perusteella tehtävää työvaiheiden ja -menetelmien valintaa. Menetelmäsuunnittelu perustuu rakennuskohteen pohjan tutkimukseen esimerkiksi vastusluotausmenetelmällä tai maatutkalla. Menetelmät perustuvat mittausaineiston analysointiin tiettyjen algoritmien mukaan ja vaativat ammattitaitoisen henkilön suorittamaan mittaukset sekä analysoimaan mittaus tulokset.

## 3.2 Tietyömaan laadunvalvonta

Tien pohja- ja päällysrakenteiden tulee laadultaan vastata asetettuja ohjearvoja. Työn valvonnalla varmistetaan työn tuotesuunnitelmien mukainen laatu ja toteutusmallin mukainen suoritus. Mittauksia tehdään työn eri vaiheissa tien rakennekerroksista. Rakennuttaja suorittaa mittaukset ja tutkimukset, joilla voidaan varmistaa tien rakenteen kaikilta osin noudattavan asetettuja laatuvaatimuksia. Tielaitoksen työohjeen mukaan vaa-dittavia mittauksia ovat rakeisuusanalyysit, korkeus- ja tasaisuusmittaukset, paksuusmittaukset, tiiviys- ja kantavuusmääritykset sekä poikkileikkauksen muotoon ja asemaan liittyvät mittaukset. (Tielaitos 1990, RIL 1995)

Urakoitsija voi tehdä edellä mainittuja mittauksia ohjatakseen työn suoritusta. Tielaitoksen ohjeen mukaan sellaisissa mittauksissa, joilla tutkitaan valmiin rakenteen laatua, tulee molempien osapuolten olla edustettuna. Poikkeuksista voidaan sopia osapuolten kesken. Mittauksista on laadittava molempien osapuolten hyväksymät mittauspöytäkirjat. (Tielaitos 1990)

Edellä mainittujen ohjeiden mukaan ohjausjärjestelmän yhteyteen on mahdollista toteuttaa työn laatua dokumentoiva järjestelmä, joka tiehöylän tapauksessa raportoi geometriaan liittyvää laatutietoa ja stabilointijyrsimen tapauksessa jyrinägeometrian lisäksi myös lisäaineiden syöttöön liittyvää laatutietoa. Tiehöylällä geometria voidaan mitata helposti valmiilta rakennekerrokselta ajamalla tiehöylä haluttuun mittauspisteeseen ja asettamalla terä varovasti rakennekerroksen pintaan. Tällä menettelyllä saadaan yhdellä mittauksella tieto korkeus- ja kallistuspoikkeamasta, ja tieto voidaan tallentaa digitaalisessa muodossa laatudokumenttiin myöhempää käyttöä varten.

Työkoneella ajossa tehtävä laadun mittaaminen ja dokumentointi tapahtuvat urakoitsijan toimesta. Mittausten käyttäminen virallisena laatudokumenttina vaatii rakennuttajalta hyväksynnän tälle uudelle mittausmenetelmälle. Järjestelmä tulee sulkea ja varmistaa siten, että muutosten tekeminen laatudokumentteihin jälkikäteen ei onnistu tai on vähintään jäljitettävissä.

Manuaalisten mittausten suorittamisesta on kuvaus tielaitoksen työohjeessa. Tämän ohjeen perusteella mittausten liittäminen osaksi ohjausjärjestelmää on mahdollista toteuttaa. Työkoneeseen liitetyn mittausmenettelyn merkittävimpiä etuina ovat työaika- ja kalustusäästöt sekä laadun automaattinen dokumentointi digitaalisessa, hyvin eri järjestelmien välillä siirtyvässä muodossa. Menetelmä tekee tarpeettomaksi useiden rinnakkaisten mittausjärjestelmien perustamisen työmaalle, koska suuri osa mittauksista voidaan tehdä koneohjaukseen liitetyllä mittalaitteistolla. Työkoneet eivät ehdi lähteä työmaalta ennen laadun varmistamista, jolloin tarvittavat korjausajot voidaan suorittaa välittömästi.

Laatudokumentit ovat perinteisesti paperilomakkeita, joihin mittaustulokset kirjataan. Tiehallinto on määritellyt käyttöön valmiit lomakkeet, joilla laadun dokumentointi toteutetaan. Kaikille mittauksille on oma lomake, joissa on ohjeet mittausten suorittamisesta ja lomakkeen täyttämistä. Päälysrakenteen lomakkeella kerättäviä tietoja ovat mm. materiaalikerrosten korkeus, sivukaltevuus, leveys, paksuus ja tasaisuus. Mitattavia ja dokumentoitavia kerroksia ovat suodatinkerros, jakava kerros, kantava kerros sekä valmis tienpinta. Edellä mainitut kohteet ovat vain osa työmaalla tehtäviä laatumittauksia. Esimerkiksi päälysrakenteen mittausten kanssa samalla lomakkeella on varattu tila myös leikkaus- ja pengerrystöille sekä muille luokittelemattomille töille. (Tielaitos 1990)

Paperilomakkeiden käsittely ja arkistointi on työlästä ja erilaisten raporttien ja yhteenve-tojen laatiminen on hankalaa. Laatudiedon kerääminen digitaalisessa muodossa antaa mahdollisuuksia varastoida, käsitellä ja suodattaa tietoa monipuolisesti. Laatudiedon käyttö helpottuu ja sitä voidaan käyttää uusien projektien optimoinnissa tehokkaasti.

### **3.3 XML-kuvauskieli**

#### **3.3.1 Johdanto**

XML tarjoaa mahdollisuuden yhdistää eri valmistajien järjestelmiä avoimella tiedonsiirto-rajapinnalla. Samalla työmaalla toimivat eri valmistajien koneet voivat käyttää samoja työsuunnitelmia samassa formaatissa. Lisää uskoa XML:n mahdollisuuksiin antoi tämän työn aloittamisajankohdan lähettyvillä julkaistu LandXML:n ensiversio, joka kokosi yhteen maailman suurimmat maanrakennusalan toimijat tavoitteenaan luoda avoin XML-pohjainen siirtoformaatti suunnittelu- ja mittalaitajärjestelmien välille.

XML-kieli osoittautui soveltuvan erinomaisen hyvin avoimen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämiseen. Laajennettavuus onnistuu myöhemmin ilman yhteensopivuusongelmia eri järjestelmäversioiden kesken. Lisäksi XML-kielen määrittely on riittävän yksinkertainen, jotta sen tarvittavat ominaisuudet voi kohtuudella hallita. Määrittely antaa kuitenkin riittävästi mahdollisuuksia monimutkaistenkin sovellusten toteuttamiseksi. Dokumentin rakenne on havainnollinen ja itse dokumentoitava. Sisältö selviää yksinkertaisemmissa tapauksissa jo yhdellä silmäyksellä. XML osoittautui hyväksi valinnaksi myös työkalujen suhteen. Oltuaan jo jonkin aikaa olemassa ja kasvettuaan räjähdysmäisesti XML on tuonut mukanaan koko joukon uusia työkalukehittäjiä eivätkä vanhatkaan ohjelmistotalot ole voineet jättää ottamatta huomioon XML:n käyttökelpoisuutta. Valmiiden työkalujen paljous antaa valinnanvapauden loppukäyttäjälle. Kaikkiin tarkoituk-siin löytyy todennäköisesti sopiva työkalu, niin kuin tässäkin projektissa huomattiin.

Tiedostokoon kasvu XML-muotoisen tiedonsiirron myötä on yksi negatiivinen puoli, joka projektin aikana kävi ilmi. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma, koska tietotekniikan kehitys on kulkenut viime vuosina nopeammin, kuin tiedostojen koot ovat kasvaneet. Syynä tiedostokoon kasvuun XML:n myötä on merkkipohjainen tiedonsiirto binäärimuotoisen sijaan. Lisäksi XML sisältää paljon ns. turhia merkkejä, jotka kuvaavat dokumentin rakennetta, mutta tässäkin tulee ottaa huomioon se, että tiedoston dokumentointi kulkee tiedostossa mukana. Erillistä dokumentaatiota ei tarvitse varastoida ja siirtää tiedoston mukana.

### 3.3.2 XML-kielen perusteet

XML on World Wide Web Consortiumin (W3C) määrittelemä standardi, jonka tarkoituksena on luoda pohja avoimille tiedonsiirtoformaateille eri järjestelmien välillä. XML:n idea on mahdollistaa helppo tiedonvaihto ja -käsittely eri järjestelmien välille. XML ei itsessään ole valmis kieli, vaan sen kielioppisääntöjen perusteella käyttäjä voi itse määrittellä tarpeisiinsa sopivan kielen tai ottaa käyttöön samaan tarkoitukseen jo aikaisemmin määritetyn XML-pohjaisen kielen. XML on kokonaan merkkipohjaista tietoa, jolloin sen muokkaaminen on helppoa esimerkiksi aivan tavallisilla tekstiedito-reilla. Tiedoston rakenne on ns. itsekuvaileva, jolloin sitä lukeva käyttäjä voi helposti pää-tellä tietojen merkityksen ilman formaatin spesifikaatiota. (Crump 2002, Holzner 2001)

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<dokumentti>
  <teksti>XML:n rakenne on itsekuvaileva</teksti>
  <kirjoittaja>Pirkka Tukeva</kirjoittaja>
</dokumentti>
```

### 3.3.3 Rakennemäärittelyt

XML mahdollistaa dokumentin sisällön lisäksi myös rakenteen täydellisen määritteli-misen. Tietorakenne on hierarkkinen, jolloin elementeiksi kutsutut kappaleet ovat sisäk-käisesti järjesteltyjä. Hyvin muodostettu XML-dokumentti pitää sisällään kolme osaa, jotka ovat johdanto, juurielementti ja valinnainen osa. Johdanto sisältää esittelyn eli XML-prologin, joka kertoo muun muassa versionumeron. Johdanto voi lisäksi sisältää myös valinnaisen osan eli kommentteja, prosessointiohjeita sekä rakennemäärittelyjä. Juurielementti on hierarkkisen rakenteen peruselementti, jonka tulee sisältää kaikki muut elementit. Juurielementin voi nimetä muiden elementtien tapaan itse. (Holzner 2001, Bono 2000)

Rakennemäärittely sisältää nimensä mukaisesti tiedot dokumentin rakenteesta ja syntaksista. Rakennemäärittely voi sisältää tiedot sallituista ja pakollisista elementeistä, lapsielementtien määrästä, elementtien hierarkkisesta järjestyksestä sekä elementeille kuuluvista attribuuteista. Edellä mainittujen lisäksi rakennemäärittelyllä voidaan kuvata monia muitakin ominaisuuksia, kuten jäsentämättömiä tietoalueita.

Rakennemäärittely voidaan tehdä sisäisesti tai ulkoisesti. Dokumentti voi sisältää itsensä rakennemäärittelyn, jolloin se on sijoitettu tiedoston alkuun. Jäsennin löytää rakennemäärittelyn ja lukee sen, jonka jälkeen se voi tarkistaa eli validoida seuraavan dokumentin. Sisäistä määrittelyä voidaan käyttää pienissä dokumenteissa, joita laaditaan vain yksittäisiä kappaleita tai pieniä sarjoja. Yleisempi tapa on käyttää ulkoista rakennemäärittelyä. Rakennemäärittelytieto sijoitetaan yleensä omaan tiedostoon, jolloin se voi sijoittaa julkisesti käytettäväksi Internet-verkkoon tai rajatulle käyttäjäryhmälle yrityksen intranet-verkkoon. Rakennemäärittely voidaan tietysti toimittaa myös yksittäiskappaleena dokumentin mukana, mutta ulkoisen rakennemäärittelyn tehokkuus perustuu juuri laajaan saatavuuteen esimerkiksi tietoverkkojen välityksellä. (Holzner 2001)

### 3.3.4 Jäsentimet

XML-jäsentimiä eli parsereita on vapaasti saatavana eri käyttöjärjestelmiin ja ohjelmointikieliin. Microsoftin MSXML on yleisin jäsennin Windows-maailmassa. MSXML:n tarjoamaa XML-rajapintaa voidaan käyttää mm. C/C++-, C#- ja Visual Basic -ohjelmointikielillä.

Microsoftin jäsentimen lisäksi maininnan arvoinen on Xerces, joka on saatavana vapaasti Windows- ja Linux-järjestelmiin. Xerces sisältää ohjelmointirajapinnan mm. C++- ja Java-ohjelmointikielille. Edellisten lisäksi on olemassa useita muita hieman tuntemattomampia jäsentimiä.

Jäsentimet sisältävät kaksi erilaista lähestymistapaa XML-dokumentin käsittelyyn. Ainakin MSXML ja Xerces sisältävät nämä molemmat vaihtoehdot. DOM eli Document Object Model on W3C:n standardoima ohjelmointirajapinta XML-dokumenttien käsittelyyn. DOM käsittelee XML-dokumenttia solmupuuna, jolloin jokainen erillinen tietokio on solmu. Elementtien hierarkia toteutuu dokumentin käsittelyssä selkeästi, koska käsittely perustuu solmupuussa navigoimiseen ohjelmointirajapinnan määrittämien funktioiden avulla. Esimerkkinä solmupuussa liikkumisesta voidaan esitellä *nextChild*-metodi, jolla siirrytään solmupuun seuraavaan lapsisolmuun. Suhteellisen navigoinnin lisäksi rakenteessa on mahdollista liikkua hakemalla solmuja esimerkiksi nimen perusteella. (Holzner 2001)

DOM lataa dokumentin muistiin ja luo siitä solmupuumallin. Käsittelyn jälkeen dokumentti voidaan tarvittaessa tallentaa muokatussa muodossa takaisin levyille. DOMin tapaa käsitellä dokumenttia solmupuuna on pidetty monimutkaisena, ja rinnalle on syntynyt toinen lähestymistapa XML-dokumenttien käsittelyyn. SAX eli Simple API for XML avaa koko dokumentin heti käyttäjälle, jolloin vältetään solmupuussa navigoimiselta. SAX toimii tapahtumapohjaisesti. Se lukee dokumentin läpi, ja kohdatessaan elementtejä se toteuttaa määrätyt toimenpiteet. (Holzner 2001)

Jäsentimien ohjelmointirajapinnat muistuttavat paljon toisiaan. Järjestelmän muuttaminen toisella jäsentimellä toimivaksi on mahdollista tehdä tarvittaessa suhteellisen helposti.

### 3.3.5 XSL-muunnos

XSL-muunnoskieli antaa mahdollisuuden muuntaa XML-dokumenteista uusia erityyppisiä dokumentteja tai muotoilla ja tyylittää olemassa olevaa dokumenttia monin eri tavoin. XSL-muunnoskieltä kutsutaan nykyään yleisesti XSLT-kieleksi, ja itse XSL-kieli nimitykselle jää muotoilua tarkoittava merkitys. Yleisin käyttötarkoitus XSLT:lle on XML-dokumentin muuntaminen HTML-dokumentiksi. Tekniikka antaa mahdollisuuden luoda myös uusia XML-dokumentteja, jolloin eri järjestelmien välinen tiedonsiirto on mahdollista toteuttaa valmiita komponentteja käyttäen. Rakenteen muuttamiselle on tarvetta esimerkiksi silloin, kun luodaan raportteja tallennetusta XML-muotoisesta tiedosta tai halutaan varastoida sitä vaikkapa tietokantaan. (Anderson et al. 2000, Holzner 2001)

XML-dokumentin rakenteella ei ole oikeastaan merkitystä. Tieto voi olla elementeissä tai attribuuttitietona. XSLT-tyylitiedostossa määrätään siirrettävät kohteet ja uusi dokumenttirakenne, jonka jälkeen XSLT-prosessori rakentaa uuden dokumentin tyylitiedoston perusteella. XSLT ei siis muuta dokumenttia, vaan rakennetta. Tyylitiedostossa kerrotaan uudet tunnisteet ja määrätään haettavat kohteet Xpath-kielellä. Suurin osa uusista tietokannoista tukee XML-muotoista tiedonvaihtoa, jolloin määritellystä XML-rakenteesta voidaan muodostaa lähes kaikkien tietokantojen kanssa yhteensopivia komponentteja. Tarvittava työ tiedonvaihtoon on ainoastaan sopivan XSL-tyylitiedoston kirjoittaminen. (Anderson et al. 2000)

### 3.3.6 Esimerkkejä XML-kielen sovellutuksista

#### 3.3.6.1 Iredes

Iredes (International Rock Excavation Data Exchange Standard) on kalliolouhinnan ja kaivosteollisuuden tarpeisiin suunniteltu yleinen XML-pohjainen rakenteinen kuvauskieli, jota on kehitetty vuodesta 2000 alkaen kaivosteollisuuden päätoimijoiden yhteisessä työryhmässä. Iredes-standardin tavoite on määritellä yleinen kuvauskieli työkohteiden tietojärjestelmiin, jolla voidaan toteuttaa standardoitu tiedonsiirto kaivoskoneiden ja työkohteen tietojärjestelmän palvelintietokoneiden välille. Kaivoskoneiden automatisointi saadaan hallintaan Iredes-standardin määrittelemillä rajapinnoilla, jolloin eri toimittajien järjestelmistä koostuvat kokonaisuudet toimivat hallitusti yhdessä. (Iredes 2002)

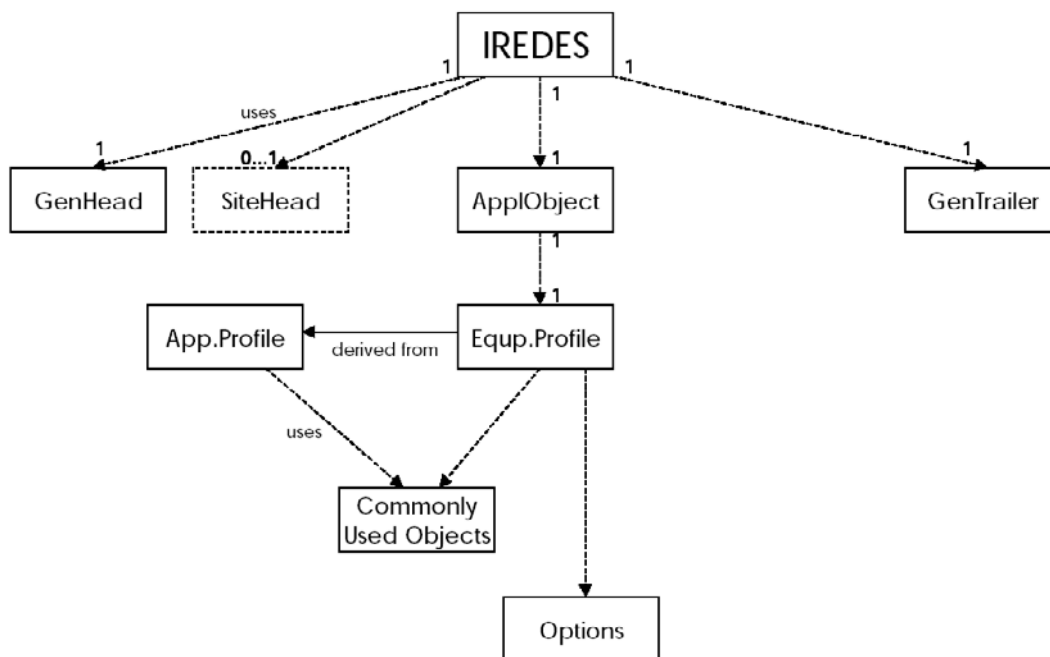
Iredes-standardin myötä porauskalustosta tulee aktiivinen osa kaivosteollisuuden tietojärjestelmää, eli koneet voivat vaihtaa tietoa palvelintietokoneiden kanssa. Järjestelmän tuottama tieto voidaan varastoida tietokantoihin, joista sitä voidaan tehokkaasti analysoida. Kerätyn tiedon perusteella voidaan kehittää työn suunnittelua ja projektien hallintaa.

Tietokanta toimii tehokkaana varastona ja hakujärjestelmänä kerätylle tiedolle. Tietokannasta oikean tiedon löytäminen onnistuu helposti ja nopeasti sopivien hakualgoritmien perusteella suurestakin tietomäärästä huolimatta. (Iredes 2002)

Iredes-standardi perustuu XML-kielen määrittelyyn. Dokumentin rakenne sisältö määrittään XML-schemalla. Rakenne on jaettu kuvan 9 mukaisesti seuraaviin osiin:

- *GenHead* sisältää yleistä ylläpidollista tietoa.
- *SiteHead* sisältää tietoja työkohteesta.
- *ApplObject* sisältää sekä yleisiä että konekohtaisia työohjeita.
- *GenTrailer* sisältää erilaisia tarkistuksia, kuten tarkistussummia.



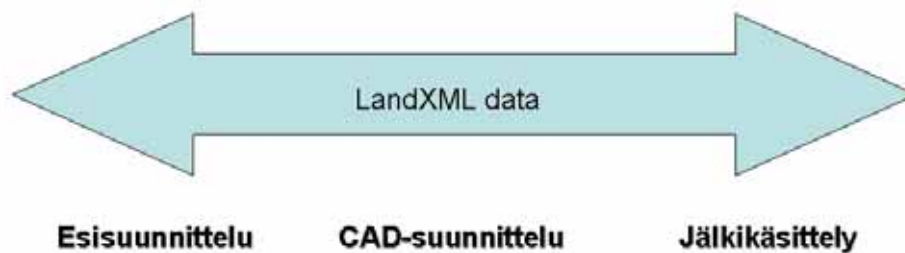


Kuva 9. Iredes-standardin komponentit (Iredes 2002).

Iredes-standardi on hyvin muotoiltu, ja siitä kannattaa ottaa mallia koneohjausformaattia kehitettäessä. Päätasen rakennejako vaikuttaa hyvältä ja selkeältä. Tarkistussummien käyttäminen dokumentin muuttumattomuuden varmistamiseksi on yleinen ja hyväksitty tapa. Iredexen mukaiseen malliin voidaan päähaarojen alle sijoittaa omia lohkoja, jotka sisältävät tiesuunnitelman ja työohjeet eri konetyypeille.

### 3.3.6.2 LandXML

LandXML on kansainvälinen suurten maanrakennusalan toimijoiden aloittama projekti, jossa pyritään kehittämään luotettava ja avoin formaatti suunnitteluun, tiedon siirtoon ja varastointiin. Projektin aloitti Autodesk, ja mukaan on liittynyt monia maanrakennusalan ohjelmisto- ja laitteistovalmistajia. LandXML-formaatti perustuu nimensä mukaan XML-muotoiseen tiedon esittämistapaan. Tiedosto sisältää hierarkkisesti jäseneltyjä kohteita suunnittelun eri vaiheisiin. LandXML:n tarkoituksena on kuvata koko suunnitteluketju alkumittauksista CAD-suunnitteluun ja aineiston jälkikäsittelyyn saakka. (LandXML 2003)



*Kuva 10. LandXML-käyttöalue suunnittelussa (Tukeva 2003).*

LandXML sisältää monia kuvaustapoja eri kohteiden tarpeisiin. 3D-geometria voidaan kuvata linjoilla ja poikkileikkauksilla tai kolmioverkolla. Malliin voidaan tallentaa tietoa mm. maamerkeistä, joiden perusteella työkohteen paikantaminen helpottuu. Mittayksiköt voidaan asettaa tarpeen mukaan Imperial- tai SI-järjestelmään. LandXML sisältää erittäin kattavasti suunnittelumallien ja ohjelmistojen tarpeet. Suunnitelman generoiminen LandXML-muotoon on helpohko toteuttaa omaan ohjelmistoon, koska määrittelystä voidaan valita ominaisuudet tarpeen mukaan. Sisäänluettaessa LandXML-formaattia joudutaan ottamaan kaikki formaatin määrittelyn piirteet huomioon, josta johtuen sisäänluku on huomattavasti työlämpi toteuttaa. (LandXML 2003)

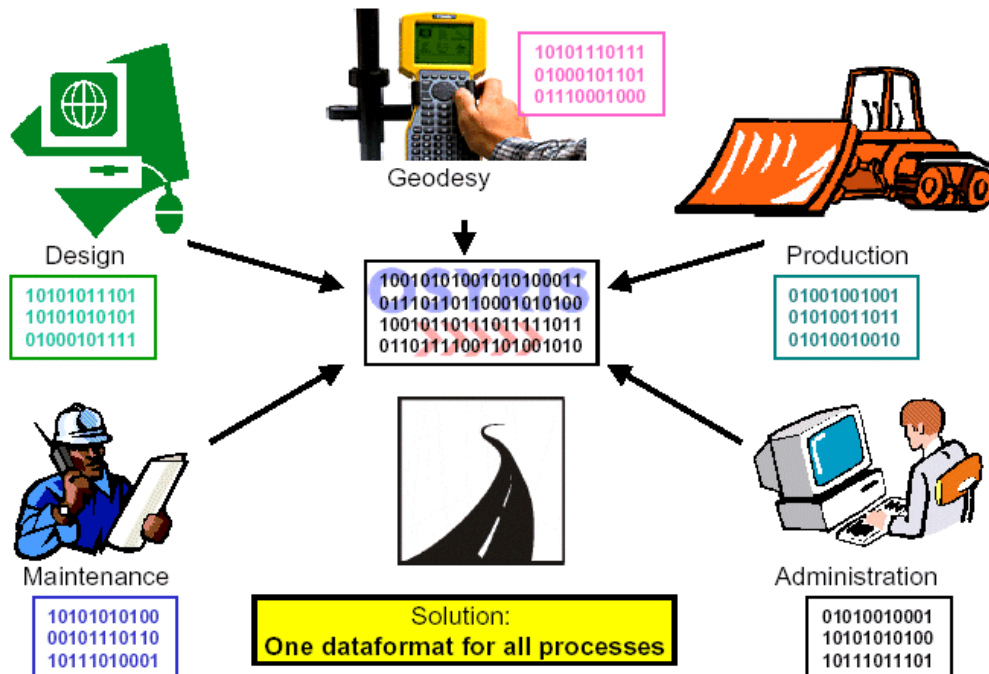
LandXML:n yhtenä ajatuksena on se, että voidaan lukea useilla erilaisilla päätelaitteilla ja ohjelmistoilla. Kevyemmin varustetut kämmentietokoneet lukevat tiedostosta niiden käsittelykapasiteetille sopivat tiedot, kun taas tehokkaammalla PC-tietokoneella voidaan muodostaa kolmiulotteinen geometrian kuvaava malli. LandXML ei ota kantaa siihen, miltä tieto näyttää suunnittelijalle. Se on käytettävän ohjelmiston tehtävä. LandXML kuvaa ainoastaan suunnittelumallin tarvitseman tiedon.

### 3.3.6.3 Osyris

Osyris (Open System for Road Information Support) on EU:n rahoittama kolmivuotinen kehityshanke, jonka tarkoituksena on kehittää tietotekniikkaan perustuva hallintajärjestelmä tienrakennus- ja ylläpitoprosesseihin. Järjestelmä kattaa tienrakennuksen kaikki vaiheet aina pohjatietojen hankinnasta elinkaaren seurantaan. Erityisesti tavoitteena on luoda avoin kehittynyt järjestelmä eri prosessien välisen tiedonsiirron tarpeisiin. (Peyret & Tasky 2002)

Osyris-projektissa on havaittu tienrakennuksen tietojärjestelmien ongelmaksi samantyyppiset asiat kuin tässä tutkimuksessa. Kehittyneitä tietotekniikkapohjaisia työkaluja on saatavilla eri tienrakennustyön vaiheisiin, mutta tiedonsiirto näiden järjestelmien välillä on hankalaa tai jopa mahdotonta. Vaiheesta toiseen siirryttäessä menetetään ar-

vokkaita tietoja ja osa tiedoista joudutaan kirjaamaan uuteen järjestelmään uudelleen. Osyris-projekti pyrkii parantamaan edellä kuvattua tilannetta luomalla avoimia rajapintoja eri tienrakennuksen vaiheissa käytettävien järjestelmien välille. (Kajanan 2002)



Kuva 11. Osyris-järjestelmän komponentit (Osyris 2002).

Osyris on kokoonpanona avoin ja modulaarinen. Tämä mahdollistaa kolmansien osapuolten järjestelmien liittämisen osaksi kokonaisjärjestelmää. Uusia koneita voidaan lisätä järjestelmään, ja tällä tavoin kokoonpanoa voidaan muokata vastaamaan paremmin asiakkaiden tarpeita. Ensisijaisesti Osyris on tarkoitettu tienrakentamisen päällystetyön tukijärjestelmäksi, mutta muidenkin koneiden lisääminen järjestelmään on mahdollista. Projektin aikana on suoritettu useita työmaakokeita Ruotsissa ja Saksassa erityyppisillä kestopäällystetyömailla, ja tulokset ovat olleet lupaavia. Ensisijainen hyöty järjestelmän käytöstä saadaan työajan säästönä. Pitkällä tähtäimellä saadaan etua kertyneestä rakennustiedosta, jota voidaan käyttää hyväksi tien ylläpidossa ja uudelleenkäytössä. (Kajanan 2002, Ligier et al. 2002)

Erityisen kiinnostuksen kohteena Osyris-projektissa tätä tutkimusta ajatellen ovat Osyris-järjestelmän tarjoamat mobiilipalvelut. Mobiilipalvelut sisältävät viestintämenetelmät eri järjestelmäkomponenttien välille. Tietoa voidaan siirtää eri työkoneiden välillä, toimistokomponenttien ja työkoneiden välillä sekä työmaan ja pääkonttorin välillä (kuva 11). Näistä erityisesti työkoneiden väliset yhteydet ja tiedonvälitys suunnitteluohjelmista työkoneisiin ovat mielenkiintoisia. Palvelujen käyttäminen on mahdollista kolmella tasolla. Työkoneiden välinen viestintä tapahtuu viestiliikenteenä TCP/IP-

protokollan päälle rakennetulla rajapinnalla. Tiedostojen siirto toimistokomponenttien ja työkoneiden välillä tehdään XML-muodossa olevan määritellyn formaatin avulla. Käyttöjärjestelmätason palvelut toteutetaan siirrettävien massamuistivälineiden avulla. (Kajanen 2002, Jurasz et al. 2002)

## **3.4 XML-kielen soveltaminen maanrakennuskoneiden ohjauksessa**

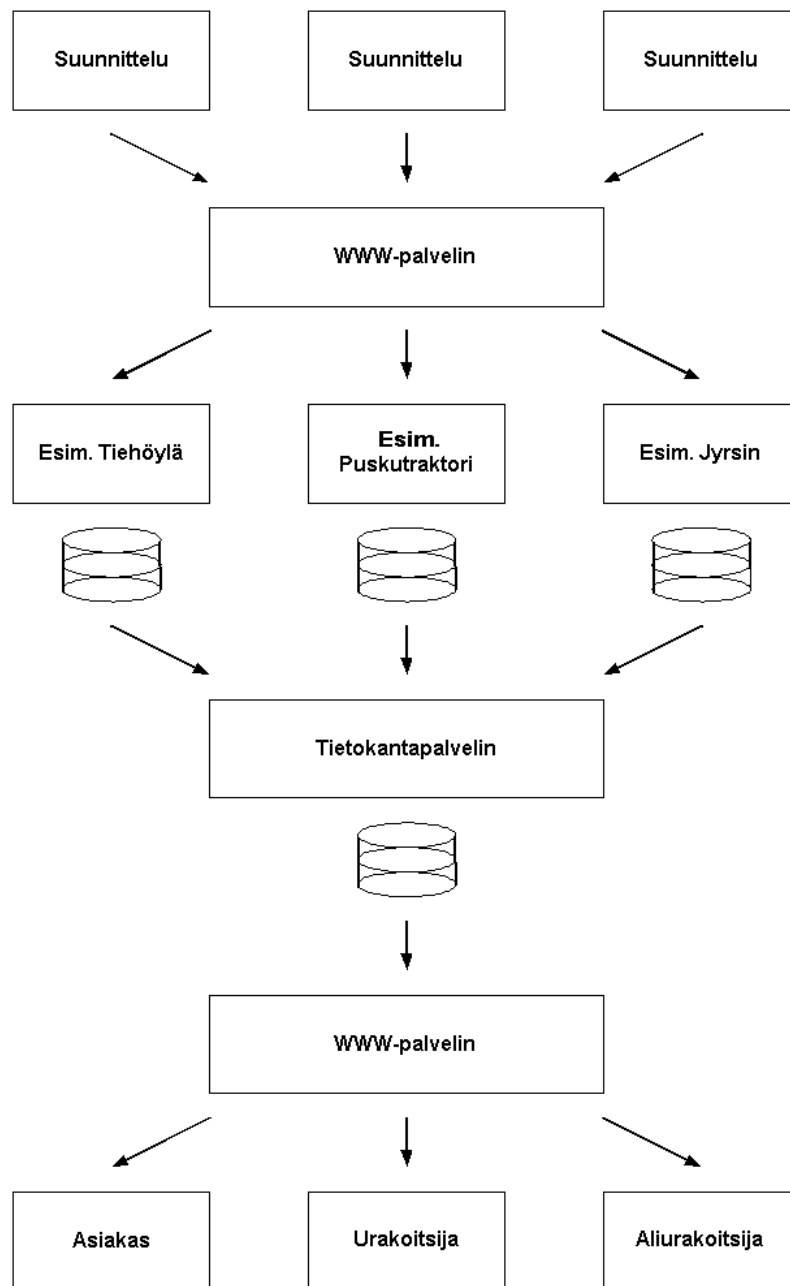
### **3.4.1 Rakentamisprosessin tiedonhallintajärjestelmä**

MODU-projektissa tutkittiin yleiskäyttöisiä menetelmiä suunnittelutiedon siirtämiseen työkoneiden ohjausjärjestelmiin ja käyttämiseen hyväksi työkoneen automaattisessa ohjauksessa. Samoin tutkittiin automaattisia tiedonkeruumenetelmiä ja menetelmiä laatu-tietojen tallentamiseen. Kuvassa 12 esitetään maanrakennukseen soveltuva järjestelmä erilaisten rakennusprosessissa tarvittavien tietojen tallentamiseen ja jakamiseen käyttäjille. Järjestelmä on tietokantapohjainen ja sitä käytetään selainpohjaisesti. Järjestelmä käyttää XML-muodossa olevia dokumentteja. (Tukeva 2003)

WWW-sivuilta tapahtuva suunnitelman lataaminen on käytännöllinen vaihtoehto, koska selain voi näyttää tiedoston sisällöstä tehdyn XSL-muunnoksen ennen lataamisen aloittamista. Kuljettaja voi näin helposti varmistaa tiedoston sisällön ja sopivuuden työkohteeseen. Uusien suunnitelmien haku käy vaivattomasti ilman fyysisen tallennuslaitteen siirtämistä. Haittapuolena on GPRS-verkon heikko nopeus ja rajallinen toiminta-alue haja-asutusalueilla. (Tukeva 2003)

WWW-sivuille malli on helppo päivittää, eikä sitä tarvitse lähettää tai toimittaa kaikille toimijoille erikseen. Kaikki työntekijät, joilla on pääsy sivustolle, saavat ladattua uudet mallit omatoimisesti ja saavat ne heti käyttöön. Tiedostoja voidaan katsella normaalilla selaimella (Internet Explorer, Netscape, ym.).

Järjestelmä mahdollistaa suunnitelmatietojen lataamiseen työkoneeseen sekä työkoneen tuottaman laatu-tiedon tallentamiseen järjestelmään. Työkoneet keräävät XML-muotoisen laatu-tiedon kiintolevyilleen ja lähettävät eteenpäin tietokantapalvelimelle sopivina paketteina. Asiakkaat ja toimijat voivat seurata kerättyä tietoa WWW-palvelimelta tehdyillä tietokantahauilla, jotka muotoillaan sopiviksi HTML-raporteiksi käyttäjryhmän mukaan.



Kuva 12. Tietokantapohjainen järjestelmä työprosessiin liittyvän tiedon tallentamiseen ja jakamiseen.

### 3.4.2 Esitys suunnittelutiedon XML-pohjaiseksi siirtoformaatiksi

Suunnittelutiedon XML-malli on jaettu neljään päähaaraan, jotka sisältävät ryhmitelysti tarvittavan tiedon (kuva 13). Juurielementin alla on ensimmäisenä *Header*-elementti, joka sisältää suunnitelman ja työmaan tunnistetiedot. Näiden perusteella voidaan var-

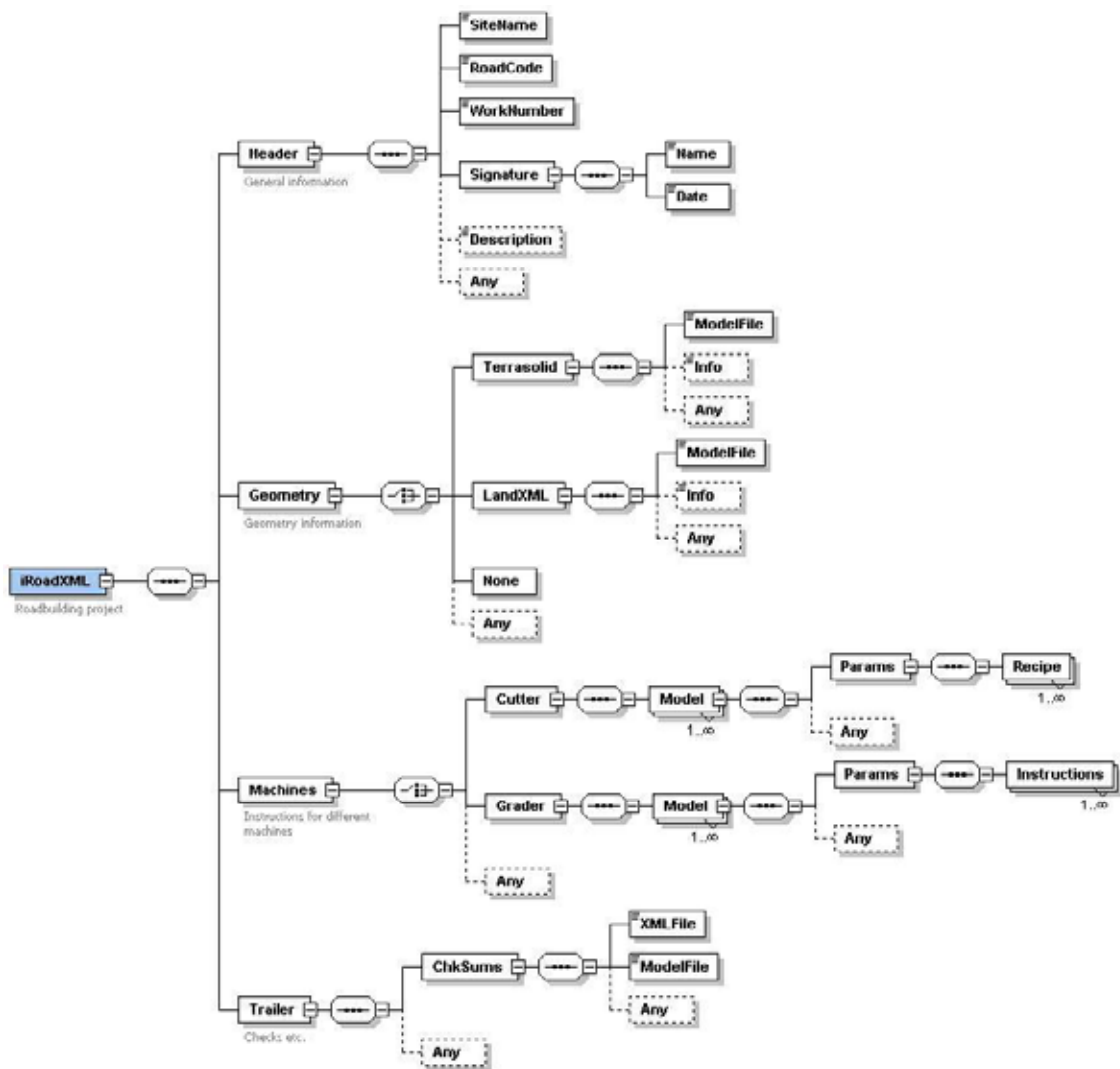
mistaa, että käytettävä tiedosto on oikea, ja jäljittää suunnittelija mahdollisten epäselvyyksien varalta. Tähän lohkoon sisältyy myös vapaamuotoinen työmaan kuvaus, jolla voidaan välittää esimerkiksi työohjeita tai varoituksia koneenkäyttäjälle. (Tukeva 2003)

Seuraava päähaara muodostuu *Geometry*-elementistä, joka sisältää valintarakenteen eri geometriaformaateille. Elementtien alle voidaan sijoittaa geometriakuvaus tai viittaus ulkoiseen tiedostoon, jossa kuvaus sijaitsee. Joissakin tapauksissa, kuten pelkän reseptin mukaan tapahtuvassa stabilointijyrnsinnässä, geometriakuvausta ei tarvita lainkaan. Tällöin geometriaosiosta voidaan valita *None*-vaihtoehto. Jos käyttöön otetaan tässä määrittelemätön formaatti, voidaan se sijoittaa *Any*-elementin alle. (Tukeva 2003)

Tämän työn kannalta mielenkiintoisin osuus on *Machines*-elementin sisältö. Se sisältää työkoneiden tarvitseman informaation. Tässä vaiheessa mukana on kaksi case-konetta, mutta koneita voidaan lisätä tarvittaessa helposti ilman olemassa olevien koneiden toiminnan häiriintymistä. *Machines*-elementin alla on valintarakenne, josta käytössä oleva konetyyppi ja malli voidaan valita. Myös samaa konetyyppiä olevia koneita voi olla useita eri malleja. Konetyyppien alla on elementit konekohtaisille ohjeille, joihin ne sijoitetaan attribuuttitietona. Stabilointijyrnsimen tapauksessa parametrit eli reseptit sijoitetaan *Recipe*-elementin alle ja tiehöylässä työohjeet *Instructions*-elementin alle. Koneille on varattu myös *Any*-lohko, johon voidaan sijoittaa valmistajakohtaisia virityksiä ja lisätietoja. (Tukeva 2003)

Viimeinen päähaara eli *Trailer*-elementti sisältää tarkistuksia tiedostoille. XML-tiedosto tarkistetaan myös validoimalla se schemaa vastaan, mutta jossakin muussa formaatissa oleva geometriatiedosto tarvitsee tarkistuksen laskemalla siitä tarkistussumma.

Kaikkiin päähaaroihin on sijoitettu määrättyihin kohtiin *Any*-elementtejä. Näiden tarkoitus on varmistaa järjestelmän nopea laajennettavuus yllättäen ilmeneviä tarpeita vastavaksi. *Any*-elementit voivat sisältää mitä tietoa tahansa, mutta ne eivät ole pakollisia. Kun nopeasti tarvittavat lisäykset tehdään näiden elementtien alle, on järjestelmä sekä ylös- että alaspäin yhteensopiva muutoksista huolimatta. *Any*-elementtejä voidaan käyttää myös valmistajakohtaisiin erityisvirittelyihin, joilla voidaan hakea lisäarvoa suunnitelmalle ja näin saada kilpailuetua. (Tukeva 2003)



Kuva 13. Suunnittelutiedon XML-malli.

Edellä kuvatut elementit näkyvät puumaisessa rakenteessa (kuva 13) laatikoina. Katkoviivoin piirretyt laatikot ovat rakenteessa vapaaehtoisia eli jäsenin ei hylkää tiedostoa niiden puuttumisen vuoksi. Yhtenäisellä viivalla kuvatut laatikot on tiedostosta löydettävä. Attribuutteja ei näytetä rakennekuvauksen puumallissa, vaikkakin ne mukana edellä kuvatulla tavalla ovat. Laatikoiden yläreunassa olevat kolme viivaa tarkoittavat sitä, että elementin sisältämä tieto on tyypitetty eli sen muoto on määrätty. Elementin alla oleva 1...∞ -merkintä tarkoittaa sitä, että elementtejä voi olla rajoittamaton määrä. Normaalisti elementtejä voi olla ainoastaan yksi saman dokumentin sisällä.

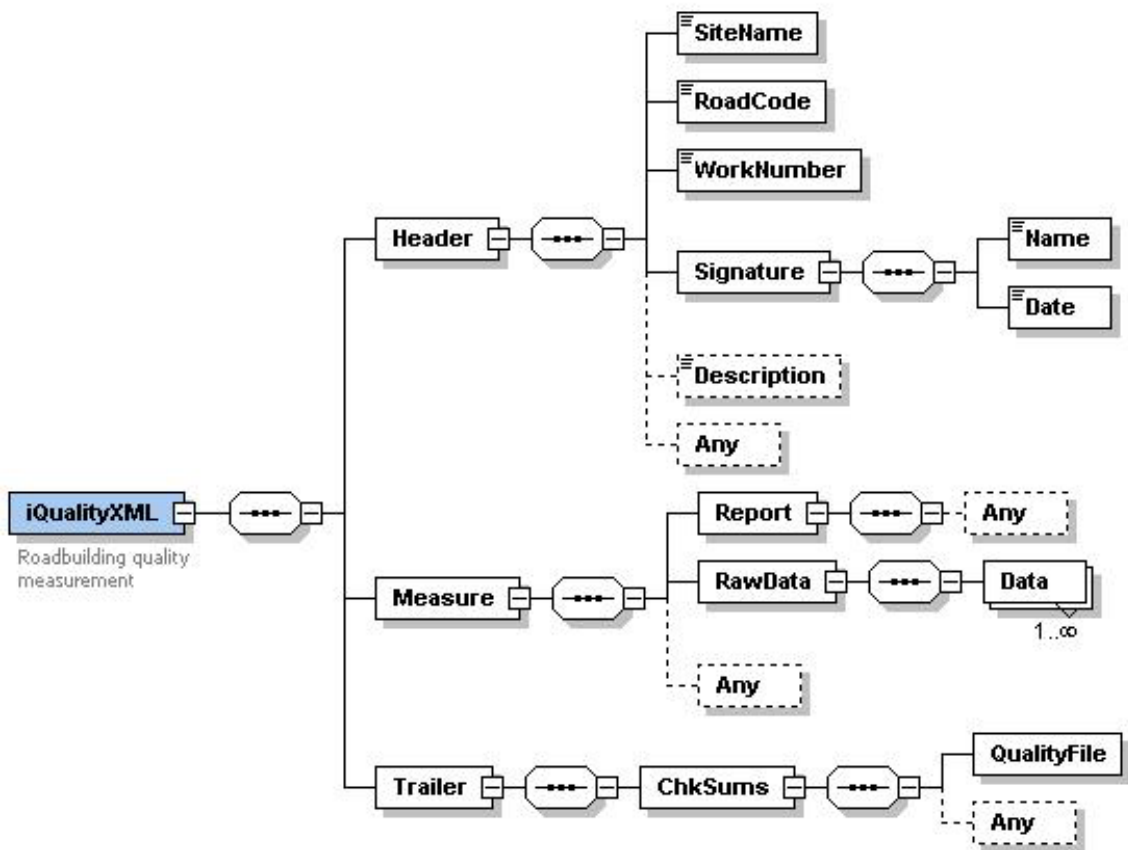
### 3.4.3 Esitys laatutiedon XML-pohjaiseksi siirtoformaatiksi

Laatutiedon XML-malli (kuva 14) on rakenteeltaan samantyyppinen kuin suunnitelman (kuva 13). Päärungon *Header*-elementin tunnistetiedot kopioidaan suunnitelmasta, jolloin laatumittaus-tieto saadaan sidottua yhteen saman alueen suunnitelman kanssa. *Signature*-elementin alle sijoitetaan kuljettajan tiedot. (Tukeva 2003)

Laatumittausten sisältämä tieto kootaan *Measure*-elementin alle käsittelemättömänä mittaus-tietona ja jalostettuna raporttina. Raportin muoto on avoin, joten eri osapuolet voivat muotoilla raportit itse haluamastaan sisällöstä. Käsittelemätön tieto lisätään *Data*-elementteinä, joiden attribuutteina on mitattavien antureiden arvoja tai työkoneen kinematiikasta laskettuja geometriatietoja, kuten korkeus ja kallistus sekä näiden poikkeamat suunnitelmaan. (Tukeva 2003)

Laatutiedon käsittelyssä on tärkeää varmistaa tiedon muuttumattomuus. Eri osapuolilla saattaa tulla tilanteita, joissa laatudokumenttia jälkikäteen muuttamalla saadaan aikaan huomattavia kustannussäästöjä. Tämäntyyppinen toiminta voidaan estää tai sitä voidaan ainakin huomattavasti vaikeuttaa lisäämällä yrityskohtainen tarkistuslaskenta dokumentin sisällöstä. Nämä tarkistussummat lisätään suunnitelman tavoin dokumentin loppuun *Trailer*-elementin alle. (Tukeva 2003)





Kuva 14. Laatutiedon XML-malli.

## 4. Työmaan tietoliikennetkaisu

### 4.1 Tiedonsiirtotekniikat

#### 4.1.1 GSM/GPRS

GSM on alun perin suunniteltu puheensiirron asettamien vaatimusten mukaan. GSM-tekniikka perustuu laajaspektriseen lähetykseen, taajuushyppelyyn ja aikajakomultipleksoinnin käyttöön (TDMA:n ja FDMA:n yhdistelmä). Se on datansiirrossa suorituskyvyllään melko vaatimaton, eikä se myöskään toimi TCP/IP-protokollan kanssa ongelmattomasti. Teoriassa siirtonopeus on 9,6 kbit/s, mutta käytännössä se on noin 6 kbit/s. HSCSD-laajennus tuo suuremmat siirtonopeudet varaamalla useamman rinnakkaisen kanavan GSM-kehiksestä. Tässäkin GSM-linkin epävarmuusongelmat kuitenkin säilyvät.

GPRS on GSM-järjestelmän radiopakettiverkkolaajennus, jossa GSM-linkin datasiirtoominaisuuksia on parannettu. Tieto GPRS-verkossa siirretään paketteina eritasoisilla kanavakoodausalgoritmeilla koodattuna, jotka tarjoavat erilaisia datanopeuksia ja virheensieto-ominaisuuksia. Teoriassa GPRS-verkon maksiminopeus on 171,2 kbit/s, mutta käytännössä ainakaan alkuvaiheessa käyttäjälle ei anneta näin suurta kaistaa, vaan todellisuudessa voidaan jäädä jonnekin 40–80 kbit/s tasolle. Tulevaisuudessa GPRS:n tiedonsiirtokyky tulee kuitenkin kasvamaan.

Suurin etu GPRS:ssä ei ole kuitenkaan tiedonsiirtonopeuden ja luotettavuuden nousu GSM:ään verrattuna vaan tiedonsiirtoperiaatteen muuttuminen piirikytkentäisestä pakettikytkentäiseksi. Tuloksena on parempi IP-yhteensopivuus, nopeampi yhteyden muodostaminen sekä hinnoittelun muuttuminen aikaveloituksesta siirrettyyn tietomäärään pohjautuvaksi. GPRS mahdollistaa monia aivan uudenlaisia sovelluksia, jotka GSM:n toimintaperiaatteen ja tariffipolitiikan oloissa eivät olisi joko teknisesti tai taloudellisesti perusteltuja. GPRS:tä voikin tulla huomattavasti merkittävämpi mobiilitekniikan uudistus kuin on alun perin kaavailtu.

Seuraava GSM:n kehitysaskel on EDGE-tekniikka, joka on radiospektriltään ja TDMA-aikajaltaan yhteensopiva GSM/GPRS:n kanssa. Modulaatiotekniikkaan tulee GMSK:n rinnalle 8-PSK, mikä nostaa tiedonsiirron teoreettisen maksiminopeuden arvoon 384 kbit/s. Tiedon pakkaustiheyden kasvattaminen modulaatiota muuttamalla lyhentää kuitenkin yhteysetäisyyksiä, joten laajempi kaista saadaan käyttöön vain tukiaseman lähellä. Etäämpänä tukiasemasta EDGE-laitteet toimivat normaalin GSM/GPRS:n tavoin. Yksinkertaisimmissa laitteissa EDGE-tekniikka otetaan käyttöön vain downlink-suunnassa. EDGE:n vahvuudet ovat GSM/GPRS-yhteensopivuus sekä erityisesti se, että sen käyttöönotto ei vaadi operaattoreilta uutta radiotaajuuksien lisensointia. Vuoden 2004 aikana EDGE on Suomessa käytettävissä suurimmissa kaupungeissa, esim. Helsingissä, Turussa, Tampereella ja Oulussa.

### 4.1.2 WLAN

WLAN-tyyppiset ratkaisut eivät tiukasta radiopuolen sääntelystä (ETSI/FCC) huolimatta ole ominaisuuksiltaan yhdenmukaisia. Toteutuksien ominaisuudet on yleensä optimoitu suunnitellun pääkäyttötavan vaatimusten mukaisesti. Parhaan WLAN-tekniikan valitsemisen kirjavasta valikoimasta ei siksi ole kaikkien sovellusten kohdalla yksiselitteisen helppoa.

Langattoman tiedonsiirron tehokkuutta arvioitaessa radiotien kaistaleveyden merkitystä yleensä huomattavasti yliarvioidaan muiden ominaisuuksien kustannuksella. Erityisesti purskeisessa tiedonsiirrossa käyttäjän havaitsemaan tehokkuuteen voi vaikuttaa enemmän esim. tiedonsiirtokanavan haltuunoton (access) tai palvelun nopeus. Tilanteissa, jossa samalla alueella on paljon muuta samanaikaista liikennöintitarvetta, voi liian laajakaistainen liikennöintitapa kokonaan estää rajallisen radiokaistan tehokkaan yhteiskäytön.

Nopeasti yleistynyt 2,4 GHz:n alueella toimiva 802.11b on hyvä esimerkki laajakaistaisesta langattomasta järjestelmästä, joka täyttää erittäin hyvin tyypillisen toimistokäytön ja esitysgrafiikaltaan vaativan Internet-surffailun tarpeet. Nämä käyttöympäristöt eivät vaadi radiotien jakoa useisiin samanaikaisiin reaaliaikaisiin tiedonsiirtoyhteyksiin, joten järjestelmästä puuttuvat lähes täysin tätä toimintaa tukevat ominaisuudet. Tämä johtuu 802.11-standardissa määritellystä radiokanavan CSMA/CA-kilpavarauksenmenettelystä. Kaistan tehokas reaaliaikainen jako vaatii toisentyypistä radiokanavan hallinnan toteutustekniikka. Rajatun kaistan jako usealla käyttäjälle johtaa luonnollisesti yksittäisen käyttäjän tasolla kapeampaan tiedonsiirtokaistaan.

Toinen lisenssivapaan mikroaaltotekniikan merkittävä rajoitus on pienestä lähetystehosta aiheutuva lyhyt kantomatka ja esteiden aiheuttama voimakas vaimennus. Kantomatkan pituuteen vaikuttavat tehon lisäksi myös käytetty kaistaleveys ja radiosignaalin modulaatiotekniikka. Kapeakaistaisimmilla järjestelmillä saadaan pisimmät yhteysvälit taajuushyppelytekniikassa (FHSS). Suorasekvenssitekniikassa (DSSS) puolestaan hajautuskaistan laajentaminen parantaa signaalin kantavuutta. Jälkimmäisessä tapauksessa yhteysetäisyyksien kasvattaminen varaa siis laajemman kaistan heikentäen kaistan rinnakkaista käyttöominaisuutta.

Tietotiheydeltään tehokkaiden modulaatioiden (esim. vaihemodulaatio PSK) käyttö heikentää kantavuutta. Pisimmät yhteydet saadaan aikaan vähemmän tehokkaalla GMSK-modulaatiolla, jota mm. GSM radiolinkki käyttää. Jonkin verran heikompi kantavuudeltaan on Bluetoothissa käytetty GFSK-modulaatio. 802.11:n soveltamat BPSK- ja QPSK-modulaatiotekniikat pakkaavat informaatiota tehokkaasti mutta ovat kantavuuden suhteen edellisiä selvästi huonompia.

## **4.2 Sovellusesimerkki: Langaton tietyömaan ohjaustiedon hallinta**

### **4.2.1 Tavoitteet**

Hankkeen tavoitteena oli kehittää ja pilotoida langattomaan tiedonsiirtoon perustuvaa tienrakennuskoneiden ja rakennusmateriaalien hallintajärjestelmää. Järjestelmällä pyrittiin tehostamaan koko rakentamisen toimintaprosessia parantamalla tiedonkulkua, kirjausta sekä raportointia eri työvaiheiden välillä. Kehitetystä järjestelmästä pyrittiin soveltamaan käytäntöön uusia innovatiivisia komponentteja huomioiden kuitenkin rakennuslalla vallitsevan kilpailutilanteen asettamat kustannustehokkuusvaatimukset. Projektissa kehitetty järjestelmä tuo GPRS-tiedonsiirtoon perustuvan reaaliaikaisen resursien ja materiaalien seurannan rakennushankkeiden ohjaustyön avuksi. Järjestelmä kerää tietoa kuljettaja- tai ajoneuvokohtaisilla päätelaitteilla ja varastoi sen keskitetysti relaatiotietokantaan. Tietokantaan varastoitu tieto on sopimusosapuolten eri sovellusten käytettävissä kaikkialla, missä on yhteys Internet-verkkoon. Sovellusesimerkkeinä tietoa voidaan käyttää mm. työmaan ohjaussovellusten, raportoinnin ja laskutuksen tarpeisiin. (Känsälä 2003, Känsälä et al. 2004)

Järjestelmän tärkeimpänä vaatimuksena oli soveltuvuus sekä uudis- ja korjausrakentamiseen että tieverkoston ylläpidon ja kunnossapidon sovellutusten käyttöön. Lisäksi huomiota tuli kiinnittää avoimeen toteutusarkkitehtuuriin, koska järjestelmän tuli olla kohtuullisin laiteinvestoinnein myös urakoitsijoiden käytettävissä. Järjestelmää kehitettäessä haettiin kustannustehokasta toteutusta käyttämällä mahdollisimman paljon hyväksi web-teknologiaa ja kaupallisia teleoperaattoriverkkoja. Teleoperaattoriverkot tarjoavat lähes koko maahan kohtuullisella palvelutasolla varustetut tietoliikenneyhteydet, jotka ovat käyttökustannuksiltaan erikokoisten toimijoiden saavutettavissa. Web-teknologialla saavutettavat edut näkyvät lähinnä päätelaitepuolella loppukäyttäjän vallinnan vapautena runsaasta päätelaitekirjosta ja nopeutena vaihtaa päätelaitteet uusiin tai toisentyypisiin vaikkapa työsuorituksen aikana. Web-teknologialla saavutetaan järjestelmän palveluiden saatavuus kaikkialla, missä on saatavilla yhteys Internet-verkkoon. (Känsälä 2003, Känsälä et al. 2004)

### **4.2.2 Järjestelmän vaatimukset**

Projektin alkuvaiheessa määriteltiin yhteistyössä mukana olleiden käyttäjäosapuolten kanssa vaatimuksia ja tarpeita kehitettävälle järjestelmälle. Tärkeimpänä yleispiirteinä esille tulivat tiedon keräämiseen ja käyttämiseen liittyvät asiat sekä työvaiheiden suunnittelua helpottavat asiat. Järjestelmästä saatava hyöty ja kilpailuetu tulisivat esiin juuri toimintaprosessin tehostamisena mainituilla toimenpiteillä. Käsien tehtävän kirjauksen ja

tiedonkäsittelyn siirtyminen digitaaliseen enemmän automatisoituun muotoon nopeuttaa tiedon läpimenoa toimintaketjussa. Tämä puolestaan mahdollistaa lähes reaaliaikaisen toiminnan seurannan ja siihen perustuvan suunnittelun ja ohjauksen.

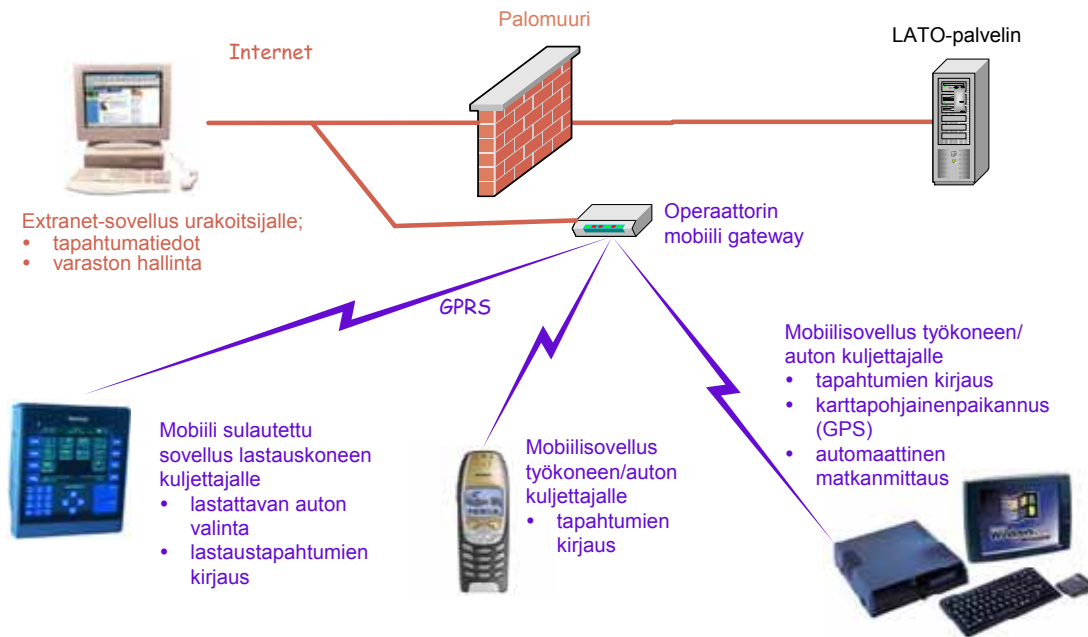
Järjestelmään tämän projektin puitteissa liitettävien koneiden määrää rajattiin työmaatestien asettamien rajoitusten mukaisesti. Työmaatestijaksoissa painotettiin materiaalikuljetuksia ja niiden tiedonkeruu- sekä toiminnanohjaustarpeita. Järjestelmään tarvittiin päätelaitteet ja sovellukset kuorma-autoihin ja lastauskoneisiin. Vaihtoehtoja tuli olla muutamia eri hintaryhmiä, jotta voidaan vertailla erihintaisten laitteiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta tämänkaltaiseen käyttöön.

Työmaatestien rajoitteiden perusteella ei kuitenkaan suljettu pois muiden koneiden liittämistä järjestelmään, vaan uusien koneiden määrittäminen ja liittäminen mukaan järjestelmään jätettiin mahdolliseksi avoimen liityntärajan kautta. Järjestelmän laajentamista suunniteltiin mm. 3D-ohjauksella varustetun tiehöylän tarpeisiin, jolloin suunnittelu- ja laatu-tietoa voidaan siirtää langattoman verkon välityksellä koneen ja toimiston välillä.

Toteutumatietojen tallentaminen keskitettyyn tietokantaan koettiin määrittelyvaiheessa tärkeäksi juuri työn dokumentoinnin kannalta. Työmaan toiminnasta kertyvä tieto on eri osapuolten käytettävissä lähes reaaliajassa. Tietoa voidaan jakaa tilaajan ja pääurakoitsijan tietokannoista eteenpäin erilaisilla käyttöoikeuksilla varustetuille käyttäjäryhmille. Aliurakoitsijoiden tulisi saada tiedot omista urakoistaan ja yksittäisten henkilöiden omista työsuorituksistaan. Erilaisten käyttäjäryhmien hallinta edellyttää keskitettyä järjestelmänhallintaa päätoimijan puolesta.

### **4.2.3 Toteutusympäristö**

LATO-projektin palvelinympäristö koostuu kuvan 15 mukaisesti palvelimena toimivasta keskustietokoneesta ja muista tarvittavista verkkolaitteista. Järjestelmä ei aseta tarvittavien ohjelmistojen lisäksi palvelimelle ja verkkototeutukselle mitään erityisvaatimuksia. Palvelin on liitetty projektin koeajoissa Internetiin ADSL-yhteydellä. Yhteysnopeus ei ole aiheuttanut testivaiheessa ongelmia, mutta operaattoreilla käytössä olevat nopeammat laajakaistayhteydet mahdollistavat järjestelmän kuormittamisen monipuolisella palvelutarjonnalla LATO-järjestelmän lisäksi. Palvelimen ja ADSL-sovittimen välissä on konfiguroitava palomuuuri, jolla voidaan rajoittaa järjestelmään pääsyä sekä suojata järjestelmä ylimääräisiltä asiattomilta käyttäjiltä. (Känsälä 2003, Känsälä et al. 2004)



Kuva 15. LATO-verkko.

## 4.2.4 Päätelaitteet

### 4.2.4.1 Ajoneuvotietokone

Ajoneuvotietokone on ajoneuvoon kiinteästi asennettava tietokonelaitteisto, joka sisältää yleensä keskusyksikön, näytön sekä ohjauslaitteen (näppäimistön, kosketusnäytön, yms.). Laitteisto voi olla PC-pohjainen tai enemmän sulautettu kevyemmällä prosessorilla toteutettu ympäristö. LATO-järjestelmän vaatimuksena ajoneuvotietokoneelle on soveltuva Internet-yhteys. LATO-projektin kehitysvaiheessa ohjelmisto toteutettiin Javalla Visual Cafe -ohjelmointiympäristössä.

LATO-projektissa oli kokeiltavana Sunit Oy:n kehittämä PC-tekniikkaan perustuva Sunit d12 -ajoneuvotietokone. Kuljettajat omaksuivat ajoneuvotietokoneen käytön melko nopeasti, koska suurimmalla osalla heistä oli kokemusta PC-kotitietokoneen käytöstä. Kosketusnäyttö hiiren korvikkeena aiheutti muutamia virhetilanteita, mutta muuten käyttö oli kohdullisen sujuvaa. Suuri ja selkeä näyttö sai kiitosta kaikilta sitä kokeilleilta kuljettajilta.

### 4.2.4.2 Matkapuhelin

LATO-ohjelmiston vaatimukset matkapuhelimelle ovat yksinkertaisimmillaan Java-tuki ja GPRS-tiedonsiirtovalmius. Nämä vaatimukset täyttäviä puhelimia on nykyään markkinoilla jo lähes kaikkien matkapuhelinvalmistajien toimesta.

Uudempien mallien tullessa markkinoille testattiin muutamien eri valmistajien puhelinmalleja, mutta varsinainen testilaitteisto koottiin Nokian puhelinmalleista. Kaikkien uudempien puhelinmallien ongelmana on galvaanisen yhteyden puuttuminen ulkopuolisen antennin kytkentää varten. Heikon kenttävoimakkuuden parantaminen ulkopuolisen antennilla osoittautui tärkeäksi varsinkin Rovaniemen ensimmäisessä koeajossa. Myöhemmin kentänvoimakkuusongelmia ratkottiin lisäksi ohjelmistoa kehittämällä.

#### 4.2.4.3 Ajoneuvovaaka

Ajoneuvovaaka toimii LATO-järjestelmässä lastauskoneen kuljettajan päätelaitteena. Vaakalaitteen keskusyksikkö asennetaan lastauskoneen ohjaamoon ja kauhassa olevaa kuormaa mittaavat anturit koneen nostolaitteistoon vaakatyypistä riippuen. Antureilta saadun tiedon perusteella keskusyksikkö laskee kunkin lastattavan kauhallisen painon ja summaa yhteen koko lastaustapahtuman, jonka jälkeen kuljettaja voi tulostaa kuitin ja lähettää samalla tiedot LATO-järjestelmän tietokantaan.

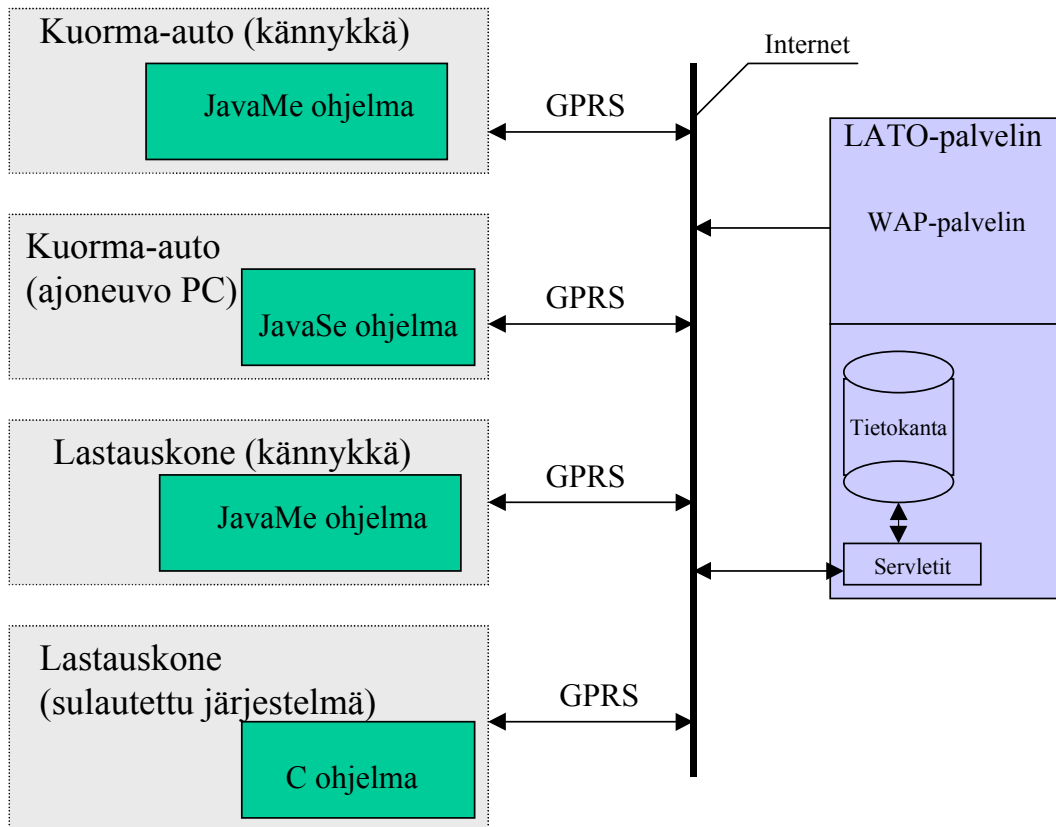
Vaakalaitteen keskusyksikkö muistuttaa sulautetun kevyen ajoneuvotietokoneen keskusyksikköä, jossa on tarvittava ohjelmisto vaakakäyttöön. Mukaan voidaan lisätä LATO-järjestelmän vaatimat ohjelmistot, mutta ne on sovittava vaakalaitteen käyttöjärjestelmään valmistajan toimesta.

Jos vaakalaitetta ei ole lainkaan käytettävissä, voidaan painotiedon tallentamiseen käyttää samantyyppistä puhelinta, kuin autonkuljettajilla. Käytöstä aiheutuu jonkin verran ylimääräistä ”näppäilyä” kuljettajalle, mutta tilapäiseen käyttöön tämä soveltuu hyvin.

#### 4.2.5 Ohjelmistot

LATO-projektin ohjelmat ovat kuvassa 16. Tiedonsiirtoon käytetään Internetiä. Kaikki mobiilit päätelaitteet käyttävät GPRS-tiedonsiirtoa Internetiin kytkeytymiseen.

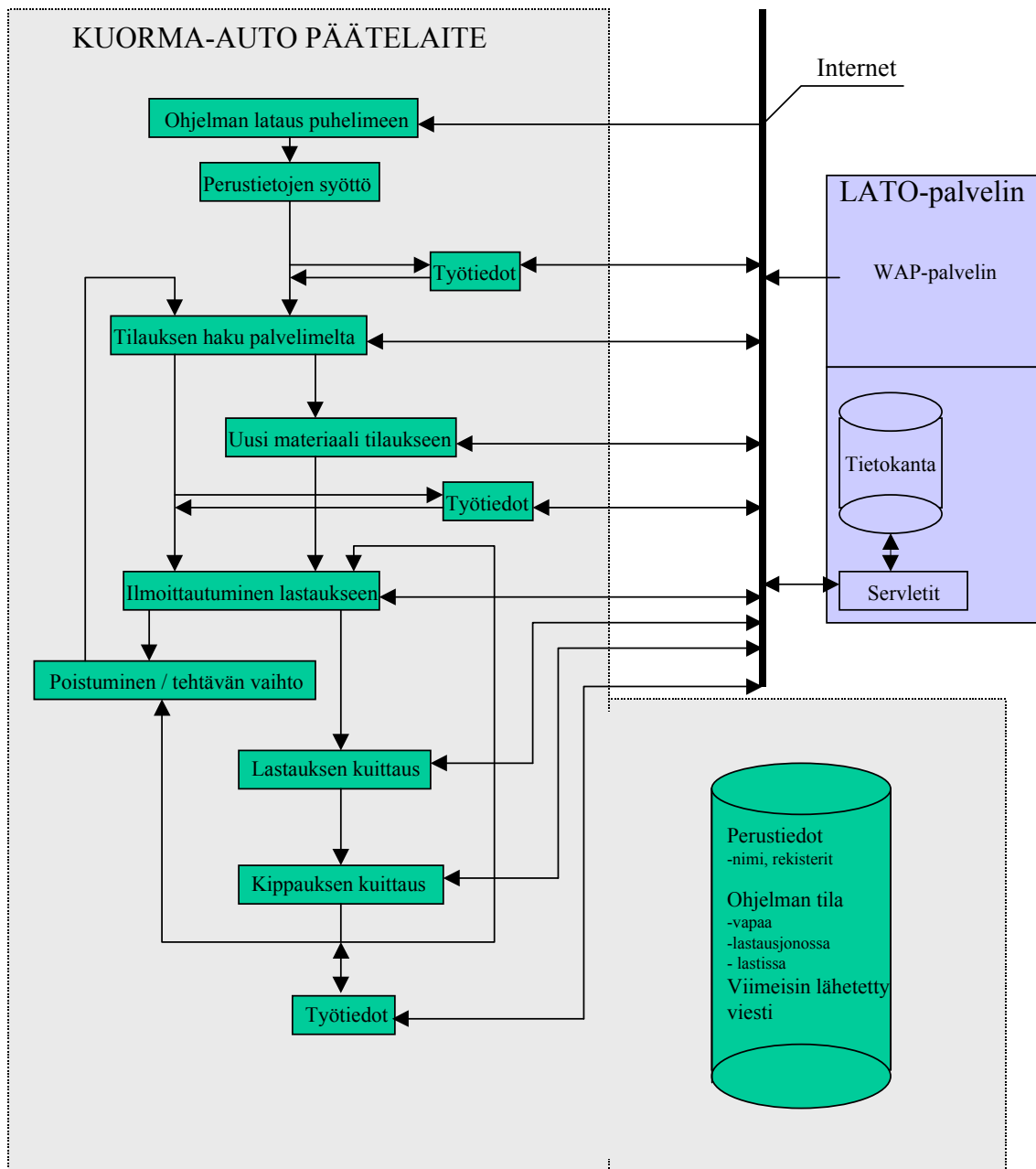
Järjestelmän perusta on palvelin, jossa on wap-palvelin, tietokanta sekä Java-servletit. Wap-palvelimella on ladattavissa kännyköiden (kuorma-auto, lastauskone) tarvitsemat ohjelmat. Eri päätelaitteet eivät pääse suoraan käyttämään tietokantaa, vaan välissä ovat servlet-ohjelmat. Servlet on JavaSe:llä toteutettu palvelinohjelma, joka käynnistyy, kun siihen kohdistuu http-post- tai http-get-viesti. Servlet suorittaa tarvittavat tietokantaoperaatiot, lähettää paluuviestin sitä kutsuneelle päätelaitteelle ja sammuu sen jälkeen. Servletteja on kaksi, toinen lastauskoneille ja toinen kuorma-autoille.



Kuva 16. LATO-projektin ohjelmat päätelaitteittain.

Kännykkäpätelaitteissa olevat ohjelmat ladataan LATO-palvelimen wap-sivuilta. Ohjelmat on tehty JavaMe:llä. Kuorma-auton ajoneuvo-pc:n käyttöliittymä on ohjelmoitu JavaSE:llä. Lastauskoneessa ollut vaaka on valmistajan taholta ohjelmoitu.



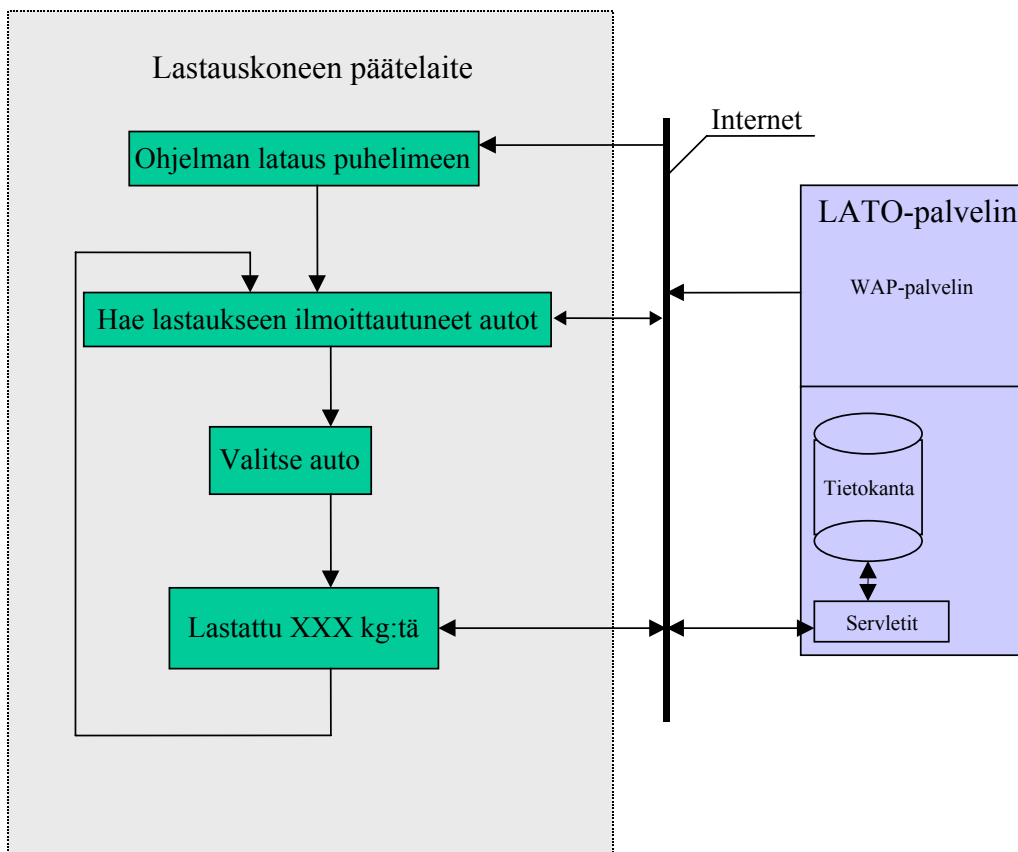


Kuva 17. Kuorma-auton ohjelman toiminta.

Kuvasta 17 näkyy kuorma-auton päätelaitteen ohjelman toiminta. Palvelimen WAP-osalta ladataan ainoastaan ensimmäisellä kerralla varsinainen ohjelma, joka talletetaan puhelimen muistiin. Myös ohjelman alussa syötettävät perustiedot (auto, kuljettaja) tallennetaan muistiin. Normaalisti ohjelma siirtyy käynnistettäessä odottamaan tilauksen hakua palvelimelta. Mikäli ohjelma on sammutettu esim. kuorma päällä -tilaan, se siirtyy automaattisesti käynnistettäessä odottamaan kippauksen kuittausta (ohjelman tila on puhelimen muistissa). Kuljettajan on mahdollista kysyä työtietoja (ko. päivänä tehdyt työt materiaaleittain ja työtehtävittäin) useammassa ohjelman eri vaiheessa. Kuvan 17

mukaisesti ohjelma on jokaisessa vaiheessa yhteydessä tietokantaan. Kuorma-auton ajoneuvotietokoneohjelma on toiminnallisesti samanlainen kuin puhelinversio.

Lastauskoneen puhelinpäätelaitteen ohjelman toiminta on kuvassa 18. Kuorma-auto-ohjelman tapaan myös se ladataan ensimmäisellä kerralla LATO-palvelimen wap-osalta. Normaalisti ohjelma käynnistyy suoraan lastaukseen ilmoittautuneiden autojen hakuun. Ohjelma kysyy automaattisesti tietokannasta ilmoittautuneita autoja noin minuutin välein. Halutessaan kuljettaja voi manuaalisesti suorittaa kyselyn milloin vain. Ohjelma hälyttää äänellä ilmoittautuneista autoista ja siirtyy lastattavan auton valintatilaan. Kuljettaja valitsee auton ja lastauksen jälkeen syöttää lastatun määrän ja lähettää sen tietokantaan. Ohjelma näyttää lastauskoneen kuljettajalle ilmoittautuneen auton rekisterinumeron, kuljettajan nimen, lastattavan materiaalin sekä auton ja mahdollisen perävaunun kantavuuden.



Kuva 18. Lastauskoneen ohjelman toiminta.

## 4.2.6 Koeajot

### 4.2.6.1 Seinäjoen seutu

Projektissa kehitetyn järjestelmän kokeilu aloitettiin Tieliikelaitoksen työmaalla Peräseinäjoella. Koeajoon osallistui viisi kuljettajaa, joista neljä ajoi kuorma-autoa ja yksi lastauskoneetta. Päätelaitteina kolmella autonkuljettajalla oli Nokia 3510i -matkapuhelin ja yhdellä Sunit d12 -ajoneuvotietokone. Lastauskoneen kuljettajalla oli koeajon alussa käytössä Nokia 3510i -puhelimeen ohjelmoitu punnitustiedon syöttöohjelmisto vaakalaitteen päivityksen myöhästymisen vuoksi. Loppuviikoksi vaakalaite saatiin kuitenkin mukaan kokeiluun.

Kuorma-autojen kuljettajien osalta järjestelmän käyttö osoittautui helpoksi. Matkapuhelimia opittiin käyttämään hetkessä, ja ajoneuvotietokonettakin opittiin käyttämään pienen harjoittelun jälkeen. Pyöräkuormaajan vaakaan ohjelmoidun sovelluksen käytön oppiminen oli hieman työläämpää lyhyeksi jääneen koulutuksen takia, mutta työt saatiin käyntiin suunnitellussa aikataulussa. Ohjelmistot toimivat kaikissa päätelaitteissa kohtuullisesti. Puhelimeissa ja vaakalaitteessa ongelmaksi havaittiin erityisesti GSM-kentän heikkeneminen ja katoaminen. Puhelimeissa heikko kentänvoimakkuus ja katkokset aiheuttivat ohjelman jumittumista ja joissakin tapauksissa katoamista muistista. Vaakalaitteessa ongelmana oli verkosta tippuminen, josta laite ei toipunut ilman koneen päävirran poiskytkemistä.

Kokonaisuutena koeajojakso meni kohtuullisesti. Saatujen kokemusten ja käyttäjäpalautteen perusteella järjestelmää voitiin kehittää luotettavuuden ja käytettävyyden kannalta seuraavaa koeajojaksoa varten.

### 4.2.6.2 Rovaniemi

Työmaatestejä jatkettiin Rovaniemellä. Järjestelyt ajoitettiin kouluttamalla koeajoon liittyvät kuljettajat ja työnjohtajat sekä esittelemällä heille järjestelmän toimintaperiaate ja koeajon tarkoitus. Kuljettajat omaksuivat päätelaitteiden käytön nopeasti, ja harjoitusten lomassa järjestelmälle tehtiin vielä viime hetken testaus ennen varsinaisen työn aloittamista. Uutena komponenttina tässä koeajossa olivat mukana WWW-lomakkeet tietojen ja työtehtävien syöttämiseksi järjestelmään. Konttorissa toimivalle henkilölle opetettiin lomakkeiden käyttö, jonka jälkeen hän syötti tulevat työtehtävät järjestelmään.

Rovaniemen koeajon ensimmäinen jakso ajettiin Hietavaarassa Napapiirin Kuljetus Oy:n varastoalueella. Koeajoon osallistui neljä ajoneuvoyhdistelmää sekä yksi lastauskone kuljettajineen. Päätelaitteina kaikilla oli Nokia 3510i -matkapuhelimet, koska mui-

ta laitteita ei Rovaniemen koeajoon saatu käyttöön. GSM-verkon kuuluvuus alueella oli kohtuullinen ja päätelaitteet toimivat varastoalueella kohtuullisesti. Lastauskoneella oli ongelmia muutamissa paikoissa, joissa jyrkkä penkka peitti verkon. Kuorma-autoilla ilmeni ongelmia kauemmas ajettaessa, koska ajomatkan aikana ilmeni verkkokatkoksia. Näiden havaintojen perusteella järjestelmää pyrittiin varmentamaan Rovaniemellä ajettavaa toista koeajojaksoa varten.

Rovaniemen koeajon toinen jakso aloitettiin Mellavaarassa Napapiirin Kuljetus Oy:n varastoalueella. Aikaisemmin tehtyjen havaintojen perusteelle tiedettiin, että Mellavaarassa tulee olemaan ongelmia heikon GSM-kentän takia. Järjestelmään tehtiin varmistuksia kenttäkatkosten varalle, mutta toimenpiteet eivät vielä täysin riittäneet.

Kolmannen koeajojakson tarkoituksena oli tutkia, paljonko yhteyskatkojen aiheuttamia ongelmia voidaan ohjelmallisesti korjata. Testissä oli mukana vain yksi kuorma-auto, ja kuormat tehtiin samaisessa autossa lastauskoneen puhelimella vaakakuittien perusteella, jotta koeajohenkilö näkee koko ajan molempien päätelaitteiden toiminnan. Tulokset olivat huomattavasti parempia edellisiin koeajoihin verrattuna, eli ohjelmoinnilla voitiin parantaa luotettavuutta ongelmatilanteissa merkittävästi.

## **4.2.7 Johtopäätöksiä**

### **4.2.7.1 GPS-matkanmittaus**

Ajoneuvotietokone antaa mahdollisuuden GPS-paikannuksen liittämiseen sovellukseen. Lähes kaikki GPS-laitteet antavat ulos paikkatietoa NMEA-muodossa, joka on helposti luettavissa laitteen sarjaportista. Paikkatietoa voidaan käyttää hyväksi ajomatkojen seurannassa sekä ajoneuvojen ja työkoneiden paikannuksessa työmaalla. Sovellukseen on mahdollista liittää myös karttapohja, jolle voidaan lisätä oma sijainti sekä tärkeitä kohteita.

GPS-pohjaista matkanmittausta kokeiltiin VTT:llä tehdyllä erillisellä C++-sovelluksella, joka jäseni NMEA-paikkatiedosta tarvittavat osat ja laski näiden perusteella ajomatkan. Sovellus toimi kuten trippimittari, ja tulosta voitiin verrata VTT:n Toyota Land Cruiserin talvirenkailla ajettuun trippimittarimatkaan ja Tiehallinnon tierekisterin ilmoittamaan matkaan. Tiehallinnon tierekisterin solmupisteiden väliin perustuvan todellisen matkan ja GPS-laitteelta ohjelmistolla lasketus matkan ero oli ensimmäisellä 13 kilometrin mittausmatkalla vain viisi metriä. Toisella testimatalla, jonka pituus oli 11 kilometriä, virhe oli 47 metriä. Jälkimmäinen testimatka sisälsi jonkin verran korkeuseroja, mikä selittää eroa mittavirheessä.

#### 4.2.7.2 GPRS-tiedonsiirto

GPRS osoittautui päätelaitteiden ohjelmakorjauksien jälkeen luotettavaksi tavaksi tiedonsiirtoon palvelimelle. Koska joka viestiin liittyy kuittaus, päätelaite tietää, menikö viesti perille. Pitempiä katkoja (mahdollisesti tunteja) varten tulisi viestit tallettaa päätelaitteen muistiin. Palvelinohjelmisto voidaan tehdä sellaiseksi, että kerralla lähetetyt tiedot autoista ja lastauskoneesta voidaan yhdistää automaattisesti tietokantaan.

#### 4.2.7.3 Kuljettajien kehitysajatuksia

Puhelimen sekä ajoneuvotietokoneen käyttöliittymä oli kuljettajien mielestä helppokäyttöinen. Napapiirin kuljetuksen ajoissa tehtävät ja materiaalit vaihtuvat usein, ja lastaukseen ilmoittautumiseen kaivattiin helpompaa materiaalin vaihtomahdollisuutta sekä kuljettajalle mahdollisuutta syöttää uusi tilaus päätelaitteellaan.

Mikäli päätelaitteena käytetään puhelinta, autoon tulisi saada puhelimen näyttöä isompi näyttö, johon puhelin yhdistyy. Kuljetuksissa yksityisasiakkaille kaivattiin mahdollisuutta tulostaa autosta kuljetuskuitti asiakkaalle. Kuljettajat painottivat luotettavuuden merkitystä järjestelmää kokonaisuudessa arvioitaessa.

#### 4.2.7.4 Ajoneuvovaaka

Ajoneuvovaa'an liittäminen järjestelmään vaatii valmistajan taholta muutoksia. Yksi mahdollisuus vanhemmankin vaa'an liittämiseksi järjestelmään on ottaa punnitustiedot varsinaisen vaakalaitteen ja tulostimen väliltä. Tulostettavassa tiedossa on yleensä auton rekisteri, lastattu materiaali, päiväys ja aika sekä lastattu määrä. Tällöin lastauskoneen kuljettaja valitsee materiaalin ja auton vaakaan esiohjelmoitujen tietojen perusteella.

#### 4.2.7.5 Web-käyttöliittymä

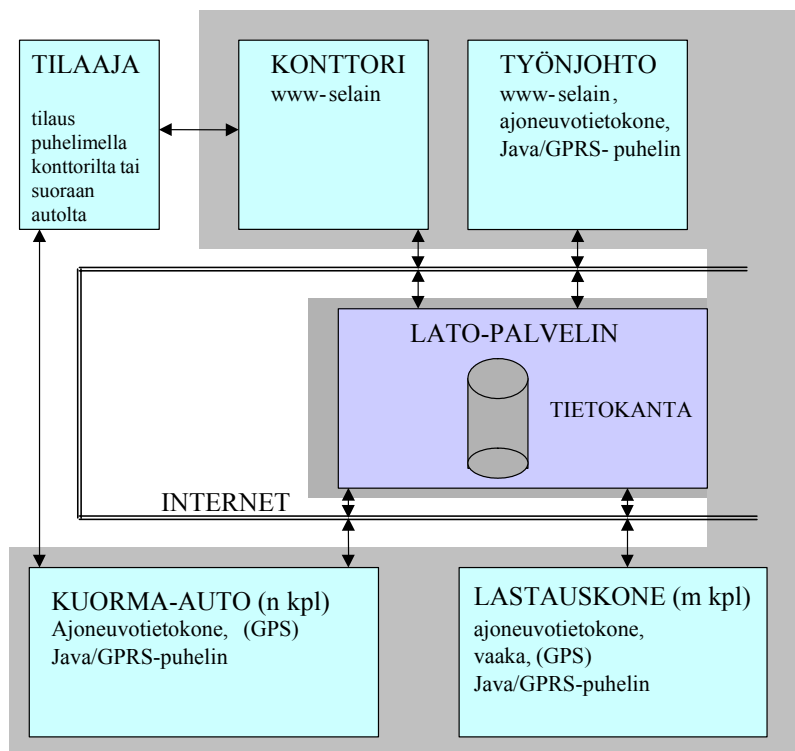
Normaalilla Internet-selaimella on helpoin liittyä järjestelmään. Nyt ei toteutettu eri käyttäjille erilaisia sivustoja, mutta tulevaisuudessa jokaiselle käyttäjäryhmälle (asiakas, kuljetusyritys, työmaamestari, yms.) tulisi luoda omat sivunsa, jotka käyttävät samaa tietokantaa.

#### 4.2.8 Projektin tulosten soveltaminen

LATO-projektissa kehitettyä järjestelmään voidaan soveltaa erityyppisiin tarpeisiin. Soveltaminen pelkkään maa-aineskauppaan on esitetty kuvassa 19. Asiakas tilaa tuotteen maa-aineskauppaa tekevän yrityksen konttorilta tai suoraan kuljettajalta. Suoraan kuljettajalta tilaaminen tulee kysymykseen erityisesti silloin, jos kuljettaja on auton omistaja eli kuljetusyrittäjä. Konttorilta tilaus syötetään tietokantaan WWW-selaimella käytettävien syöttölomakkeiden avulla. Kuljettaja voi syöttää tilauksen päätelaitteena toimivalla vaatimukset täyttävällä puhelimella tai ajoneuvotietokoneella. Konttoritilaukset jaetaan autonkuljettajille työnjohdon WWW-selainkäyttöliittymällä, puhelinkäyttöliittymällä tai ajoneuvotietokonekäyttöliittymällä. Määritellyllä lastauspaikalla lastauskone näkee päätelaitteestaan, mitä materiaalia lastaukseen tulevat autot haluavat kyytiinsä. Lastauskoneen kuljettaja valitsee lastattavan auton ja lastauksen jälkeen kuittaa kuorman valmiiksi, jolloin painotieto rekisteröidään tietokantapalvelimelle. Autonkuljettaja saa painotiedon kuitatessaan lastaustapahtuman valmiiksi omasta päätelaitteestaan ja saa paluutietona autoon lastatun materiaalmäärän.

Autojen GPS antaa sovelluksen laajentamiseen lisämahdollisuuksia, mutta ei ole toiminnan kannalta välttämätön. Mikäli GPS-paikannusta on mahdollista käyttää, lastaus- ja kippauspaikka voidaan rekisteröidä tietokantaan. Työnjohtaja voi paikkatiedon perusteella seurata ajoneuvoja tarvittaessa karttasovelluksesta.

Tietokanta on tässä käyttötapauksessa kuljetusyrityksen hallinnassa joko omalla palvelimella tai vuokrattuna operaattorilta. Operaattorien tarjoamat verkkopalvelut ovat hyvä vaihtoehto järjestelmän toteuttamiseen pienillä ja keskisuurilla kuljetusyrityksillä, joilla ei ole omia verkko- ja palvelinresursseja käytettävissä. Järjestelmän etuna kuljetusyritykselle on mahdollisuus nopeaan laskutukseen, koska tehdyt työt saadaan heti työn päätyttyä tietokannasta. Voidaan seurata varastojen tasoja reaaliajassa ja toimia ennakkoon ennen ongelmatilanteita. Kuljettajat ja kuljetusyritykset näkevät omat tietonsa työtunneista.

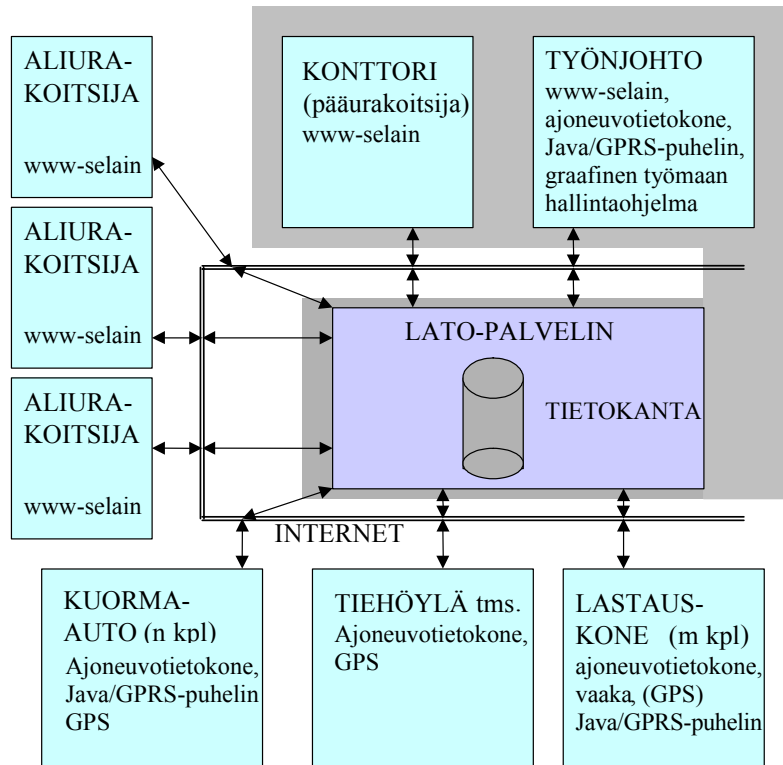


Kuva 19. Maa-aineskauppasovellus.

Kuvassa 20 on esitetty tienrakennustyömaasovellus. Tietokanta on tässä vaihtoehdossa pääurakoitsijan hallinnassa. Aliurakoitsijat näkevät WWW-selaimella käytettävästä käyttöliittymästä omien työkoneittensa tiedot. Kaikki työmaan työkoneet voidaan ottaa mukaan seurantaan järjestelmässä. Työntekijät ilmoittautuvat työn alkaessa järjestelmään ja valitsevat työtehtävän työnjohdon antamista vaihtoehdoista. Työnjohto voi seurata koneiden toimintaa reaaliajassa. Seurattavia kohteita graafisessa työmaanhallinta-ohjelmassa ovat mm. koneiden sijainti, materiaalin kippaukset yms.

Kuorma-autoille jaetaan työtehtävät samaan tapaan kuin maa-aineskaupassa. Tiehöylälle lisätään ohjausjärjestelmään automaattinen paikkatiedon lähetys. Muut tiedot saadaan ohjausjärjestelmästä ja kuljettajan valinnoista. Lähetettäviä tietoja voivat olla mm. höylättävän materiaalin laji ja höylättävä rakennekerros.

Tärkein tästä käyttötapauksesta saata hyöty on työkohteen reaaliaikainen seuranta. Työnjohto näkee eri työkoneiden työtilat, sijainnit, materiaalitiedot yms. Tässä sovelluksessa GPS-tiedon siirtäminen on tärkeässä asemassa.



Kuva 20. Tienrakennussovellus.

Kahden yllä kuvatun käyttötapauksen yhdistämisen tarve on todennäköinen suuremmilla työmailla, koska maa-aineskauppa liittyyne työmaahan. Lastauskone ei kuulu välttämättä työmaan konelaivueeseen, mutta materiaali toimitetaan tietylle tien osuudelle työmaalla. Tietojen siirtäminen tietokantojen välillä on mahdollista toteuttaa tarpeen vaatiessa. Yhdistetyn sovelluksen kokeilumahdollisuutta ei järjestynyt koeajoaikana.

#### 4.2.9 Yhteenveto

LATO-hankkeessa toteutettiin ja pilotoitiin langattomaan tiedonsiirtoon perustuvaa tienrakennuskoneiden hallintajärjestelmää. Järjestelmä soveltuu sekä uudis- ja korjauskentämiseen että tieverkoston ylläpidon ja kunnossapidon sovellutusten käyttöön.

Järjestelmään kuuluvat autopäätteillä varustetut kuorma-autot, ajoneuvoväällä varustettu lastauskone, työmaamestarin ajoneuvopääte sekä kuljetusyrityksen toimiston web-selainliittymät järjestelmään. Järjestelmän ydin on palvelinkoneella oleva MySQL-tietokanta. Liikkuvat päätteet käyttävät GPRS-tiedonsiirtoa ja toimistossa normaalia Internet-verkkoa.



Toimistolta järjestelmään web-selaimella syötetyt kuljetustilaukset voidaan joko jakaa kuorma-autopäätteille web-selaimella tai työmaamestari voi jakaa ne ajoneuvopäätteellä. Lastauskone näkee lastaukseen tulevat autot omalta ajoneuvopäätteeltään. Kuorma-autopäätteeltä näkyvät autolle osoitetut tilaukset: mistä materiaali haetaan, mitä materiaalia haetaan sekä minne kuljetetaan. Autojen tiloja, kuljetusmääriä tilauksittain, varastosaldot ja muita reaaliaikaisesti päivittyviä tietoja voidaan seurata web-selaimella toimistolta tai ajoneuvopäätteeltä.

#### **4.2.10 Tulevaisuuden visioita**

Projektin aikana tuli esille monia mielenkiintoisia asioita, joita ei kuitenkaan projektin puitteissa ehditty toteuttaa. Uudet ajoneuvot tarjoavat esimerkiksi mahdollisuuden liittää digitaalinen matkanmittaus järjestelmään. Ajoneuvon CAN-väylältä voidaan lukea ajomatka ajoneuvotietokoneella tai erillisellä CAN-moduulilla ja liittää mukaan ajotapah-tuman tietoihin.

GPS-matkanmittausta kokeiltiin erillisellä testiohjelmistolla projektin jälkimmäisessä koeajojaksossa. Mittausta ei liitetty testivaiheessa vielä kiinteästi osaksi kokonaisjärjestelmää. Mittaustulokset osoittivat GPS-pohjaisen matkanmittauksen riittävän tarkaksi, joten se kannattaa ottaa mukaan tulevaisuudessa. GPS-toiminnot voidaan liittää perusjärjestelmän käyttöliittymään ajoneuvotietokoneissa ja muissa vastaavissa päätelaitteissa, joihin GPS-mittalaite on mahdollista liittää.

Matkanmittauksella menetelmästä riippumatta saadaan tarvittava ajomatkatieto matkaan sidotussa hinnoittelussa. Järjestelmästä on mahdollista tulostaa lasku asiakkaalle jo auton ajoneuvotietokoneelta materiaalin viennin yhteydessä. Järjestelmään tulee varata mahdollisuus manuaaliseen matkan syöttöön, jos tuote myydään poikkeavalla kuljetushinnalla.

Kaluston paikannuksella on mahdollista toteuttaa ajoneuvojen seuranta ajoreitillä ja työalueella. Työnjohdolla on mahdollisuus ohjata toimintaa reaaliajassa ja toimia siten, että varmistetaan tasainen liikennevirta ajoreiteillä ja työmailla. Kalusto voidaan mitoit-taa oikein ja siirrot optimoida työkohteiden välillä. Seuranta antaa mahdollisuuden myös poikkeustilanteiden hallintaan, esim. ajoneuvojen rikkoutuessa ja poistuessa työmaalta. Ohjaustoimintoja varten paikkatietojen perusteella olisi tehtävä digitaaliselle karttapohjalle käyttöliittymä työmaan tarkasta kartasta ja laajempaa aluetta kuvaavasta karttapohjasta. Tietojen yhdistäminen kaupallisten karttapohjien kanssa on suunniteltava yhdessä karttapalveluita tarjoavien operaattorien kanssa.

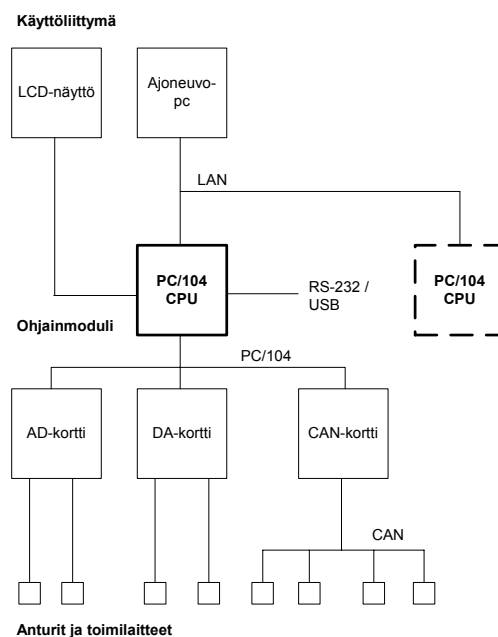
Myös varastoalue tulee liittää mukaan paikkatietojärjestelmään. Materiaalikasat on paikannettava ja kiinnitettävä koordinaatistoon. Ajoneuvojen ja materiaalikasojen paikantaminen antaa mahdollisuuden ajoneuvon ja lastattavan materiaalin automaattiseen tunnistamiseen lastaustapahtuman aikana. Tällä menettelyllä lastauskoneen kuljettajan ei tarvitse suorittaa valintoja manuaalisesti. Ajoneuvojen tunnistamisessa voidaan mahdollisesti soveltaa myös RF-tunnisteita.

## 5. Modulaariset ohjelmisto- ja laitteistoratkaisut

### 5.1 Laitteistokokoonpano

Työkoneiden ohjausjärjestelmiä toteutettaessa tavalliset muuttujat ovat tarvittavien anturi- ja toimilaiteliitännöiden määrä sekä tyyppi ja ohjausjärjestelmän käyttöliittymän ominaisuudet. Yksinkertaisimmissa järjestelmissä käyttöliittymä muodostuu muutamasta kytkimestä ja ohjaussauvasta. Monimutkaisemmissa järjestelmissä tarvitaan graafisia käyttöliittymiä, monipuolisia liitännöitä ja tiedonsiirtoyhteyksiä. Järjestelmien monimutkaistuksessa laitteiston suunnittelu- ja valmistuskustannukset kasvavat. Tämän takia pieninä sarjoina tai yksittäiskappaleina valmistettavien tuotteiden tapauksessa sovelluskohdittaisesti suunnitellun laitteiston käytöstä siirrytään entistä enemmän standardikomponenteilla toteutettuihin järjestelmiin.

MODU-projektissa on kehitetty laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja, joita voidaan soveltaa erilaisten maanrakennuskoneiden ohjausjärjestelmien toteutuksessa. Tavoitteena on ollut kehittää mahdollisimman joustava ja skaalautuva järjestelmä. Kuvassa 21 on esitetty käytetyn laitteistoratkaisun periaate. Laitteiston peruskomponentti on PC/104-väylällä varustettu CPU-moduuli. Tätä ohjainmoduulia voidaan laajentaa alaspäin erilaisilla PC/104-väylään tulevilla io-laitteilla, esim. DA-, AD- ja CAN-korteilla. Ylöspäin järjestelmään voidaan laajentaa Ethernet-väylän avulla. Tämä mahdollistaa esim. erillisen ajoneuvo-pc:n tai useamman cpu-moduulin liittämisen järjestelmään. Kuvassa 22 on esitetty neljä erilaista samasta perusratkaisusta tehtyä muunnosta.



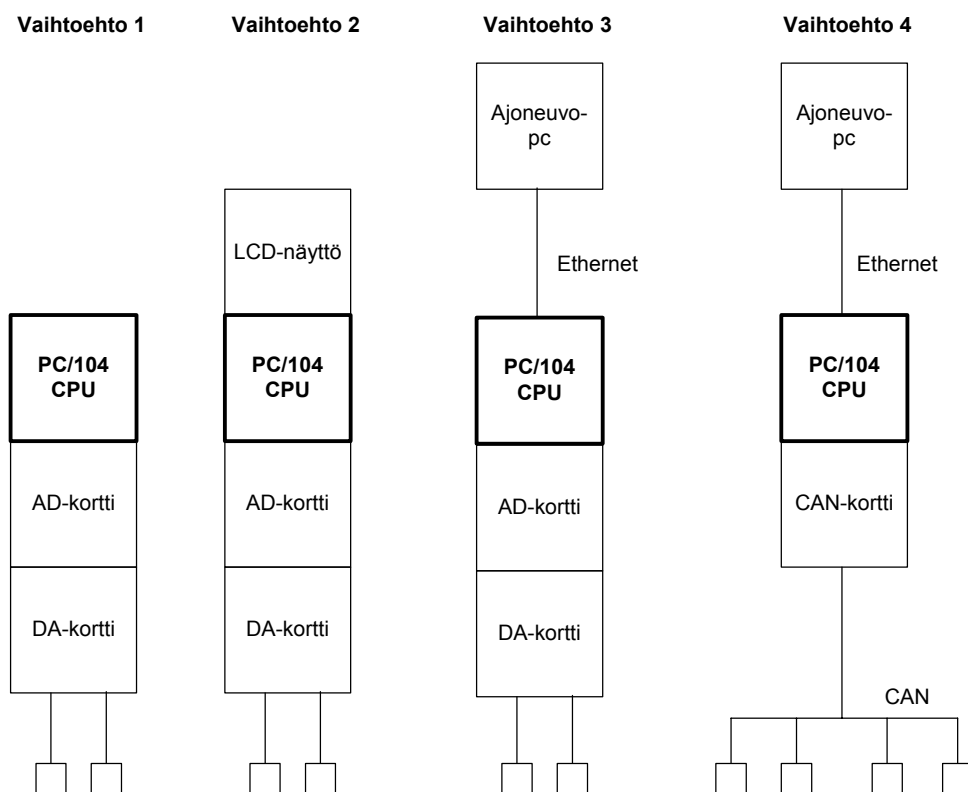
Kuva 21. Modulaarisen ohjausjärjestelmän laitteistoratkaisu.

Vaihtoehto 1: PC/104-CPU-kortti on varustettu AD- ja DA-korteilla ja se toimii itsenäisenä ohjaimena. Käyttöliittymä voi olla toteutettu ohjaussauvoilla ja kytkimillä. Tämä ratkaisu sopii yksikertaisiin järjestelmiin ja varsinkin kuljettajalta piilossa toimiviin järjestelmiin, esimerkiksi luistonesto- ja vaimennusjärjestelmiin.

Vaihtoehto 2: PC/104-CPU-kortti on varustettu LCD-näytöllä, jolloin PC/104-CPU-kortti huolehtii sekä säätötehtävistä että käyttöliittymätoiminnoista. Tämä laitteistoratkaisu sopii järjestelmiin, joissa tullaan toimeen yksinkertaisella graafisella käyttöliittymällä ja anturien ja toimilaitteiden määrä on pieni.

Vaihtoehto 3: Järjestelmää on laajennettu toteuttamalla käyttöliittymä erillisellä ajoneuvo-pc:llä, jolloin PC/104-CPU-kortilla on toteutettu kaikki reaaliaikaiset säätö- ja ohjaustoiminnot. Ajoneuvo-pc:llä voidaan toteuttaa monipuoliset käyttöliittymä- ja tiedonkeruutoiminnot sekä käyttää muita sovellutuksia, esim. sähköpostia ja karttaohjelmia.

Vaihtoehto 4: Anturi- ja toimilaiteliitännät on toteutettu väyläpohjaisesti. Tästä on etua varsinkin, jos järjestelmä sisältää paljon antureita ja toimilaitteita.



*Kuva 22. Neljä erilaista laitteistokoonpanoa.*

## 5.2 Rt-Linux-käyttöjärjestelmä

### 5.2.1 Linux-käyttöjärjestelmä

Linux-käyttöjärjestelmä on avoimeen lähdekoodiin perustuva yleiskäyttöinen käyttöjärjestelmä, jonka alun perin kehitti suomalainen Linus Torvalds 1990-luvun alussa. Torvalds julkisti Linuxin kernelin 1.0-version vuonna 1994. Kernel eli ydin on käyttöjärjestelmän osa, joka tarjoaa peruspalvelut mm. laitteiston käsittelyyn. Torvaldsin lisäksi Linuxin kehitystyötä on jatkanut suuri joukko vapaaehtoisia kehittäjiä. Tämä on mahdollista, koska Linuxin lähdekoodi on julkaistu GPL-lisenssin (General Public License) alaisena ja se on avoin kaikille käyttäjille ja kehittäjille.

Linux-käyttöjärjestelmän etuja on, että se on sovitettavissa toimimaan erilaisilla laitteistoratkaisuilla. Eri sovellutuksia varten Linux-käyttöjärjestelmästä on erilaisia versioita. Yleisimmin Linuxia käytetään palvelimien käyttöjärjestelmänä. Viime vuosina Linuxin käyttö myös pc-pohjaisissa työasemissa on lisääntynyt. Linux soveltuu myös prosessoriteholtaan vaatimattomimpiinkin laitteisiin, ja sitä on sovellettu mm. sulautetuissa järjestelmissä, kulutuselektroniikan tuotteissa ja matkapuhelimissa.

### 5.2.2 Reaaliaika-Linux

Reaaliaika-Linux (Rt-Linux) on Linux-käyttöjärjestelmälle tehty reaaliaikalaajennus. Reaaliaikalaajennuksen avulla Linux-käyttöjärjestelmää voidaan käyttää kovaa reaaliaikaisuutta vaativissa sovellutuksissa, esim. säätösovellutuksissa. Rt-Linux mahdollistaa reaaliaikaprosessien deterministisen suorituksen, suorituksen tarkan ajoituksen ja pienet vasteajat sekä reaaliaikaprosessien priorisoinnin.

Rt-Linuxista on saatavana useita versioita, sekä kaupallisia että vapaaseen ohjelmakoodiin perustuvia. Yhdysvaltalainen FSMLabs Inc. myy kaupallista RtLinuxPro-reaaliaikalaajennusta sekä tähän liittyviä kehitystyökaluja, ohjelmistoja ja palveluita. FSMLabs:in [www-sivuilta](http://www.fsmllabs.com) voi myös ladata ilmaiseksi GPL-lisenssin alaisena julkaistavaa OpenRTLlinux-reaaliaikalaajennusta, jonka kehittäminen tapahtuu osittain vapaaehtoisten voimin. Tämä versio on ominaisuuksiensa, kehitystyökalujensa ja ennen kaikkea tuotetuen puolesta kaupallista versiota suppeampi. RTAI (Real Time Application Interface) on puhtaasti avoimeen lähdekoodiin perustuva ohjelmistoprojekti, joka tarjoaa FSMLabsin OpenRTLlinux-versiota vastaavat ominaisuudet. Molemmilla Rt-Linux-versioilla on Internetissä toimiva aktiivinen kehittäjäyhteisö. Toistaiseksi Rt-Linuxista ei ole saatavilla kirjallisuutta, joten Internet ja kehittäjäyhteisöjen postituslistat ovat pääasiallinen tietolähde Rt-Linuxia asennettaessa ja sovelluksien kehityksessä.

MODU-projektissa käytettiin FSMLabsin OpenRTLlinux-versiota 3.1, joka on ladattavissa FSMLabsin kotisivuilta [www.fsmlabs.com](http://www.fsmlabs.com). Seuraava 3.2-versio Rt-Linuxista on määrä julkaista vuoden 2004 alkupuolella, ja siitä on ollut jo useita esiversioita saatavana.

### **5.2.3 Rt-Linux-kehitys- ja ajoympäristöt**

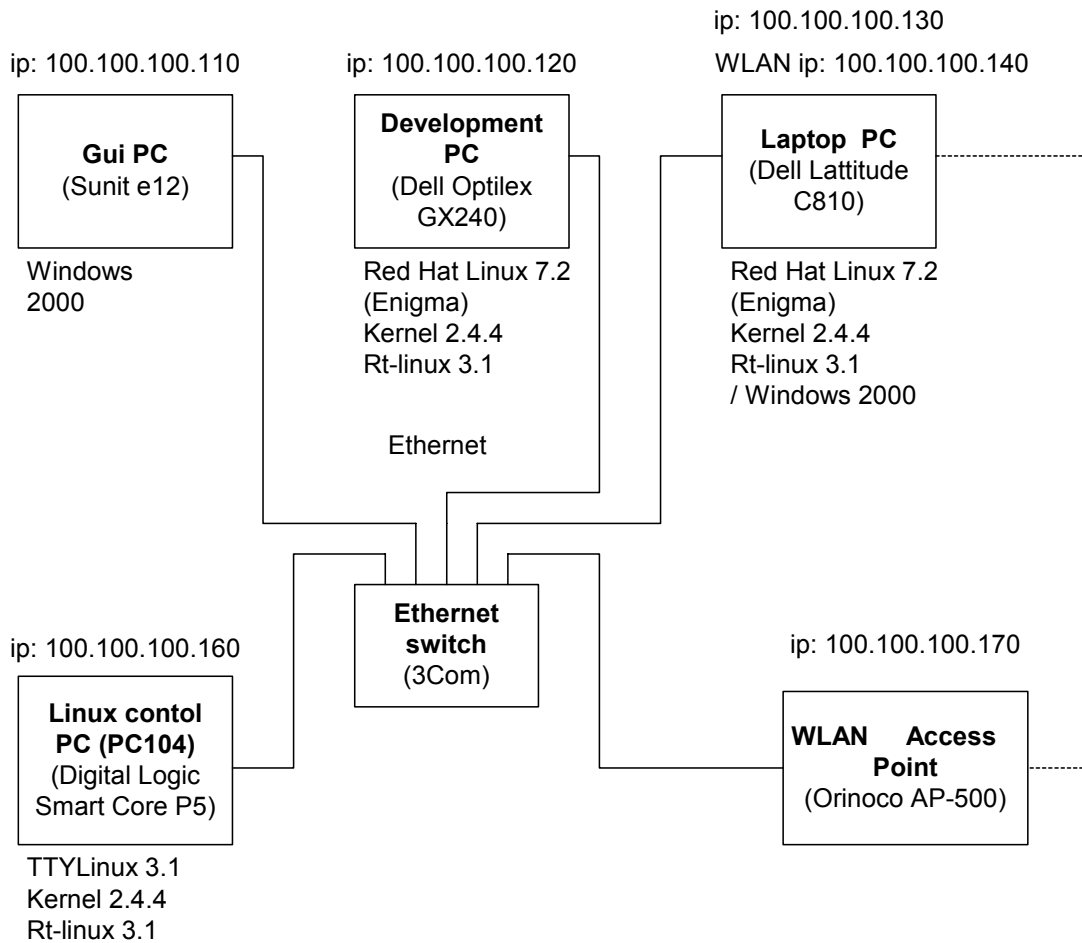
Reaaliaikaohjelmistojen kehittäminen suoritetaan tavallisesti erillisessä kehitysympäristössä, ja valmiita sovellutuksia ajetaan tavallisesti erillisessä ajoympäristössä. Tämä johtuu siitä, että kehitysympäristön ja ajoympäristön laitteistovaatimukset voivat käytännössä erota huomattavasti toisistaan.

Kehitysympäristön laitteistona käytetään tavallisesti pc-työasemaa, kun taas ajoympäristö voi olla sulautettu järjestelmä tai teollisuusympäristöön suunniteltu pc-laite. Jos pc-työasema soveltuu käytettäväksi myös varsinaisena ajoympäristönä, ei tarvita erillistä ajoympäristöä. Ajoympäristön laitteisto on tavallisesti valittu tiettyyn sovellukseen sopivaksi, jolloin esimerkiksi laitteiston suorituskyky ja kovalevyn koko on optimoitu sovelluksen mukaisesti. Tämän takia ajoympäristönä käytetyille laitteistolle ei ole usein mahdollista asentaa ohjelmistojen kehitystyökaluja.

## **5.3 Rt-Linux-kehitysympäristö**

### **5.3.1 Kehitysympäristön laitteistokokoonpano**

Kuvassa 23 esitetään MODU-projektissa käytetty kehitysympäristö, joka on tarkoitettu erilaisten koneenohjauksessa tarvittavien sovellusten kehittämiseen. Kehitysympäristössä on yhteensä neljä pc-pohjaista tietokonetta, jotka muodostavat keskenään oman suljetun lähiverkon. Verkko on toteutettu Ethernet-tekniikalla, ja koneet on yhdistetty toisiinsa Ethernet-kytkimen avulla. Verkkoon on myös yhdistetty WLAN-tukiasema, jolloin WLAN-kortilla varustetulla pc:llä voidaan liittyä verkkoon langattomasti.



Kuva 23. Projektissa käytetty Rt-Linux-kehitysympäristö.

Kehitysympäristö sisältää yhden pc-työaseman sekä yhden kannettavan tietokoneen, joilla voidaan suorittaa ohjelmistojen kehitystyö ja kääntäminen. Näissä laitteissa käyttöjärjestelmäksi asennettiin ensin normaali Red Hat 7.2 Linux, jonka päälle asennettiin reaaliaikaominaisuudet mahdollistava OpenRTLlinux 3.1 -reaaliaikalaajennus. Kannettavassa pc:ssä on myös asennettuna Windows 2000 -käyttöjärjestelmä ja kehitystyökalut Windows-ohjelmien kehittämiseen. Käytettävä käyttöjärjestelmä voidaan valita pc:n käynnistyksen yhteydessä.

Kuvassa 23 näkyy myös, että kehitystietokoneiden kanssa samaan verkkoon on liitetty PC/104-pohjainen yhden kortin pc-tietokone. PC/104-pohjainen tietokone toimii rt-Linuxille tehtyjen sovellutusten ajoympäristönä. Ajoympäristö on varustettu Rt-Linux-käyttöjärjestelmällä, mutta Linux-version ominaisuuksia on huomattavasti karsittu verrattuna kehitysympäristössä olevaan täydelliseen Linux-asennukseen.

### 5.3.2 Rt-ohjelmistojen kehitystyökalut

Tarvittavat ohjelmistojen kehitystyökalut koostuvat minimissään editorista, kääntäjästä ja linkeristä. Editoria tarvitaan lähdekoodin muokkaamiseen. Lähdekoodin muokkaamiseen käy periaatteessa tavallinen tekstieditori, joita tulee tavallisesti Linux-asennuspaketin mukana. Yleisimpiä editoreja ovat mm. pico, emacs ja vim. Linux-ympäristössä ohjelmien kääntämiseen käytetään tavallisesti gcc-kääntäjää ja linkitykseen Make-ohjelmaa. Nämä perustyökalut mahdollistavat ohjelmistojen kehittämiseen. Laajempien ohjelmistojen kehittämisessä integroitu kehitysympäristö, IDE (Integrated Development Environment), helpottaa ohjelmistokehitystä.

MODU-projektissa käytettiin Red Hat Linux 7.2 -käyttöjärjestelmän mukana tulevia vakio työkaluja. Ohjelmistojen kehittämiseen käytettiin KDevelop 2.0 c/c++ IDE-kehitysympäristöä, joka toimii Linuxin graafisessa X-Windows-tilassa. KDevelop-ohjelmointiympäristössä voidaan samassa ympäristössä sekä muokata yhtä aikaa useita eri lähdekooditiedostoja että suorittaa ohjelmien kääntäminen. Ohjelmien kääntäminen ja linkitys tapahtuu Linuxin gcc- ja Make-vakio työkaluilla, joita voidaan käyttää sekä komentoriviltä että suoraan KDevelop-ympäristöstä. KDevelop-ympäristön todettiin helpottavan ohjelmistojen kehitystä huomattavasti. Ympäristö vastaa toiminnoiltaan esim. Windows-ympäristön kehitystyökaluja. Erona Windows-ympäristöön tottuneille ohjelmoija joutuu muokkaamaan käsin Makefile-tiedostoa, jossa annetaan kääntö- ja linkitysohjeita Make-ohjelmalle.

### 5.3.3 Sovellutusten siirto kehitysympäristöstä ajoympäristöön

Kehitysympäristössä tehty sovellutus tulee voida siirtää helposti ajoympäristöön. MODU-projektissa tämä on toteutettu käyttämällä hyväksi Linux-käyttöjärjestelmän hyviä verkko-ominaisuuksia. Kaikki kuvassa 23 esitetyt kolme Linux-pc:tä, mukaan lukien myös PC/104-kortti-pc, toimivat myös Telnet-, FTP- ja www-palvelimina.

Telnet-serveri mahdollistaa Linux-koneiden etäkäytön Telnet-ohjelmalla toiselta koneelta käsin. Tämä on hyödyllistä nimenomaan käytettäessä PC/104-pohjaista pc-tietokonetta ajoympäristönä, koska etäkäytettävyyden ansiosta PC/104-pohjaisessa koneessa ei tarvita näyttöä ja näppäimistöä.

FTP (File Transfer Protocol) on tiedonsiirtoprotokolla, jota käytetään Internet-verkossa tiedostojen siirtoon koneiden välillä. Tiedostojen siirto tapahtuu client/server-periaatteella. FTP client -ohjelmalla otetaan yhteys FTP-palvelimeen, jonka jälkeen tiedostoja voidaan siirtää molempiin suuntiin clientin ja serverin välillä. Käyttämällä FTP:llä tapahtuvaa tiedonsiirtoa voidaan kehitys-pc:llä tehty sovellutus siirtää Ethernet-verkon kautta ajoympäristönä toimivalle PC/104-koneelle tai muille samassa verkossa oleville Linux-koneille.



WWW-serveri on hyödyllinen ominaisuus varsinkin ajoympäristönä toimivassa PC/104-koneessa, koska se mahdollistaa selaimella toiselta tietokoneelta käytettävien käyttöliittymien toteuttamisen tai esimerkiksi järjestelmän anturi- ja tilatietojen esittämisen selaimessa.

Linuxissa usein suoritettavat tehtävät on helppo automatisoida *bash*-komentotulkille kirjoitettujen skriptien avulla. Kehitysvaiheessa usein toistuvia tehtäviä ovat esim. lähdekoodin tiedostojen varmuuskopiointi tai valmiiden Rt-sovellutusten siirto FTP:llä ajoympäristöön. Yksinkertaisimmillaan skripti on tiedosto, johon kirjoitetaan komentotulkille annettavat komennot ja tiedostolle annetaan suoritusoikeudet *chmod*-komentolla. Tämän jälkeen skriptin voi ajaa komentoriviltä. *Bash*-komentotulkki mahdollistaa hyvin monipuolisten, esim. ehtoja sisältävien skriptien tekemisen.

## 5.4 Rt-Linux-ajoympäristö

### 5.4.1 Ajoympäristön laitteisto

Rt-Linux-ajoympäristöä käytetään nimensä mukaisesti reaaliaikasovellutusten ajamiseen. Työkonesovelluksissa käytettävien komponenttien valinnassa tulee ottaa huomioon työkoneiden vaativat käyttöolot, jotka aiheuttavat huomattavia ympäristörasituk- sia laitteille. Käyttölämpötila voi vaihdella -40 ja +60 °C:n välillä. Mekaaniset rasitukset, kuten värinä ja iskut, voivat olla hyvinkin voimakkaita. Vaikeiden ympäristöolojen vuoksi komponenttien valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Normaalit toimistokäyttöön tarkoitettut komponentit rikkoutuvat nopeasti.

Teollisuus- ja ajoneuvokäyttöön tarkoitettuja laitteita on saatavana tietyin rajoituksin. Ne eivät vastaa tehokkuudeltaan uusinta toimistotekniikkaa, mutta toisaalta niiden koko, tehonkulutus ja lämmöntuotto ovat huomattavasti pienempiä. Massamuisteina teollisuussovelluksissa käytetään tavallisesti puolijohdemuisteja. Jos on välttämätöntä käyttää perinteistä kiintolevyä, täytyy huolehtia riittävästä värinän ja iskujen vaimennuksesta. MODU-projektissa ajoympäristön laitteistona on käytetty PC/104-standardin mukaista yhdelle kortille integroitua pc-tietokonetta (SBC, single board computer). MODU-projektissa käytettiin sekä Digital Logicin että Ampro Computersin valmistamia laitteita, kuva 24. Taulukossa 9 on esitetty Digital Logic Smart Core P5-CPU-kortin tärkeimpiä teknisiä tietoja.



Kuva 24. Digital Logic Smart Core P5-CPU -kortti.

Taulukko 9. Digital Logic Smart Core P5-CPU -kortin tärkeimpiä teknisiä tietoja.

CPU	166 tai 266 MHz Pentium MMX
Keskusmuisti	32 tai 64 MB
Näppäimistö / Hiiri	PS/2 2kpl
Kovalevy- ja diskettiasema-liitännät	44pin IDE ja 26pin FD
Sarjaportti RS232	2 kpl
Rinnakkaisportti	LPT1 1 kpl
USB-liitännät	2 kpl
Verkkokortti	100/10 BASE-T
Näytönohjain	Integroitu 2MB-muistilla, CRT- ja LDC-näytölle (1 280 x 1 024 x 256)
Käyttölämpötila-alue	Tavallinen: -25 ... +60 °C, Laajennettu: -40 ... +70 °C
Käyttöjännite	5V / 2A
Keskimääräinen toiminta-aika ilman vikoja	> 200 000 h (Valmistajan ilmoitus)

#### 5.4.2 Rt-Linuxin asentaminen ajoympäristöön

Ajoympäristön Linux-asennus on kehitysympäristöön verrattuna huomattavasti karsittu johtuen ajoympäristössä käytettävästä laitteistosta ja varsinkin rajoitetusta kovalevytilasta. PC/104-tietokoneen kovalevynä käytettiin normaalin kovalevyn asemesta Compact Flash -muistikorttia (CF), jota varten Digital Logicin CPU-kortissa on jo kortille integroituna sopiva kanta.

CF-muistikortteja käytetään yleisesti esimerkiksi digitaalikameroissa. CF-muistikortit ovat rakenteeltaan hyvin yksikertaisia verrattuna normaaliin kovalevyyn, koska niissä ei ole ollenkaan liikkuvia osia. CF-muistikortit kestävät hyvin iskuja, tärinää, lämpötilan vaihteluita ja ovat kooltaan pieniä. Muistikortteja on saatavissa erikokoisia aina 4 GB asti, mutta toistaiseksi suuret CF-kortit ovat varsin kalliita.

MODU-projektissa Rt-Linux-käyttöjärjestelmä asennettiin 64MB-muistikortille sekä Digital Logic Smart Core P5 että Ampro CoreModulu P5e-CPU -korteille. Käyttöjärjestelmän asennus tehtiin käyttäen TTYLinux-jakelupaketin versiota 3.1. TTYLinux on pienikokoinen jakelupaketti, joka vaatii kovalevytilaa vain 2.88 MB. TTYLinuxin etuina ovat hyvät verkko-ominaisuudet ja kohtuullisen helppo asennus verrattuna muihin pienikokoisiin Linux-jakeluihin. Taulukossa 10 luetellaan TTYLinux-jakelupakettiin kuuluvat komponentit.

*Taulukko 10. TTYLinux-asennuspaketin sisältämät komponentit.*

<b>Komponentti</b>	<b>Lisenssi</b>
bash	GPL
busybox	GPL
dhcpcd	GPL
e2fsprogs	GPL
e3	GPL
glibc	LGPL
ipchains	GPL
ipmasqadm	GPL
isdn	GPL
4k-utils	GPL
lilo	BSD
links	GPL
modutils	GPL
netkit-base	BSD
netkit-FTP	BSD
netkit-Telnet	BSD
ppp	BSD
thttpd	BSD
tinylogin	GPL
ttylinux-initscripts	GPL
util-linux	BSD/GPL

Käyttöjärjestelmä on käytännössä optimoitava juuri tietylle laitteistolle eli tässä tapauksessa käytössä olleelle CPU-kortille. Käytännössä optimointi tehdään kääntämällä kehitys-pc:llä Linuxin kernel eli ydin CPU-korttia vastaavilla optioilla ja siirtämällä kernel CF-kortille. Ongelmia aiheuttavat tavallisesti eri valmistajien CPU-korteille integroidut erilaiset verkkokortit ja näytönohjaimet.

### **5.4.3 Rt-Linux-asennuksen monistaminen**

Kun Linux-asennus on saatu toimivaan tietyllä laitteistokokoonpanolla, on sen monistaminen suoraviivaista samanlaisiin laitteisiin. Tämä tapahtuu ottamalla kopioita järjestelmän kovalevynä toimivan CF-muistikortin sisällöstä kannettavalla pc:llä CF/PCMCIA -adapterin avulla. CF-muistikortista tallennetaan image eli levynkuva kannettavan kovalevylle käyttäen Linuxin *dd*-ohjelmaa ja vastaavasti image voidaan siirtää uudelle CF-muistikortille.

### **5.4.4 Ajoympäristön ominaisuudet**

Rt-Linux-käyttöjärjestelmän ajoympäristön levytilan tarve on ainoastaan noin 10 MB, ja loppu levytila jää käyttäjän sovelluksille. Käyttöjärjestelmään on liitetty tarvittavat verkko- ja järjestelmäpalvelut. Kyseinen kokoonpano toimii eräänlaisena minipalvelimena koneen ohjausjärjestelmässä sisältäen FTP-, Telnet- ja WWW-palvelimen. Kokoonpano ei sisällä turhia levytilaa vieviä komponentteja mutta tarjoaa silti reaaliaikaominaisuuksien lisäksi kaikki tärkeimmät Linuxin perustoiminnot graafista X-ikkunointia lukuun ottamatta. CPU-korttien valmistajat tarjoavat usein myös valmiita Linux-kehityspakettia myymälleen CPU-kortille. Nämä kehityspaketit eivät tavallisesti sisällä reaaliaikaominaisuuksilla varustettua Linux-versiota.

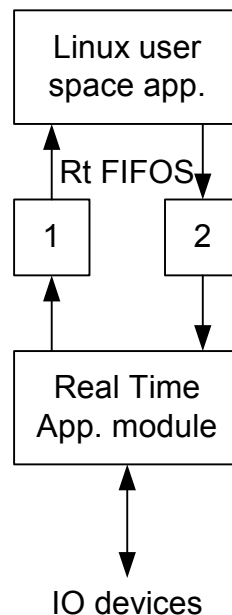
## **5.5 Reaaliaikaohjelmointi Rt-Linuxilla**

### **5.5.1 Ohjelmiston ei-reaaliaika- ja reaaliaikaosat**

Rt-Linuxilla reaaliaikajärjestelmiä suunnitellessa järjestelmän toiminnot tulee ensimmäisenä jakaa ei-reaaliaikaisiin ja reaaliaikaisuutta vaativiin osiin. Reaaliaikaisuutta vaativia ohjelmiston osia ovat esim. mittaus- ja säätötehtävät. Tyypillinen ei-reaaliaikainen osa on järjestelmän käyttöliittymä. Järjestelmän ohjelmisto jakautuu reaaliaikamoduuleihin ja normaaliin Linux-ohjelmaan, kuva 25.

Ei-reaaliaikainen osa (user space application) on normaali Linux-ohjelma, joka ohjelmoidaan tavallisesti c-kielellä ja käännetään ajettavaksi ohjelmaksi. Reaaliaikasovellusten ohjelmointi Rt-Linux-ympäristössä tapahtuu myös c-kielellä. Suurin ero tavalliseen Linux-ohjelmaan on, että kääntämisen ja linkityksen jälkeen lopputuloksena on ajettavan sovellutuksen sijasta ladattava kernel-moduuli.

Kommunikointi Rt-osan ja ei-Rt-osan välillä voidaan toteuttaa joko käyttäen jaettua muistia tai RT-FIFOjen avulla. RT-FIFO on reaaliaikaohjelmien kommunikaation tarkoitettu mekanismi, joka vastaa unix-järjestelmissä käytettäviä putkia (PIPE). Käytännössä RT-FIFO on first-in/first-out-puskuri. RT-FIFOt ovat yksisuuntaisia, ja niitä voidaan käyttää yhtä aikaa vain kahden ohjelmamoduulin väliseen kommunikaatioon. Toinen moduuli kirjoittaa puskuuriin tietoa, jonka toinen moduuli voi lukea. Jos tarvitaan useamman moduulin välistä yhtäaikaista kommunikaatiota, on jaettu muisti käytännöllisempi (kuva 25).



Kuva 25. Ohjelmiston jakautuminen ei-Rt-osaan ja Rt-osaan.

### 5.5.2 Kernel-moduulit

Kernel-moduuli on Linuxin kerneliin lennossa ladattava ohjelman osa, jolla voidaan laajentaa kernelin ominaisuuksia. Kun moduulia ei tarvita, se voidaan poistaa kernelistä. Kernel-moduuleja voidaan siis ladata ja poistaa tarpeen mukaan ilman koko käyttöjärjestelmän uudelleen käynnistämistä. Kernel-moduulien tärkein käyttökohde ovat erilaiset laiteajurit. Kernel-moduulien käytön etuja verrattuna kaikki toiminnot sisältävään monoliittiseen kerneliin ovat paitsi kernelin pienempi koko myös joustavuus, koska ladattavia moduuleita uuden toiminnallisuuden lisäämiseksi kerneliin jouduttaisiin kernel kääntämään uudelleen ja järjestelmä tulisi käynnistää uudelleen.

### 5.5.3 Kernel-moduulien lataaminen ja poistaminen ajosta

Kernel-moduulin lataaminen tapahtuu *insmod*-käskyllä ja vastaavasti poistaminen tapahtuu *rmmmod*-käskyllä. Kernel-moduulien tapauksessa käännösvaiheessa jokaisesta c-kielisestä lähdekooditiedostosta tulee objektitiedosto (\*.o). Latauksessa moduuli liitetään osaksi kerneliä. Valmis ohjelmisto voi koostua useista erikseen ladattavista moduuleista, mutta usein on käytännöllistä linkittää useampia moduuleja yhteen.

Ladatut moduulit saa näkyviin *lsmod*-käskyllä. *Lsmod*-käsky myös näyttää eri moduulien riippuvuudet toisistaan. Moduulin lataus epäonnistuu, jos sen tarvitsemia muita moduuleita ei ole ladattu ja se ei löydä kernelistä tarvitsemiaan muissa moduuleissa tai kernelissä olevia funktioita. Vastaavasti moduulin poistaminen epäonnistuu, jos moduulin sisältämät funktiot ovat jonkin toisen moduulin käytössä. Tämän takia ladattaessa ja poistettaessa ajosta useita toisistaan riippuvia moduuleita, on lataus ja poistaminen tehtävä oikeassa järjestyksessä.

*Insmod*-käskyn yhteydessä voidaan antaa myös parametreja, joilla voidaan alustaa moduulin muuttujien arvoja latauksen yhteydessä. Parametrit määritellään moduulissa `MODULE_PARAM()`-funktioilla.

### 5.5.4 Rt-moduulien suoritus

Kun normaali c-ohjelma käynnistetään, suoritus alkaa `main()`-funktioista ja jatkuu, kunnes poistutaan `main()`-funktioista. Kernel-moduulin suoritus poikkeaa totutusta. Suoritus alkaa oletusarvoisesti `init_module()`-funktioista, jota kutsutaan ensimmäisenä ladattaessa moduulia *insmod*-käskyllä. Kun moduuli poistetaan ajosta *rmmmod*-komennolla, kutsutaan oletusarvoisesti `cleanup_module()`-funktioita. `Module_init()`- ja `module_exit()`-funktioilla voidaan asettaa lataus- ja poisto-vaiheessa suoritettavaksi myös oletusnimistä poikkeava funktio.

Kernel-moduulit voivat sisältää funktiota, jotka on tarkoitettu kutsuttaviksi toisista moduuleista, tai moduulit voivat sisältää erilaisia tehtäviä suorittavia säikeitä (*thread*). Rt-Linux-ympäristössä `Init_module()`-funktiossa voidaan luoda ja käynnistää reaaliaika-säikeitä, joihin varsinainen reaaliaikaohjelman suoritus jakautuu. Vastaavasi `cleanup_module()`-funktiossa luodut säikeet tuhoataan.

Säätöjärjestelmän ollessa kyseessä säikeellä tarkoitetaan esimerkiksi säätösilmukkaa, joka suoritetaan asetun säätövälin välein. Rt-ohjelman suoritus voidaan tarpeen mukaan jakaa useisiin säikeisiin, esim. mittaussäikeeseen, säätösäikeeseen ja käyttöliittymä ylläpitävään säikeeseen. Rt-Linuxissa jokaiselle säikeelle asetetaan prioriteetti ja pro-

sensorin suoritusaikaa jaetaan eri säikeille siten, että korkeimman prioriteetin omaava säie ohittaa suoritusvuorossa aina matalamman prioriteetin omaavat säikeet. Rt-Linux-ympäristössä reaaliaika-säikeet ohittavat suoritusvuorossa aina normaalit Linux-prosessit, eli normaaleja Linux-prosesseja suoritetaan vain Rt-säikeiltä yli jäävällä prosessoriajalla.

Rt-säikeiden ohjelmoinnissa on otettava huomioon se, että Rt-säikeissä ei voi kutsua normaaleja Linuxin kirjastojen sisältämiä funktioita. Rt-säikeissä käytettävien funktioiden tulee olla ohjelmoitu siten, että ne eivät voi aiheuttaa Rt-säikeen suorituksen keskeytymistä. Kernel-moduuleissa voi rajoitetusti käyttää Linuxin kernelin systeemikutsuja, mutta niiden käyttäminen Rt-säikeissä ei ole suositeltavaa. Tämä johtuu siitä, että systeemikutsu voi aiheuttaa Rt-säikeen suorituksen blokkauksen, mistä voi koitua arvaamattomia seurauksia. Systeemikutsuilla voidaan toteuttaa esim. säätöjärjestelmän parametrien lukeminen tiedostosta Rt-sovellutuksen käynnistyksen yhteydessä tai tallentaminen tiedostoon. Tässä tapauksessa systeemikutsuja käytetään *init\_module()*- ja *cleanup\_module()*-funktioissa.

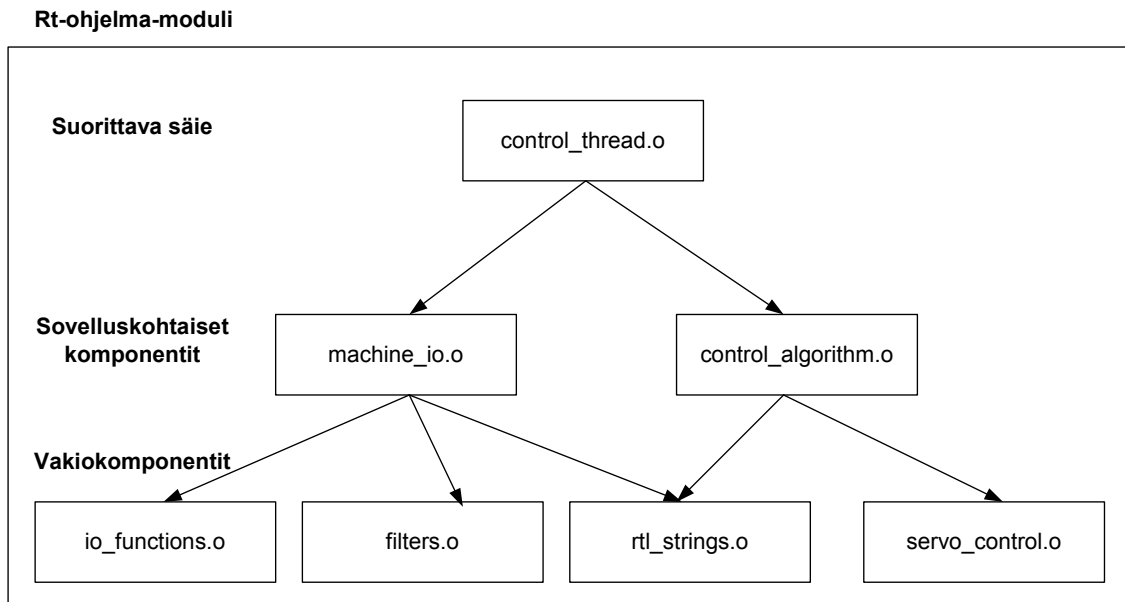
Kernel-moduulien ohjelmoinnissa tulisi välttää globaalien muuttujien käyttämistä, koska moduulin latausvaiheessa moduuli linkitetään osaksi kerneliä ja tällöin samannimiset muuttujat tai funktioiden nimet voivat aiheuttaa konflikteja. Jos joudutaan käyttämään globaaleja muuttujia tai funktioita, nimeämisessä kannattaa käyttää selkeää etuliitettä funktion tai muuttujan nimen edessä.

### 5.5.5 Reaaliaikaohjelmiston rakenne

Kuten on tullut ilmi, reaaliaikaohjelmisto muodostuu ladattavista kernel-moduuleista. Kernel-moduulit linkitetään kerneliin ja toisiinsa vasta latauksen yhteydessä. Koska kernel-moduuleita voi ladata käyttöön tarpeen mukaan, niillä voidaan toteuttaa ohjelmistoja, joiden rakennetta voi muuttaa latauksen yhteydessä tai jopa dynaamisesti ohjelman suorituksen aikana.

Kuvassa 26 esitetään tyypillinen ohjausjärjestelmien ohjelmistomoduurien rakenne sekä funktiokutsut eri moduurien välillä. Rt-ohjelmisto voi muodostua kuvan mukaisesti seitsemästä erikseen ladattavasta moduurista, jotka linkitetään toisiinsa latauksen aikana. Toinen vaihtoehto on linkittää moduurit yhdeksi moduuriksi jo ohjelman käänös-vaiheessa. Kuvan 26 tapauksessa *control\_thread.o*-moduurissa luodaan suorittava säie, joka käyttää alemman tason moduuleissa olevia funktioita samaan tapaan kuin kirjasto-funktioita. Alimman tason moduuleissa on vakiotoimintoja, esim. eri io-laitteiden käsittelyyn liittyviä rutiineja, tai ohjausjärjestelmissä tarvittavia matemaattisia funktioita, esim. suodattimia tai säätimiä. Näistä perustoiminnoista kootaan sovelluskohtaiset funk-

tiot, joita ovat *machine\_io.o* ja *control\_algorithm.o*. *Machine\_io.o*-moduulissa toteutetaan laitteiston rajapinta antureihin ja toimilaitteisiin. Käytettäviltä io-laitteilta (esim. DA-, AD-kortit ja CAN-kortit) saatavat mittaukset suodatetaan ja skaalataan käyttökelpoisiin yksiköihin. *Control\_algorithm.o*-moduuli sisältää sovelluskohtaiset algoritmit järjestelmän toimilaitteiden säätämiseen ja ohjaukseen.



Kuva 26. Ohjauksjärjestelmän reaaliaikaohjelmiston tyypillinen toteutus.

Kuvan 26 mukaisessa ohjelmistorakenteessa on eri moduulien välisiä funktiokutsuja, minkä takia rakenne ei ole ajonaikaisesti helposti muutettavissa. Jos jokin moduuli halutaan vaihtaa, joudutaan poistamaan ajosta ensin kaikki moduulin funktioita käyttävät muut moduulit. Vaikka ajon aikainen konfiguraation muutos onkin hankalasti toteutettavissa, rakenne mahdollistaa käynnistämisen yhteydessä tehtävän konfiguraation muutoksen. Käytännössä tarvetta konfiguraation muutoksiin ei läheskään aina ole, jolloin kaikki moduulit kannattaa yhdistää yhdeksi moduuliksi jo käännösvaiheessa. Funktiokutsujen suunnittelussa tulee pyrkiä siihen, että moduulit ovat mahdollisimman itsenäisiä ja moduuleista ei ole funktiokutsuja niitä ylempällä tasolla oleviin moduuleihin.

Dynaamisesti ladattavien reaaliaikamoduulien edut tulevat esiin varsinkin laajojen ohjelmistojen kehittämisessä. Ohjelmistossa on suorituksen aikana ladattuna vain tarpeelliset moduulit, jolloin ajonaikaista resurssien ja muistin tarvetta saadaan pienennettyä. Yhdysvaltalaisessa Garnegie Mellon yliopiston Robotics Institutessa on kehitetty ns. porttoliotekniikkaan perustuvia reaaliaikaohjelmistojen rakenteita. Menetelmässä reaaliaikaohjelmisto koostuu suhteellisen yksinkertaisista itsenäisistä konfiguroitavista moduuleista, ns. porttiolioista, joita voidaan ladata ja poistaa ajosta tarpeen mukaan ohjelmiston suorituksen aikana. Porttoliotekniikkaa voidaan soveltaa myös Rt-Linux-



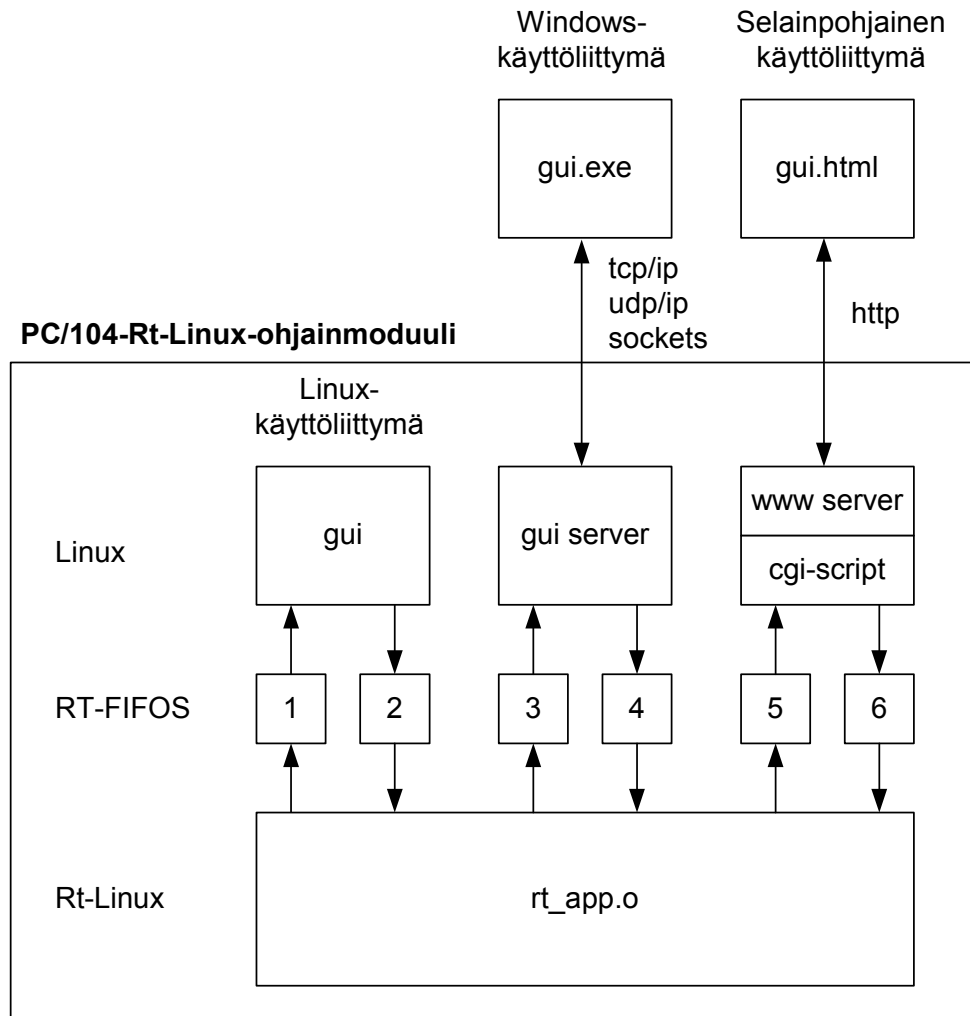
ympäristössä. Käytännön ongelmana on, että Rt-Linux-ympäristössä moduulien lataus on aikaa vievä operaatio, jota ei voida suorittaa reaaliaikaisesti (Valtanen 2000).

## **5.6 Graafisen käyttöliittymän toteutus**

### **5.6.1 Graafisen käyttöliittymän toteutustekniikat**

Toteutettaessa työkoneiden säätö- ja ohjausjärjestelmiä käyttöliittymälle asetetut vaatimukset vaihtelevat suuresti. Yksinkertaisimmillaan säätöjärjestelmä toimii kuljettajalta piilossa, eli kuljettajan ei tarvitse koneen tai laitteen käytön aikana puuttua millään tavoin säätöjärjestelmän toimintaan. Järjestelmän ainoa käyttöliittymätoiminto voi olla kytkin, jolla järjestelmä kytketään päälle tai pois. Esimerkkejä tämäntyyppisistä järjestelmistä ovat esimerkiksi luistonestojärjestelmät.

Koneenohjausjärjestelmissä käyttöliittymä muodostuu yleensä ohjainvivoista, kytkimistä ja merkkivaloista. Monimutkaisempien järjestelmien hallinta on tavallisesti toteutettu graafisella käyttöliittymällä. Yksikertaisimmissa järjestelmissä ei välttämättä ole tarvetta graafiseen käyttöliittymään järjestelmän käytön aikana, mutta graafista käyttöliittymää tarvitaan järjestelmän asennus- ja huoltovaiheessa. Käyttöliittymät voidaan jakaa niiden käyttötarkoituksen mukaisesti kuljettajan käyttöliittymään ja huoltokäyttöliittymään.



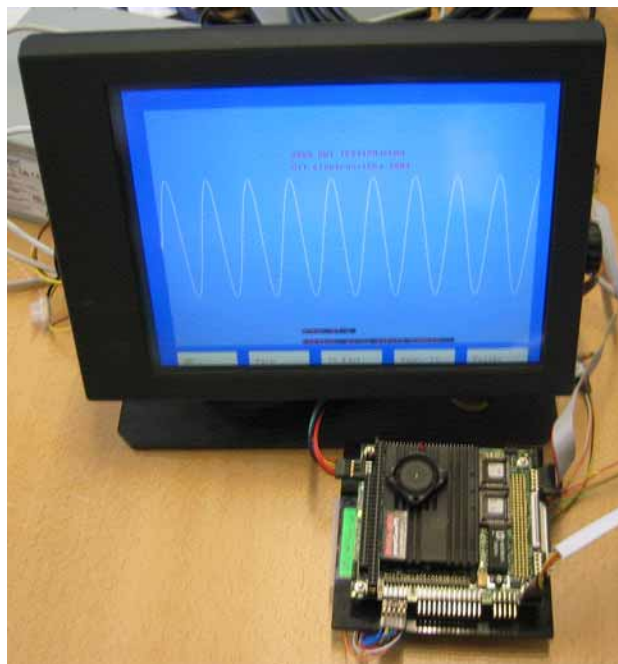
Kuva 27. Käyttöliittymän ohjelmiston toteutusvaihtoehtoja käyttäen PC/104-pohjaista ohjainmoduulia.

MODU-projektissa käytetyllä PC/104-pohjaisella Rt-Linux-ohjainmoduulilla voidaan toteuttaa eritasoisia käyttöliittymävaihtoehtoja. Kuvassa 27 on esitetty periaate, jolla Rt-Linuxilla toteutettuun reaaliaikasovellutukseen voidaan liittää käyttöliittämätöiminnot. Käytännössä käyttöliittymäsovellutus on reaaliaikasovellutuksesta erillinen sovellutus, joka kommunikoi Rt-sovellutuksen kanssa RT-FIFO:jen kautta. Kuvassa 27 esitetyt vaihtoehdot ovat Linuxilla toteutettu graafinen käyttöliittymä, erillisellä pc:llä toteutettu käyttöliittymä ja selainpohjainen käyttöliittymä. Linux-ympäristössä toteutettu käyttöliittymä ja erillisellä ajoneuvo-pc:llä toteutettu käyttöliittymä soveltuvat parhaiten kuljettajan käyttöliittymän toteuttamiseen. Selainpohjainen käyttöliittymä soveltuu huolto-käyttöliittymien toteuttamiseen.

## 5.6.2 Graafinen käyttöliittymä Linux-ympäristössä

### 5.6.2.1 Grafiikan toteutus konsolitulassa

Linux-käyttöjärjestelmää voidaan käyttää joko merkkipohjaisessa konsolitulassa tai graafisessa X-ikkunointitulassa. Konsolitulassa graafinen käyttöliittymä voidaan toteuttaa käyttäen Linuxiin saatavilla olevia grafiikkakirjastoja, esim. `svgalib`-kirjastoa. `Svgalib`-grafiikkakirjasto vaatii kovalevytilaa n. 380 kt, joten sen voi asentaa myös PC/104-ympäristöön. `Svgalib`-grafiikkakirjasto tarjoaa perusrutiinit graafisten elementtien, esim. viivojen, laatikoiden ja tekstin, piirtämiseksi ruudulle. `Svgalib` sisältää myös funktiot hiiren, näppäimistön ja peliohjaimen lukemiseen. Ohjelmointi tapahtuu c-kielellä. MODU-projektissa `Svgalib` asennettiin Digital Logic Smart Core P5 -kortille, jolla sen todettiin toimivan ilman ongelmia CPU-korttiin liitetyn LCD-näytön kanssa (kuva 28). `Svgalib` ei tue ikkunointia, ja vain sille tehtyjen graafisten ohjelmien ajaminen on mahdollista. Tämän takia se sopii parhaiten sulautettuihin Linux-järjestelmiin.



*Kuva 28. PC/104-ohjainmoduuli varustettuna LCD-näytöllä ja `svgalib`illa toteutettu käyttöliittymä (kuva VTT).*

### 5.6.2.2 X-ikkunointijärjestelmä

X-ikkunointijärjestelmä (*X Window system*) on Linux-työpöytäkoneissa käytettävä graafinen työtila. X-ikkunointijärjestelmässä X-server tarjoaa grafiikkafunktiot, joita X-client-ohjelmistot käyttävät. Tavallinen X-ikkunointijärjestelmä ei laitteistovaatimuk-

siensa takia sovellu sulautettuihin järjestelmiin, joissa muistin ja kovalevytilan määrä on rajoitettu. X-ikkunointijärjestelmästä on myös kuitenkin kehitetty useita karsittuja versioita, joita käytetään esim. PDA-laitteille tehdyissä Linux-versioissa. Esimerkkejä näistä ovat mm. TinyX, Kdrive ja Microwindows/Nano-X, joita kehitetään pääasiassa vapaaehtoisvoimin. X-ympäristössä graafisten käyttöliittymien ohjelmointi tapahtuu käyttäen valmiita C/C++-kirjastoja. Eräs Linux-ympäristössä suosittu C++-kirjasto on esimerkiksi Trolltechin Qt-kirjasto, joka on saatavana Linuxin lisäksi myös Windows- ja MAC OS X -käyttöjärjestelmille. Myös esim. Tcl/Tk-skriptikielellä ja Javalla voidaan toteuttaa graafisia ohjelmia Linux-ympäristössä.

### 5.6.2.3 Framebuffer-laitteiden tuki

Linuxin framebuffer-laitteiden tuki on kernelissä mukana oleva ominaisuus, jonka voi valita käyttöön kernelin kääntämisen yhteydessä. Sen avulla näytönohjainta voidaan käyttää kevyen ohjelmointirajapinnan, ns. *framebuffer*-laitteen, kautta. Trolltechin Qt-kirjastosta on olemassa sulautettuihin järjestelmiin soveltuva Qt/Embedded-versio, jota käytetään esim. Linux-pohjaisissa älypuhelimissa ja kämmenmikroissa. Qt/Embedded-versio toimii ilman X-ikkunointijärjestelmää käyttäen suoraan Linuxin *framebuffer*-laitteiden tukea ja mahdollistaa graafisten ikkunointia käyttävien sovellutusten toteuttamisen.

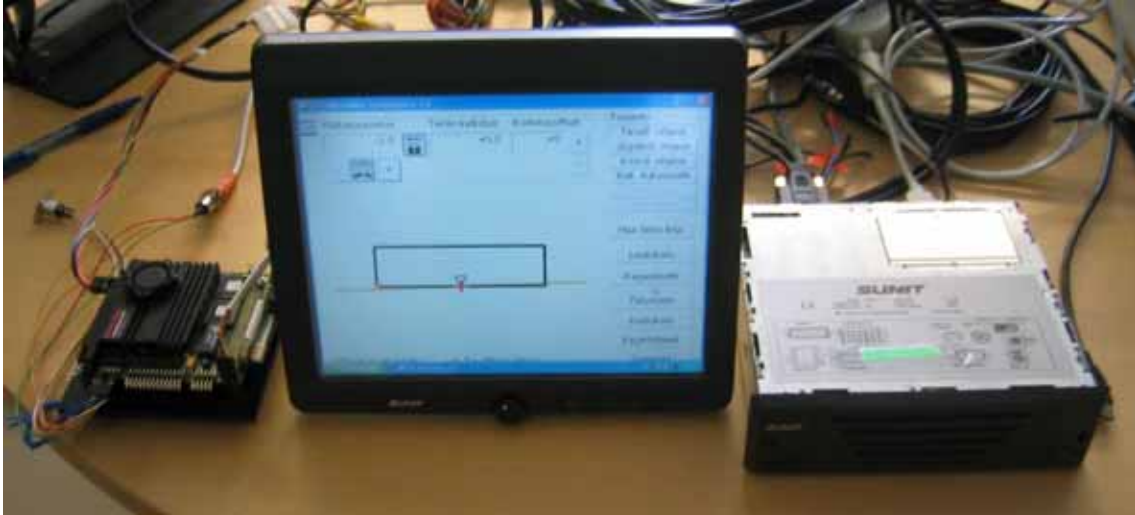
## 5.6.3 Erillisellä ajoneuvo-pc:llä toteutettu käyttöliittymä

### 5.6.3.1 Etuja erillisen ajoneuvo-pc:n käytöstä

Täysin sulautetuilla järjestelmillä on varsin hankala toteuttaa ohjausjärjestelmiä, joilta vaaditaan monipuolisia käyttöliittymätoimintoja, liitäntöjä muihin järjestelmiin ja yhteensopivuutta esim. Windows-ohjelmistojen kanssa. Tämän tyyppisissä järjestelmissä ratkaisuna on toteuttaa käyttöliittymätoiminnot erillisellä Windows-käyttöjärjestelmällä varustetulla ajoneuvo-pc:llä ja reaaliaikainen koneenohjaus sulautetuilla järjestelmillä. Langattomilla tiedonsiirroilla ja GPS-paikannuksella varustettua ajoneuvo-pc:tä voidaan hyödyntää koneen ohjausjärjestelmän hallinnan lisäksi myös muihin tarkoituksiin, kuten sähköpostin, karttasovellusten ja erilaisten yrityssovellutuksien, esim. toiminnanohjausjärjestelmien, käyttämiseen.

MODU-projektissa Rt-Linux-käyttöjärjestelmällä varustettuun PC/104-pohjaiseen ohjausmoduuliin liitettiin Windows-käyttöjärjestelmällä varustettu ajoneuvo-pc. Ajoneuvo-pc:n ja ohjainmoduulin välinen tiedonsiirto toteutettiin Ethernet-väylällä, jonka käyttö teollisuussovellutuksissa on yleistynyt voimakkaasti, kuva 29. Ethernetin etuja ovat sen yleisyys, luotettavuus, tiedonsiirtonopeus, edulliset komponentit ja ohjelmistokehityk-

sen helppous. Ethernet-yhteyden voi helposti toteuttaa langattomasti WLAN-tekniikalla. Ethernet-verkkokortti on tavallisesti integroitu teollisuuskäyttöön tarkoitetuille CPU-korteille, ja ajoneuvo-pc:ssä voidaan käyttää tavallista PCMCIA-korttipaikkaan tulevaa verkkokorttia.



*Kuva 29. Ethernet-väylällä yhdistetty Sunit d10 -ajoneuvo-pc ja PC/104-CPU-kortti sekä Windows-ympäristössä toteutettu käyttöliittymä (kuva VTT).*

### 5.6.3.2 Käyttöliittymän ja Rt-ohjelman välinen tiedonsiirto

Ethernet-väylän avulla ajoneuvo-pc:stä voidaan ottaa ohjainmoduuliin yhteys Windowsin vakio-ohjelmilla, esim. Telnetillä, FTP:llä ja selaimella. Kun käyttöliittymä ohjelmoidaan Windows-sovellutukseksi, joudutaan ohjelmoimaan myös käyttöliittymäohjelman ja Rt-ohjelman väliset tiedonsiirtomekanismit. Tiedonsiirto voidaan toteuttaa TCP/IP- ja UDP/IP-socketeilla.

Internet-verkossa datan siirrossa käytetään TCP/IP-protokollaa (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). TCP/IP muodostuu neljästä päällekkäisestä kerroksesta: fyysisestä kerroksesta, verkkokerroksesta, kuljetuskerroksesta ja sovelluskerroksesta. Tämän takia puhutaan usein TCP/IP-pinosta. TCP ja UDP ovat kuljetuskerroksen perusprotokollia, joita eri sovellukset käyttävät datan siirrossa. TCP:tä käyttävä sovelluskerroksen protokolla on esimerkiksi HTTP (Hypertext Transfer Protocol), jota selaimet käyttävät. (Anttila 2000)

### 5.6.3.3 TCP/IP- ja UDP/IP-socketit

TCP-protokolla (Transmission Control Protocol) on yhteydellinen protokolla, eli ennen datan siirron aloittamisesta suoritetaan yhteyden muodostaminen. TCP-protokolla mahdollistaa luotettavan datansiirron, koska se varmistaa datapakettien perillemenon ja sisältää virheenkorjausmekanismit. UDP-protokolla (User Datagram Protocol) on TCP:tä huomattavasti yksikertaisempi yhteydetön protokolla, eli yhteyttä ei muodosteta ennen datan siirron aloittamista. Myöskään datapakettien perillemeno ei varmisteta mitenkään. Koska UDP-protokollassa ei käytetä kuittauksia datansiirron varmistamiseksi, se mahdollistaa TCP:tä tehokkaamman datan siirron. UDP:tä käytetään yleensä tapauksissa, joissa yksittäisten datapaketin häviämisestä ei ole suurta vahinkoa ja tarvitaan suurta tiedonsiirtokykyä, esim. puheen välityksessä. TCP- ja UDP-protokollia käyttäviä TCP/IP-sovellutuksia ohjelmoitaessa käytetään ns. socketteja. Socket viittaa ohjelmointirajapintaan, jota käytetään kehitettäessä TCP/IP-sovellutuksia. Socketteja käyttäviä sovelluksia voi toteuttaa yleisimmillä ohjelmointikielillä, esim. c:llä, c++:lla ja Javalla. (Anttila 2000)

### 5.6.3.4 Tiedonsiirron ohjelmistototeutus

Kuvassa 27 esitetään periaate, jolla käyttöliittymän ja Rt-ohjelman välinen tiedonsiirto toteutettiin MODU-projektissa. Rt-moduulin ja Windows-käyttöliittymän välistä tietoliikennettä hoitaa käyttöliittymäserveri (*gui server*). *Gui Server* on normaali c-kielellä toteutettu Linux-ohjelma, joka kommunikoi Rt-moduulin kanssa RT-FIFOjen kautta ja ajoneuvo-pc:llä ajettavan käyttöliittymäsovellutuksen (*gui.exe*) kanssa TCP/IP- tai UDP/IP-socketilla. *Gui.exe*-ohjelma toteutettiin Windows-ympäristössä käyttäen Visual Studio 6.0 C++ -kehitysympäristöä ja MFC-kirjastoa (Microsoft Foundation Classes).

MODU-projektissa kokeiltiin sekä TCP- että UDP-socketteja käyttöliittymän ja Rt-ohjelman välisen datan siirtämisessä. Teoreettinen nopeus kahden tietokoneen välisessä verkossa käytössä olleella laitteistokokoonpanolla on 100Mb/s johtuen verkkokorttien nopeudesta. Testikokoonpanossa Rt-ohjelma välitti käyttöliittymään dataa n. 1 kB:n paketteina 20 ms:n välein. 20 ms on tyypillisesti käytettävä säätöväli. Tämä vastaa n. 0,4 Mb:n/s tiedonsiirtonopeutta. Suljetussa verkossa sekä TCP- että UDP-sockettien todettiin toimivan erittäin luotettavasti. UDP-sockettien käyttämisen voidaan todeta olevan suoraviivaisempaa, koska niissä ei tarvita yhteyden luontia ja siten tiedonsiirron käynnistäminen on helpompaa.

## 5.6.4 Selainpohjainen käyttöliittymä

### 5.6.4.1 Selainpohjaisen käyttöliittymän sovelluskohteita

Selainpohjainen käyttöliittymä soveltuu laitteisiin, jossa käyttöliittymää ei tarvita koko ajan laitteen käytön aikana vaan esimerkiksi vain konfigurointiin, huolto- ja diagnostiikkatoimintoihin tai aika ajoin tapahtuvaan tietojen purkamiseen. Nykyään useissa atk-laitteissa, esim. WLAN-tukiasemissa, palomuuereissa ja reitittimissä, on pieni WWW-palvelin, joka mahdollistaa laitteiden konfiguroinnin selaimella. MODU-projektissa käytetyssä PC/104-ohjainmoduulissa toimii WWW-serveri, joka mahdollistaa tämäntyyppiset toiminnot. Järjestelmään voidaan liittää Ethernet-väylän avulla selaimella varustettu laite, esim. pc- tai PDA-laite, jonka avulla ohjausjärjestelmän toimintoja voi tarvittaessa käyttää. Yhteys voidaan toteuttaa myös langattomasti WLAN-tekniikalla.

Ohjainmoduulille voidaan tehdä joko staattisia tai dynaamisia WWW-sivuja. Staattisilla WWW-sivuilla voidaan toteuttaa esimerkiksi aina järjestelmän mukana kulkeva sähköisessä muodossa oleva huoltokirja. Dynaamiset sivut generoidaan ohjelmallisesti, joten niillä voidaan esittää järjestelmästä saatavia diagnostiikkatietoja reaaliaikaisesti.

### 5.6.4.2 Dynaamisten sivujen toteutus CGI-ohjelmilla

Kuvassa 27 on esitetty periaate, jolla reaaliaikaohjelman ja selaimessa suoritettavan käyttöliittymän välinen tiedonsiirto voidaan toteuttaa. Ohjausmoduulin WWW-serveri mahdollistaa CGI-skriptien suorituksen (Common Gateway Interface). CGI-skripti on ohjelma, joka suoritetaan, kun selaimella halutaan ladata dynaaminen WWW-sivu. CGI-ohjelma käsittelee selaimen lähettämän HTTP-viestin ja generoi selaimelle tämän perusteella WWW-sivun.

Kuvan 27 mukaisessa toteutuksessa CGI-ohjelma välittää RT-FIFO:n avulla selaimelta tulleen viestin Rt-moduulille ja vastaanottaa Rt-moduulin lähettämän vastauksen viestiin toisen RT-FIFOn kautta. Tämän jälkeen CGI-ohjelma generoi Rt-moduulilta saadusta vastauksesta WWW-sivun, joka lähetetään selaimelle. CGI-ohjelma on mahdollista toteuttaa millä tahansa ohjelmointikielellä, jolla tehtyjen ohjelmien suorittaminen on systeemissä muutenkin mahdollista. MODU-projektissa CGI-ohjelmat toteutettiin c-kielellä, koska c-kielen käyttö ei vaadi lisäkirjastojen asentamista käytetylle ohjausmoduulille.

### 5.6.4.3 Grafiikan esittäminen selainpohjaisessa käyttöliittymässä

Ohjausjärjestelmän toiminnan aikana voidaan kerätä ja tallentaa erilaista tietoa järjestelmän toiminnasta tiedostoon. Tietoja voidaan kerätä esimerkiksi diagnostiikkatarkoituksiin tai työtuntien ja koneen työtehon seurantaan varten. Selainpohjaisen käyttöliittymän avulla tiedostoihin kerättyjä tietoja voidaan tarkastella, purkaa ja tulostaa tarvittaessa. Kerätty data on tavallisesti tallennettu tiedostoon tekstimuotoisena, jolloin se tarkastelun helpottamiseksi tulee muuntaa graafisiksi kuvaajiksi, joita voi tarkastella selaimen avulla.

Linux-ympäristössä tiedostoon tallennetusta ascii- tai binäärimuotoisesta datasta voidaan generoida kuvatiedostoja *gnuplot*-ohjelmalla. *Gnuplot*-ohjelma on vapaaseen lähdekoodiin perustuva matemaattisten kuvaajien esittämiseen tarkoitettu ohjelma, joka on saatavissa Linuxin lisäksi mm. Windows-, Mac- ja Unix-käyttöjärjestelmille. *Gnuplot*-ohjelma mahdollistaa monipuolisten 2D- ja 3D-kuvaajien piirtämisen. Vapaaseen lähdekoodiin perustuva *Octave*-matematiikkaohjelma käyttää *gnuplot*-ohjelmaa graafisten kuvaajien esittämiseen.

*Gnuplot*-ohjelmaa voidaan käyttää interaktiivisesti komentoriviltä, tai *gnuplot*-ohjelman käskyistä voidaan kirjoittaa suoritettavia skriptejä. Skriptien avulla tiedostoon tallennetusta ascii- tai binäärimuotoisesta datasta voidaan generoida esim. PNG- (Portable Network Graphics) tai SVG-tiedostoja (Scalable Vector Graphics), joita voidaan esittää selaimessa.

SVG (Scalable Vector Graphics) -muotoisia grafiikkatiedostoja voidaan varsin helposti generoida ohjelmallisesti. SVG on XML-kieleen perustuva 2D-vektorigrafiikan kuvaamiseen tarkoitettu kieli. SVG-tiedoston rakenne on määritelty XML-dokumenttimäärittelyllä. Adoben kotisivuilta ilmaiseksi ladattava selaimen lisäominaisuus mahdollistaa SVG-tiedostojen näyttämisen selaimessa. SVG-kielen syntaksin selkeys käy ilmi seuraavasta esimerkistä, joka piirtää selaimen 10 x 5 cm:n neliön.

```
<?xml version="1.0" standalone="no"?>
```

```
<!DOCTYPE svg PUBLIC "-//W3C//DTD SVG 1.1//EN"
```

```
"http://www.w3.org/Graphics/SVG/1.1/DTD/svg11.dtd">
```

```
<svg width="15cm" height="15cm" version="1.1" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">
```

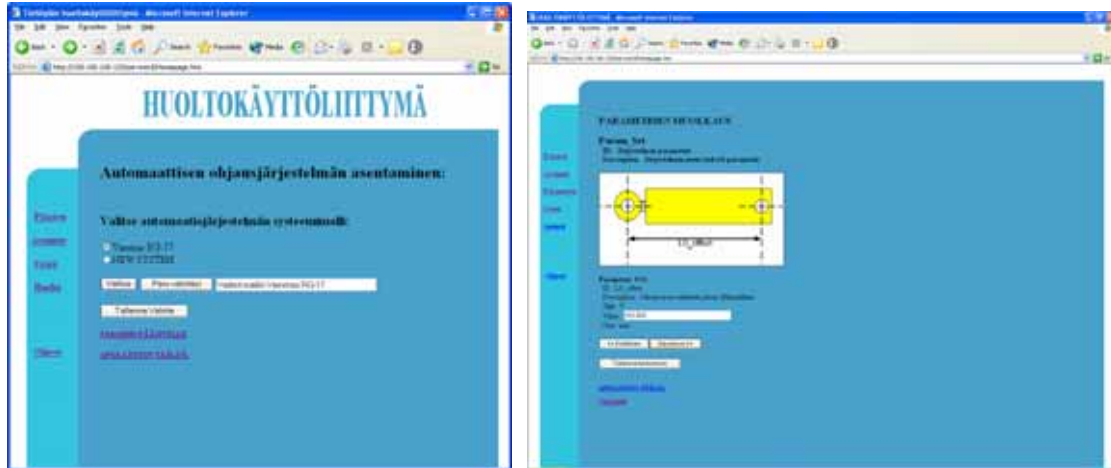
```
<rect x="1.0cm" y="1.0cm" width="10cm" height="5cm"/>
```

```
</svg>
```



#### 5.6.4.4 Sovellusesimerkki: Huoltomiehen käyttöliittymä

CGI-ohjelmia voidaan käyttää myös ohjainmoduulilla olevien tiedostojen muokkaamiseen. MODU-projektissa toteutettiin myös huoltokäyttöliittymä, jolla voi muokata erilaisia ohjausjärjestelmään liittyviä parametreja selaimen avulla, kuva 30.

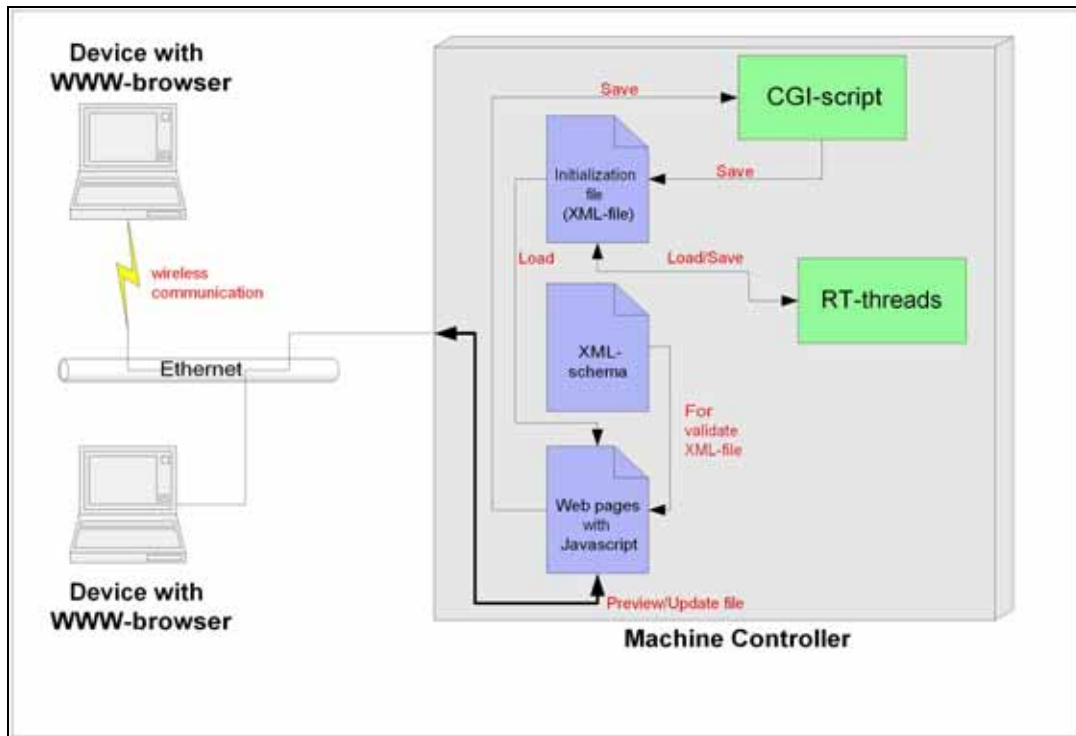


Kuva 30. Selainpohjainen huoltokäyttöliittymä, jolla voidaan muokata järjestelmän parametreja.

Huoltokäyttöliittymän toteutuksessa oli tavoitteena yleiskäyttöisyys. Saman toteutuksen tulee soveltua eri ohjausjärjestelmiin mahdollisimman pienillä muutoksilla. Ohjausjärjestelmän parametrit on tallennettu XML-tiedostoon, jonka rakenne on määritelty XML-skeemalla. Rt-ohjelma lukee parametrien arvot XML-tiedostosta käynnistyksen yhteydessä. Huoltomies tai koneen kuljettaja voi muokata XML-tiedoston sisältöä selaimen avulla. Kuvassa 31 on esitetty järjestelmän toteutus.

Ohjausjärjestelmän parametrit sisältävästä XML-tiedostosta generoidaan JavaScriptillä selaimen dynaamisesti HTML-sivu, jolla XML-tiedostoa voidaan muokata. Skeemavalidoinnilla tarkistetaan muokatun XML-tiedoston oikeellisuus ja vähennetään virheiden mahdollisuutta käyttäjän syöttämässä tiedoissa. Muokatun XML-tiedoston uudelleen tallentamisessa käytetään CGI-ohjelmaa. Kaikki huoltokäyttöliittymän käyttämät tiedostot ja ohjelmat sijaitsevat ohjainmoduulilla.

Huoltokäyttöliittymää käytetään ohjainmoduuliin Ethernetin avulla liitetyllä pc:llä. Käyttö onnistuu esim. ajoneuvo-pc:llä tai kannettavalla pc:llä, jossa on verkkokortti, Internet Explorer -selainohjelma Java-tuella ja uusien Microsoftin Xml-skeema parseri, MSXML 4.0 Software Development Kit (SDK), jota tarvitaan XML-dokumentin validointiin. Eri käyttäjille voidaan antaa erilaiset oikeudet muokata järjestelmän parametreja.



Kuva 31. Huoltokäyttöliittymän toteutus.

## 6. Modulaarinen ohjaus case-koneessa

### 6.1 Järjestelmän kuvaus

Projektissa kehitettyjen menetelmien ja automaatoratkaisujen verifiointia varten valittiin case-kohteeksi teiden pohjarakenteiden vahvistamisessa käytettävän stabilointijyrsimen ohjaus. Kyseessä oli täysin uusi jyrsinmalli, jolloin automaatiojärjestelmän vaatimukset oli mahdollista ottaa huomioon jo koneen suunnitteluvaiheessa. Näin ohjausjärjestelmän komponentit oli mahdollista integroida osaksi koneen muuta automaatiojärjestelmää. Poikkeuksellista koneen ohjauksessa oli toimintojen suuri määrä. Myös koneen fyysiset mitat ovat poikkeuksellisen suuret: koneen pituus yli 8 m, leveys 4 m ja paino 45 tonnia. (Kilpeläinen 2003, Kilpeläinen 2004)



*Kuva 32. Stabilointijyrsin ja ajoneuvo-pc:llä toteutettu käyttöliittymä (kuvat VTT).*

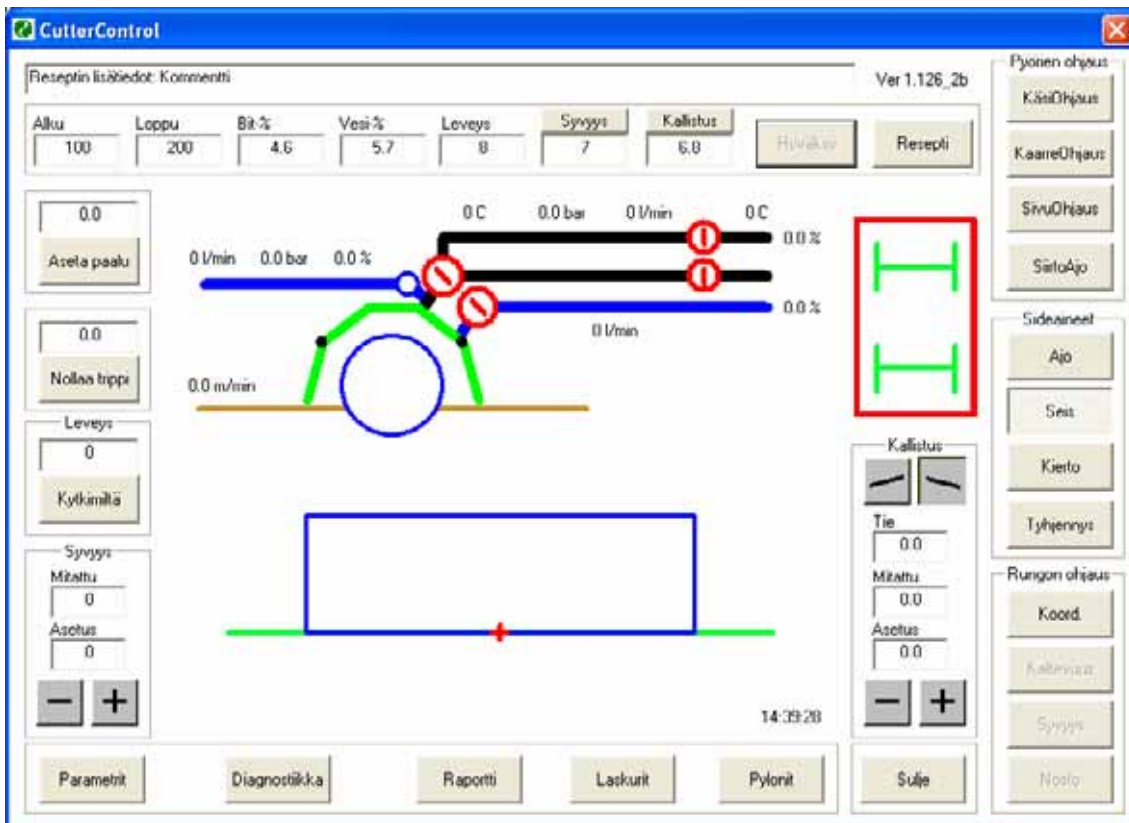
Stabilointijyrsimen käytön aikana kuljettaja joutuu hoitamaan yhtä aikaa useita tarkkuutta vaativia tehtäviä, esim. ohjaamaan konetta, hallitsemaan jyrsintäsyvyyttä ja jyrsinrummun kallistusta sekä sideaineiden syöttölaitteita. Usean yhtäaikaisen tehtävän hallinta on hankalaa koneen liikuessa. Automaatiotekniikkaa soveltamalla tarkkuutta vaativat säätötehtävät voidaan jättää tietokoneen hoidettavaksi, jolloin kuljettaja huolehtii koneen ohjaamisesta ja valvoo automaatiojärjestelmän toimintaa. Automaatiojärjestelmän etuja ovat koneen työtehon kasvaminen, työn laadun parantuminen ja materiaalin säästöt tarkemman sideaineen syötön ansiota. Automaatiojärjestelmä helpottaa kuljettajan työtä, jolloin hänelle jää enemmän aikaa ympäristön havainnoimiseen. Tämä osaltaan parantaa työturvallisuutta. (Kilpeläinen 2003, Kilpeläinen 2004)

## 6.2 Järjestelmän ominaisuudet

Automaatiojärjestelmän tärkeimmät toiminnot ovat rungon liikkeen automaattinen hallinta, sideaineiden syötön automaattinen hallinta sekä renkaiden ohjaus. Seuraavassa kuvataan lyhyesti tärkeimpien toimintojen ominaisuuksia.

### 6.2.1 Käyttöliittymä

Järjestelmää hallitaan ohjaamoon asennettujen ohjaussauvojen ja ajoneuvo-pc:llä toteutetun graafisen käyttöliittymän avulla, kuvat 32 ja 33. Graafista käyttöliittymää käytetään kosketusnäytön avulla, ja se esittää reaaliaikaisella grafiikalla jyrsinrummun aseman, sideaineiden syöttölaitteiston toiminnan ja renkaiden asennot. Käyttöliittymä on suunniteltu siten, että järjestelmän eri laitteiden toimintatila käy ilmi päänäytöstä mahdollisimman helposti. (Kilpeläinen 2003, Kilpeläinen 2004)



Kuva 33. Järjestelmän graafinen käyttöliittymä.

## 6.2.2 Rungon liikkeiden hallinta

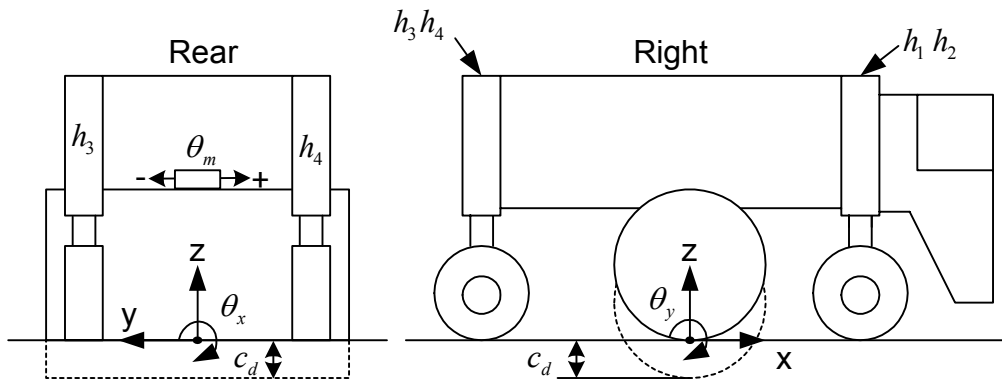
Stabilointijyrsinnän aikana sekä jyrsinrummun korkeutta että kallistusta tulee voida muuttaa. Jyrsinrumpu on kiinteästi asennettu koneen runkoon ja koneen rungon liikkeitä hallitaan muuttamalla neljän pylonien sisällä olevan hydraulisynterinin pituutta kuvan 34 mukaisesti. Etupään sylintereitä  $h_1$  ja  $h_2$  voidaan hallita erikseen. Takapään sylinterit on asennettu rinnakkain, ja niiden pituutta  $h_{34}$  säädetään yhdellä venttiilillä. (Kilpeläinen 2004)

Yksittäisiä sylintereitä liikuttamalla koneen jyrsinrummun kallistuksen ja korkeuden säätö tarkasti on hankalaa, koska tarvitaan useamman sylinterin yhtäaikaista liikuttamista halutun jyrsintäsyvyyden ja kallistuksen asettamiseksi. Koneen rungon hallintaa voidaan suuresti yksinkertaistaa käyttämällä ns. koordinoitua ohjausta. Koordinoidulla ohjauksella jyrsinrummun paikkaa ja asentoa voidaan hallita karteesisessa koordinaatistossa, kuva 35. Yksittäisten toimilaitteiden aseman säädöstä vastaa tietokone. (Kilpeläinen 2004)

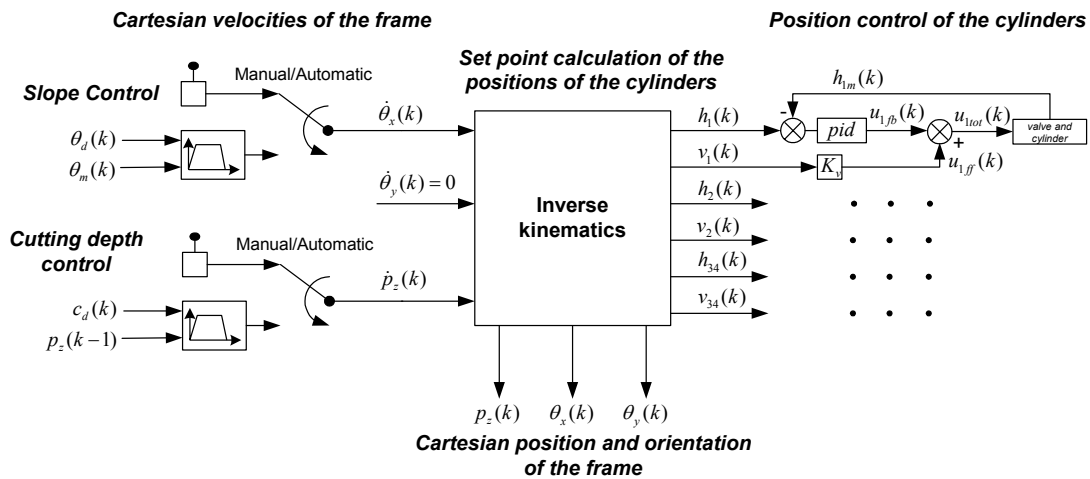
Työsuorituksen aikana ohjattavat rungon liikkeet ovat jyrsinrummun korkeus  $p_z$  ja jyrsinrummun kallistus  $\theta_x$ . Näitä liikkeitä voidaan hallita asettamalla ohjaussauvojen avulla vastaavat karteesiset nopeudet  $\dot{p}_z$  ja  $\dot{\theta}_x$ . Korkeutta ja kallistusta voidaan siis muuttaa toisistaan riippumatta yhdellä ohjaussauvan liikkeellä. Automaattiohjauksella kuljettaja voi asettaa halutun korkeusaseman  $c_d$  ja kallistusasetuksen  $\theta_d$ . Kallistusasetusta verrataan horisontin suhteen kallistusanturilla mitattuun kallistukseen  $\theta_m$ . Näiden perusteella lasketaan korkeuden ja kallistuksen erosuureet. Erosuureiden perusteella lasketaan karteesiset nopeudet  $\dot{p}_z$  ja  $\dot{\theta}_x$ .

Karteesisten nopeuksien perusteella ratkaistaan asetusarvot koneen karteesiselle asemalle, eli  $p_z$ ,  $\theta_x$  ja  $\theta_y$ . Koska koneen pituuskallistusta ei muuteta työskentelyn aikana,  $\dot{\theta}_y=0$ . Ratkaistun rungon karteesisen aseman perusteella ratkaistaan käänteiskinematikka eli toimilaitteiden aseman asetusarvot  $h_1$ ,  $h_2$  ja  $h_{34}$  ja vastaavat toimilaitteiden nopeudet  $v_1$ ,  $v_2$  ja  $v_{34}$ .

Ratkaistuista asetusarvoista ja mitatuista toimilaitteiden asemista  $h_{1m}$ ,  $h_{2m}$  ja  $h_{34m}$  lasketaan erosuureet ja ratkaistaan toimilaitteita säätävälle venttiileille menevät takaisinkytkentähaaran ohjaukset  $u_{1fb}$ ,  $u_{2fb}$  ja  $u_{34fb}$ . Säätimenä käytetään PID-säädintä. Säädön reagointinopeuden parantamiseksi käytetään lisäksi myötähaaraa, jossa myötähaaran ohjaukset  $u_{1ff}$ ,  $u_{2ff}$  ja  $u_{34ff}$  lasketaan toimilaitteiden ratkaistujen nopeuksien ja vahvistuskertoimien  $K_{1v}$ ,  $K_{2v}$  ja  $K_{34v}$  perusteella. Myötähaaran ja takaisinkytkentähaaran perusteella saadaan kokonaisohjaukset  $u_{1tot}$ ,  $u_{2tot}$  ja  $u_{34tot}$ .



Kuva 34. Koordinaatiston sijoitus runkoon.



Kuva 35. Rungon liikkeiden hallinta karteesisessä koordinaatistossa.

Kuvien 34 ja 35 merkintöjen selitykset:

$c_d$	Asetettu haluttu jyrsinsyvyys
$\theta_d$	Asetettu haluttu jyrsinrummun kallistus horisontin suhteen
$\theta_m$	Mitattu rungon poikkikallistus horisontin suhteen
$\dot{p}_z, \dot{\theta}_x, \dot{\theta}_y$	Koneen rungon karteesiset nopeudet
$p_z, \theta_x, \theta_y$	Koneen rungon karteeminen paikka ja asento
$h_{1m}, h_{2m}, h_{34m}$	Mitatut sylinterin pituudet
$h_1, h_2, h_{34}$	Ratkaistut sylinterien pituuden asetusravot

$v_{1}, v_{2}, v_{34}$	Ratkaistut sylinterien nopeuden asetusarvot
$u_{1fb}, u_{2fb}, u_{34fb}$	Takaisinkytkentähaaran ohjaukset
$u_{1ff}, u_{2ff}, u_{34ff}$	Myötähaaran ohjaukset
$K_{1v}, K_{2v}, K_{34v}$	Myötähaaran vahvistuskertoimet
$u_{1tot}, u_{2tot}, u_{34tot}$	Kokonaisohjaukset.

*Alaindeksit 1 ja 2 tarkoittavat etupään vasenta ja oikeaa sylinteriä, ja alaindeksi 34 tarkoittaa takapään sylintereitä, jotka on asennettu rinnakkain.*

### 6.2.3 Sideaineiden syötön automaattinen hallinta

Sideaineiden syötön hallinnalla tarkoitetaan bitumin, vaahdotusveden ja lisäveden syötön hallintaa. Varsinainen sideaine on vaahtobitumia. Vaahtobitumia saadaan suihkutamalla kuumaan bitumiin vettä, jolloin bitumi muuttuu vaahdoksi. Lisättävän bitumin määrä eli suhteutus on yleensä määritetty tarkasti stabilointisuunnitelmassa ja oikean bitumipitoisuuden saavuttaminen on stabiloinnin onnistumisen kannalta ensiarvoisen tärkeää. Stabiloitavan materiaalin kosteuden tulee myös olla oikea. Tämän takia käytetään lisäveden syöttöä. Tarkalla bitumin syötöllä voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Bitumi on kallis materiaali, jonka käyttöä seurataan myös tilaajan toimesta.

Toteutetussa ohjausjärjestelmässä sideaineiden automaattisessa syötössä käytetään hyväksi suunnittelutietoja. Koneen ohjausjärjestelmä käyttää hyväksi ns. reseptitiedostoja, jotka sisältävät tarvittavat stabilointiparametrit paaluväleittäin. Stabilointiparametreja ovat mm. bitumi-%, lisävesi-%, jysintäsyvyys ja jysintäleveys. Reseptitiedostoja voidaan luoda ja muokata ohjausjärjestelmästä käsin, ja tulevaisuudessa ne voidaan tuottaa tien kuntokartoitukseen käytettävillä ohjelmistoilla, esim. Roadscanners Oy:n RoadDoctor-ohjelmistolla.

Sideaineiden syöttöjärjestelmä ohjaa automaattisesti kolmea eri toimilaitetta: bitumipumppua, vaahdotusvesipumppua ja lisävesipumppua. Lisäksi järjestelmä ohjaa lisäaineiden syöttölaitteiden venttiileitä valitun toimintatilan mukaisesti. Bitumin syötöllä on neljä toimintatilaa: seis-tila, ajo-tila, tyhjennys ja kierto. Ajo-tila on normaali toimintatila, jossa sideaineita syötetään. Syötön ollessa päällä järjestelmä ottaa huomioon mm. jysintäsyvyyden, jysintäleveyden ja koneen liikenopeuden. Kierto-tilaan siirrytään automaattisesti koneen pysähtyessä. Tässä tilassa bitumia kierrätetään, jottei se jähmety putkistoon. Tyhjennys-tila on tarkoitettu bitumiputkistojen tyhjennykseen lopetettaessa työskentely.

## 6.2.4 Tietokoneohjattu nelipyöräohjaus

Stabilointityö suoritetaan usein kaista kerrallaan liikenteen kulkiessa toisella kaistalla. Stabilointijyrsimen poikkeuksellisen suuret mitat, esim. yli kahdeksan metrin pituus, tekevät siitä hankalasti käännettävän kapealla tiellä. Koneen ketteryuden parantamiseksi sekä etu- että takapään renkaat on tehty kääntyviksi. Etu- ja takapään renkaita voidaan ohjata toisistaan riippumatta. Renkaiden kääntöä ohjataan ohjaussauvalla. Koska taakse on huono näkyvyys, renkaiden asento esitetään ohjausjärjestelmän näytöllä graafisesti.

Järjestelmässä käytetään tietokoneohjattua nelipyöräohjausta, joka helpottaa koneen käsittelyä. Renkaiden aseman säädössä on neljä toimintatilaa: molempien päiden ohjaus erikseen, kaarreohjaus, sivuohjaus ja siirtoajo.

Kaareohjauksella kuljettajan ei tarvitse erikseen ohjata takarenkaita, vaan niitä käännetään tietokoneohjatuksi eri suuntaan kuin eturenkaita. Ohjausjärjestelmä ottaa huomioon koneen ohjausgeometrian ja jyrsinrummun aseman etu- ja takarenkaiden välissä siten, että konetta käännettäessä jyrsinrumpu ei oikaise. Sivuohtauksella etu- ja takapään renkaat kääntyvät samaan suuntaan. Siirtoajolla takarenkaat ajetaan suoraan ja lukitaan. Siirtoajolle siirrytään automaattisesti, kun asetettu maksiminopeus ylitetään. Renkaita kääntäviä toimilaitteita säädetään takaisinkytketysti.

## 6.3 Järjestelmän laitteiston toteutus

Ohjausjärjestelmän laitteisto muodostuu PC/104-pohjaisesta ohjain-pc:stä ja ajoneuvo-pc-tietokoneesta. PC/104-pohjainen ohjain-pc asennettiin samaan sähkökaappiin koneen muun sähköistyksen kanssa. Tarvittavat anturi- ja toimilaiteliitännät toteutettiin ohjain-pc:n PC/104-väylään tulevilla io-korteilla. Toteutus oli varsin suoraviivainen, koska lähes kaikki koneen sähköistys on koottu yhteen sähkökaappiin.

Ajoneuvo-pc asennettiin koneen ohjaamoon siten, että kuljettajan on helppo valvoa järjestelmän toimintaa näytöltä ja käyttää järjestelmää kosketusnäytön avulla. Ohjain-pc:n ja ajoneuvo-pc:n välinen tiedonsiirto toteutettiin Ethernet-liitännällä. Tätä varten ajoneuvo-pc:hen asennettiin verkkokortti. Ohjain-pc oli varustettu integroidulla verkkokortilla. Lisäksi järjestelmään asennettiin teollisuuskäyttöön suunniteltu Ethernet-kytkin. Tämä mahdollisti kehitystyössä käytettävän pc:n liittämiseen järjestelmään, jolloin ohjelmistojen päivitykset ja datan loggaus voitiin suorittaa helposti Ethernet-verkon kautta.

Ohjausjärjestelmän luotettavuuden parantamiseksi ja turvallisuuden takaamiseksi ohjausjärjestelmän tärkeimmät liikkeet eli renkaiden käännöt sekä rungon sylinterien ohjaus varustettiin varajärjestelmällä. Varajärjestelmä mahdollistaa näiden liikkeiden hallinnat



siinä tapauksessa, että ohjain-pc tai sen ohjelmisto ei jostain syystä toimi. Varajärjestelmä on ohjain-pc:stä riippumaton ja kytkeytyy päälle, jos ohjain-pc ei ole toiminnassa tai kuljettaja painaa hätä-seis-kytkintä. Ohjain-pc:n katkeamattoman virransyötön takaamiseksi se varustettiin UPS-laitteella. Järjestelmä ajaa itsensä automaattisesti hallitusti alas, jos virtakatkon pituus ylittää asetetun rajan.

## 6.4 Järjestelmän ohjelmistojen toteutus

### 6.4.1 Järjestelmään kuuluvat ohjelmistot

Kuvassa 36 esitetään ohjausjärjestelmän ohjelmistojen toteutus. Normaalin työkoneen käytön aikana ajetaan yhtä aikaa kolmea eri ohjelmaa: `dame_rt.o`, `server` ja `Cutter.exe`. `Dame_rt.o` on Rt-Linuxilla toteutettu reaaliaikaohjelma, joka huolehtii järjestelmän io-laitteiden käsittelystä ja reaaliaikaisista säätötehtävistä. Se on yhdistetty RT-FIFOilla `server`-ohjelmaan, joka on normaali Linux-ohjelma. `Server`-ohjelman tehtävänä on huolehtia reaaliaikaohjelman ja käyttöliittymän välisestä TCP/IP-socketeilla tapahtuvasta tiedonsiirrosta sekä hoitaa toimintoja, jotka eivät vaadi reaaliaikaominaisuuksia. `Cutter.exe`-ohjelma on Windows-ohjelma, joka toimii järjestelmän käyttöliittymänä. Ohjelma vastaanottaa reaaliaikaohjelmalta tulevia tietoja TCP/IP-socketin kautta ja päivittää käyttöliittymää näiden tietojen perusteella. Vastaavasti kuljettajan komennot välitetään TCP/IP-socketin kautta `server`-ohjelmalle, joka välittää ne edelleen reaaliaikaohjelmalle.

Järjestelmän kehitystyötä varten kehitettiin myös `logger`-ohjelma, jolla voidaan kerätä reaaliaikaisesti tietoa järjestelmän toiminnasta. `Logger`-ohjelmalla kerättyä tietoa voidaan joko tallentaa tiedostoon tai lähettää TCP/IP-socketin avulla `Plotter`-ohjelmalle. `Plotter`-ohjelmalla tästä tiedosta voidaan tulostaa reaaliaikaisesti käyriä. Tämä ominaisuus on erittäin hyödyllinen järjestelmän kehitysvaiheessa ja myöhemmin vikadiagnostiikassa.

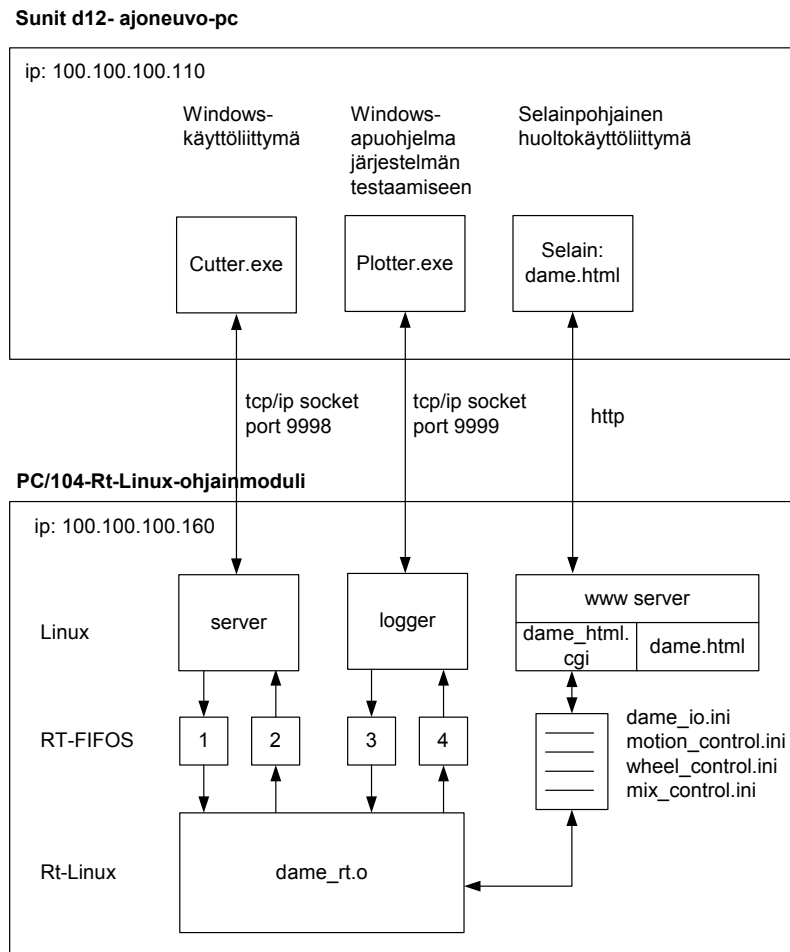
Ohjausjärjestelmä sisältää eri toimintoihin liittyviä parametreja, jotka on tallennettu ohjausmoduulille `ini`-tiedostoihin. Järjestelmän käynnistyksen yhteydessä reaaliaikaohjelma lukee parametrien arvoja näistä tiedostoista. Tärkeimpiä parametreja voi muokata suoraan ohjausjärjestelmän käyttöliittymästä. Harvemmin muutettavien parametrien muokkaukseen kehitettiin erillinen selaimessa toimiva huoltokäyttöliittymä. Toteutuksessa käytettiin hyväksi ohjain-pc:llä olevaa WWW-palvelinta. Huoltokäyttöliittymän dynaamiset WWW-sivut toteutettiin CGI-ohjelmalla.

Windows-ohjelmat toteutettiin C++-ohjelmointikielellä MS Visual Studio 6.0 -kehitysympäristössä. Linux-ohjelmistot kehitettiin c-kielellä käyttäen Linuxin vakiotyökaluja,

kuten gcc-kääntäjää ja graafista KDevelop 2.0 c/c++ IDE -kehitysympäristöä. Yhteenveto järjestelmään kuuluvista ohjelmista on esitetty taulukossa 11.

*Taulukko 11. Järjestelmän ohjelmistot.*

<b>Ohjelma</b>	<b>Käyttöjärjestelmä</b>	<b>Kuvaus</b>
Cutter.exe	Windows	Ohjausjärjestelmän graafinen käyttöliittymä
Plotter.exe	Windows	Järjestelmän kehitystä ja testausta helpottava apuohjelma, piirtää graafisia kuvaajia järjestelmän toiminnasta
Server	Linux	Linux-ohjelma käyttöliittymän ja käyttöliittymän väliseen kommunikointiin
Logger	Linux	Järjestelmä kehitystä ja testausta helpottava apuohjelma, tietojen loggaus tiedostoon tai lähetys reaaliaikaisesti Plotter-ohjelmalle
Dame_rt.o	Rt-Linux	Säätö- ja ohjaustoiminnot toteuttava Rt-moduuli
Dame_html.cgi	Linux	Huoltokäyttöliittymän dynaamisia html-sivuja generoiva ohjelma, jolla voi mm. muokata järjestelmän ini-tiedostoja



Kuva 36. Stabilointijyrsimen ohjausjärjestelmän ohjelmistot.

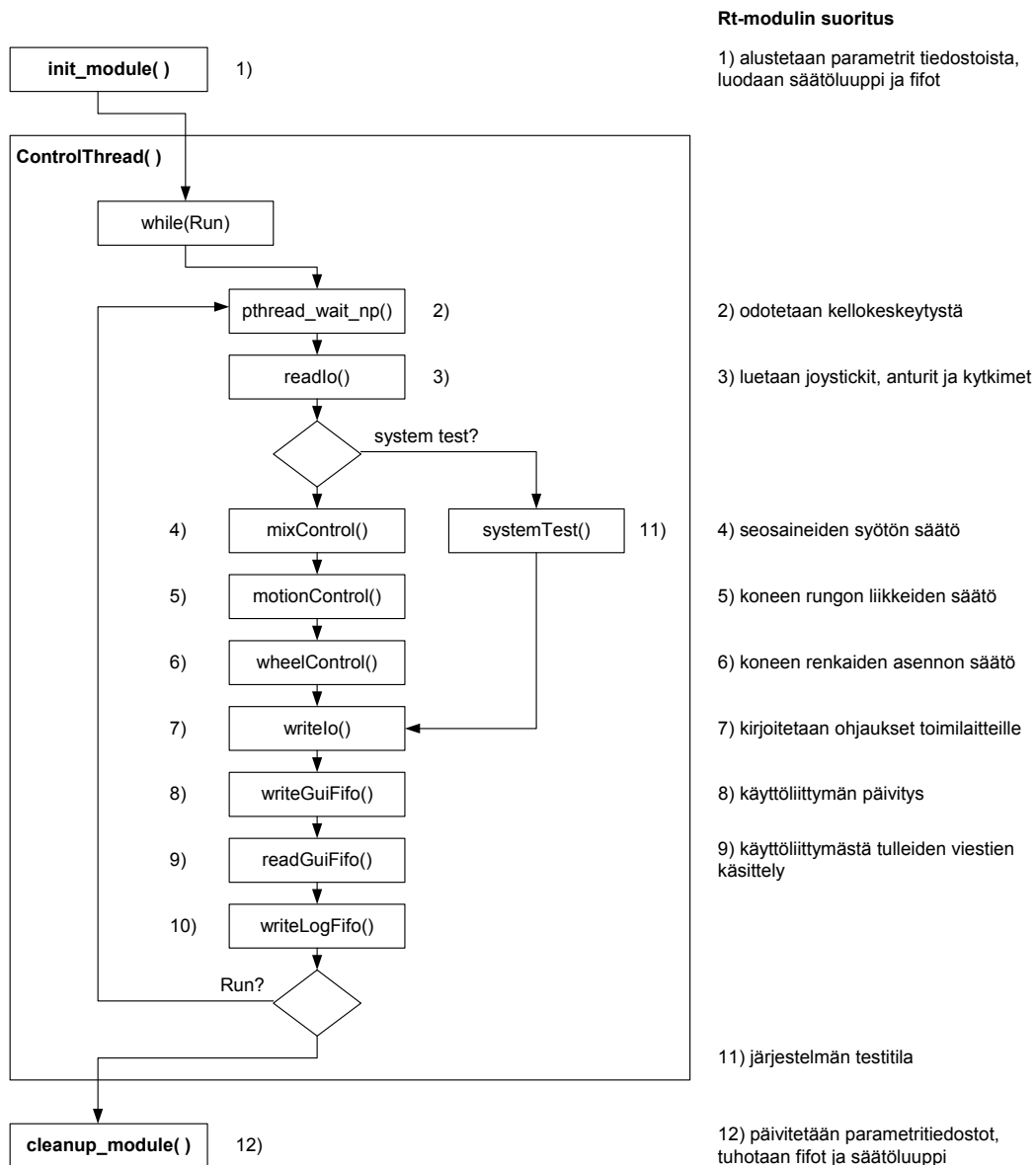
## 6.4.2 Reaaliaikaohjelman toteutus ja toiminta

Kuvassa 37 on esitetty reaaliaikaohjelmiston suoritus lohkokaaaviolla. Reaaliaikaohjelma `dame_rt.o` on ladattava kernel-moduuli. Moduulin latauksen yhteydessä suoritetaan `init_module()`-funktio, jossa luodaan varsinainen säätötehtäviä suorittava säie, `control_thread()`, sekä suoritetaan erilaisia alustukseen liittyviä tehtäviä. Vastaavasti reaaliaikaohjelman suorituksen loputtua suoritetaan `cleanup_module()`-funktio, jossa tuhoetaan säikeet ja suoritetaan ohjelman hallittu lopetus.

Varsinainen ohjelman suoritus tapahtuu `control_thread()`-säikeessä, joka saa suoritusvuoron asetetun säätövälillä, esim. 20 ms, välein. Ohjelman päätoiminnot on jaettu funktioiksi, joita kutsutaan `control_thread()`-säikeestä. Säätötehtäviin liittyviä toimintoja ovat `readIo()` ja `writeIo()` (io-laitteiden käsittely), `motionControl()` (rungon liikkeen hallinta), `mixControl()` (sideaineen syötön hallinta) ja `wheelControl()` (renkaiden asen-

non säätö). Lisäksi *control\_thread()*-säie lähettää dataa käyttöliittymäohjelmalle ja käsittelee käyttöliittymästä tulevia käskyjä.

Suoritettavia säikeitä voidaan tarvittaessa luoda useampiakin, eli ohjelman suoritus voidaan hajauttaa useampaan säikeeseen. Tästä on etua esimerkiksi digitaalisessa alipäästösuodatuksessa, jos halutaan käyttää suodatuksessa tiheämpää näytteenottoväliä kuin säädössä käytettävä säätöväli. Useamman säikeen tapauksessa täytyy kiinnittää enemmän huomiota säikeiden suorituksen synkronointiin.



Kuva 37. Reaaliaikaohjelmiston suoritus lohkokaaavana.

## 6.5 Havainnot

### 6.5.1 Kokemuksia käytetyistä tekniikoista

Ohjausjärjestelmän toteutus perustui Rt-Linux-käyttöjärjestelmällä varustetun PC/104-cpu-kortin sekä ajoneuvo-pc:n yhdistelmään, joiden välisessä tiedonsiirrossa käytettiin Ethernet-väylää. Tämän kokoonpanon voidaan todeta sopivan stabilointijyrsimen ohjausjärjestelmän toteutukseen varsin hyvin, koska kyseinen järjestelmä on varsin laaja niin anturi- ja toimilaiteliitännöjen kuin toimintojen määrän suhteenkin.

Ohjainlaitteistona käytettiin PC/104-cpu-korttia, jota voitiin laajentaa PC/104-väylään asennettavilla io-korteilla. PC/104-cpu-kortit perustuvat pc-teknologiaan. Ne tarjoavat erittäin hyvän suorituskyvyn kohtuulliseen hintaan. Tekniikka kehittyy nopeasti, ja markkinoille tulee koko ajan entistä tehokkaampia kortteja, joille on integroitu entistä enemmän toimintoja. PC/104-laitteiden standardointi ja runsas tarjonta tekevät niistä varteenotettavan vaihtoehdon varsinkin yksittäisien ja pieninä sarjoina valmistettavien koneiden ja laitteiden automaatiojärjestelmissä, koska järjestelmä voidaan kasata vakio-osista. PC/104-laitteille luvataan jopa kymmenen vuoden saatavuus. Pienissä sarjoissa sovelluskohtaisesti suunniteltavat laitteistoratkaisut tulevat suunnittelu- ja valmistuskustannuksiltaan kalliiksi ja varaosien saatavuus voi muodostua ongelmaksi.

Ohjelmistojen toteutuksessa päädyttiin ratkaisuun, jossa käyttöliittymä toteutettiin Windows-käyttöjärjestelmällä ja varsinaisen säätöjärjestelmä Rt-Linux-käyttöjärjestelmällä. Windows-järjestelmän valintaa käyttöliittymän toteutuksessa puolsi se, että se oli käyttäjille tutumpi ja Windows-pohjaisten graafisten ohjelmien toteutus ja kehitystyökalut olivat kehittäjille ennestään tuttuja. Koska käyttöliittymän ja reaaliaikaohjelman välinen tiedonsiirto on toteutettu Ethernetillä ja TCP/IP-socketeilla, voidaan käyttöliittymän toteutustekniikka, eli laitteisto, käyttöjärjestelmä ja ohjelmistototeutus, valita sovellutukseen sopivaksi. Tämä mahdollistaa käyttöjärjestelmästä riippumattomien ohjelmointikielien, esim. Javan, käyttämisen.

PC/104-cpu-kortin käyttöjärjestelmänä käytettiin Rt-Linux-käyttöjärjestelmää, joka laitteistovaatimustensa takia on soveltuu hyvin käytettäväksi PC/104-laitteistossa. Linux-käyttöjärjestelmän asentamisesta PC/104-cpu-kortille on todettava, että se vaatii runsaasti osaamista ja voi olla erittäin aikaavievää. Ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi Linuxin vakiokirjastojen eri versioiden välinen yhteensopimattomuus ja tuki eri lisälaitteille, esim. verkko- ja näytönohjainkorteille.

Ohjelmointi Rt-Linux-ympäristössä ei eroa muista reaaliaikakäyttöjärjestelmistä kovin paljon, koska ohjelmointi tapahtuu totutusti c-kielellä. Graafinen ohjelmointiympäristö osoittautui tarkoitukseen sopivaksi ja helpotti ohjelmointityötä huomattavasti. Rt-

Linuxin reaaliaikaominaisuudet todettiin hyväksi, ja Linuxin todettiin toimivan luotettavasti. Pitempiaikaisessa käytössä ongelmia voivat aiheuttaa usein toistuvat sähkökatkot. Sähkökatkot voivat aiheuttaa Linuxin levyjärjestelmään virheitä, joita järjestelmä ei pysty itse korjaamaan. Tämän takia järjestelmä kannattaa varustaa UPS-laitteella. Ohjelmistokehityksen aikana havaittiin joitakin pieniä puutteita Rt-Linuxin kirjastojen tarjoamissa funktioissa, esim. merkkijonojen käsittelyssä.

Linuxin verkko-ominaisuudet osoittautuivat erittäin hyväksi. Selkeä etu oli se, että Ethernet-liitännän takia kehitystyön aikana voitiin käyttää vakiotyökaluja, kuten Telnet- ja FTP-ohjelmia, jotka löytyvät niin Windows- kuin Linux-käyttöjärjestelmästäkin. Näin esimerkiksi tiedostojen siirto eri tietokoneiden välillä oli helppoa ja nopeaa.

Ohjelmisto- ja laitteistoratkaisujen voidaan todeta sopivan hyvin tienrakennuskoneiden ohjausjärjestelmien toteutukseen. Mikrokontrolleri-pohjaiset sulautetut järjestelmät soveltuvat yksinkertaisimpiin tapauksiin, mutta PC/104-tekniikan edut tulevat esiin tarvittaessa laskentatehoa, graafisia käyttöliittymiä, laajennettavuutta ja yhteensopivuutta erilaisiin tietojärjestelmiin. Yksinkertaisimmissa järjestelmissä erillisen ajoneuvo-pc:llä toteutetun käyttöliittymän voi korvata PC/104-cpu-korttiin suoraan asennettavalla näyttöllä, jolloin voidaan toteuttaa kompakteja ohjainlaitteita.

Case-kohteesta saatujen tuloksien perusteella projektissa kehitetyt ohjausalgoritmit ja -menetelmät sekä HW- ja SW-ratkaisut ovat laajasti sovellettavissa 2D- tai 3D-suunnittelu- ja mittaustietoa hyödyntävissä tienrakennuskoneiden automaattiohjauksissa.

## 7. Yhteenveto

Julkaisussa käsiteltiin MODU-projektissa tutkittuja maanrakennuskoneiden automaatio-ratkaisuja sekä esiteltiin LATO-projektissa kehitetty tietyömaan materiaalikuljetusten hallintaan kehitetty langaton hallintajärjestelmä.

Maanrakennuksen eri työvaiheet perustuvat eri mittausmenetelmillä hankittuihin lähtötietoihin ja näiden lähtötietojen perusteella laadittuihin suunnitelmiin. Laadunvalvonta perustuu työmaalla suoritettaviin tarkistusmittauksiin. Näissä työvaiheissa sovelletaan nykyään runsaasti tietotekniikkaa. Maanrakennus on pitkälle koneellistettu, ja käytössä on lukuisia sekä yleiskäyttöisiä että erikoisesti tiettyyn työvaiheeseen kehittyjä koneita. Useat työvaiheet ovat luonteeltaan toistuvia ja tarkkuutta vaativia sekä vaativat koneen käyttäjältä suurta ammattitaitoa ja jatkuvaa tarkkaavaisuutta, jotta päästään hyvään työtehoon ja laatuun. Näiden seikkojen takia kiinnostus koneautomaation soveltamiseen erilaisten maanrakennuskoneiden ohjauksessa on lisääntynyt. Automaattisilla koneenohjausjärjestelmillä pyritään hakemaan parempaa tehokkuutta ja työn laatua sekä aikaansaamaan säästöjä niin työajan kuin rakennusmateriaalienkin säästön kautta.

Julkaisussa luotiin katsaus markkinoilla oleviin maanrakennuskoneiden ohjausjärjestelmiin sekä niiden ominaisuuksiin ja teknisiin ratkaisuihin. Tällä hetkellä yleisimmät maanrakennuksessa käytettävät ohjausjärjestelmät on kehitetty tienrakennukseen materiaalien levitykseen ja rakennekerrosten muotoiluun. Lähes kaikkiin yleisimpiin tienrakennuksessa käytettäviin koneisiin, esim. puskutraktoriin, kaivinkoneeseen, tiehöylään ja asfaltinlevittimeen, on saatavissa automaatiojärjestelmiä useilta valmistajilta. 3D-ohjausjärjestelmät käyttävät hyväkseen 3D-CAD-ohjelmilla tuotettua suunnittelutietoa, esimerkiksi tien pinnan 3D-malleja. Suunnittelutieto yhdistetään reaaliaikaisesti 3D-paikannuslaitteilla mitattuun paikkatietoon, jolloin koneen työsuoritusta voidaan ohjata automaattisesti 3D-suunnitelman mukaisesti. Reaaliaikaisista 3D-paikannusteknologioista yleisimmät ovat ATS-takymetri ja RTK-GPS-paikannus.

Tien rakennekerrosten muotoilun lisäksi automaatiojärjestelmiä voidaan soveltaa esimerkiksi vanhojen teiden kunnostuksessa käytettävien koneiden sekä pohjanvahvistuksessa käytettävien koneiden automatisoinnissa. Molemmissa tapauksissa työsuoritus perustuu suunnitelmatietoon, joko esimerkiksi rakenteen parantamissuunnitelmaan tai pohjanvahvistussuunnitelmaan. Näissä tapauksissa suunnittelutiedon tulee sisältää ko. työkonen työn kannalta oleellisia paikkaan sidottuja parametreja.

MODU-projektissa haettiin ratkaisua, jolla voitaisiin toteuttaa eri valmistajien ohjausjärjestelmien ja suunnittelu- sekä laadunvalvontajärjestelmien välinen yhteensopivuus. Tällä hetkellä markkinoilla olevissa järjestelmissä käytetään suljettuja valmistajakohtaisia formaatteja ja yhteensopivuusongelmat ovat yleisiä. XML-kieli tarjoaa ratkaisun eri

ohjelmistojen väliselle tietojen siirrolle. XML-pohjaisten formaattien käyttö on lisääntynyt eri järjestelmien välisessä tiedonsiirrossa. Esimerkkejä XML-pohjaisista formaateista ovat esim. maanrakennuspuolen suunnitteluohjelmistoissa yleistymässä oleva LandXML, etupäässä päällystetöihin kehitetty Osyris-formaatti sekä kaivoskoneisiin kehitetty Iredes-formaatti. MODU-projektissa tutkittiin XML-kielen soveltamista eri maanrakennuskoneiden tarvitsemien suunnitelmatietojen kuvaamisessa sekä erityyppisten koneiden automaattisesti keräämien laatu-tietojen tallentamisessa. XML-kielen käytön eduksi katsottiin avoimet, selkeät ja hyvin määritellyt rajapinnat sekä helppo laajennettavuus erityyppisille koneille. XML-muotoisien dokumenttien käsittelyyn todettiin olevan saatavilla valmiita työkaluja, ja samoin XML-muotoisten dokumenttien yhteensopivuus erilaisten tietokantojen kanssa katsottiin eduksi.

MODU-projektissa tutkittiin myös laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja, joilla voidaan toteuttaa erilaisten maanrakennuksessa käytettävien koneiden automaatiojärjestelmiä. Tavoitteena oli joustava ja laajennettava ratkaisu. Järjestelmän peruskomponentiksi valittiin pc-tekniikkaan perustuva PC/104-CPU-kortti. Tätä ohjainmoduuliin voidaan liittää erilaisia käyttöliittymälaitteita, esim. ajoneuvo-pc tai LCD-näyttö. Samoin ohjainmoduuliin voidaan liittää erilaisia io-laitteita, kuten AD-, DA- ja CAN-kortteja, standardoidun PC/104-väylän avulla. Valitun laitteistoratkaisun etuja on hyvä komponenttitarjonta, joustavuus, laajennettavuus sekä hyvä laskentateho ja ohjelmoitavuus.

PC/104-CPU-kortin käyttöjärjestelmäksi valittiin Rt-Linux. Rt-Linux-käyttöjärjestelmä soveltuu kovaa reaaliaikaa vaativien säätösovellusten toteuttamiseen. Linuxin monipuolisia verkko-ominaisuuksia käytettiin hyväksi erilaisten käyttöliittymien toteuttamisessa ja ohjelmistojen kehitysvaiheessa. PC/104-CPU-kortti toimii Telnet-, FTP- ja WWW-palvelimena. Verkko-ominaisuudet mahdollistavat ohjainmoduulin liittämisen mm. Ethernet-yhteydellä erillisellä ajoneuvo-pc:llä toteutettuun käyttöliittymään tai selainpohjaisen käyttöliittymän toteuttamiseen. Ohjelmistojen kehitys Rt-Linux-käyttöjärjestelmälle tapahtuu normaalilla pc-työasemalla tai kannettavalla tietokoneella, johon on asennettu Rt-Linux-kehitysympäristö. Ohjelmistojen kehitys tapahtuu c-kielellä graafisella ohjelmistokehitystyökalulla. Ohjelmistojen päivitys ohjainmoduulille tehdään FTP-yhteydellä käyttäen Linuxin mukana vakiona tulevia ohjelmia.

Projektissa kehitettyjä menetelmiä ja automaatoratkaisuja verifiointiin case-kohteessa, jonka ohjausjärjestelmä muodostui PC/104-pohjaisesta ohjainmoduulista ja erillisellä ajoneuvo-pc:llä toteutetusta graafisesta käyttöliittymästä. Ohjainmoduulin ja ajoneuvo-pc:n välinen tiedonsiirto on toteutettu Ethernet-väylällä. Ohjainmoduuli hoitaa reaaliaikaisia säätötehtäviä, ja sen käyttöjärjestelmänä on Rt-Linux. Ajoneuvo-pc on varustettu Windows-käyttöjärjestelmällä, ja järjestelmän toimintoja voidaan hallita graafisen käyttöliittymän ja kosketusnäytön avulla. Käytetyn ohjelmisto- ja laitteistoratkaisun voidaan todeta soveltuvan erityyppisten maanrakennuskoneiden automaatio-sovelluksiin.



Tässä julkaisussa esiteltiin lyhyesti myös langattomia tiedonsiirtotekniikoita ja niiden käyttömahdollisuuksia työmaan eri toimintojen hallinnassa. Langattomista teknologioista sovellusmielessä mielenkiintoisimpia ovat WLAN-tekniikka sekä operaattoripohjainen GPRS-tekniikka. Sovellusesimerkkinä esiteltiin LATO-projektissa kehitetty ja pilotoitu GPRS-tiedonsiirtoa ja mobiiliteknologiaa hyödyntävä järjestelmä työmaan materiaalikuljetusten hallintaan. Järjestelmä on tietokantapohjainen. Työmaan toimintojen hallinnassa käytettävään tietokantaan voidaan olla langattomasti yhteydessä mobiileilla päätelaitteilla tai Internetin kautta. Näin on mahdollista jakaa työmaalla toimiville työntekijöille ja koneille tehtäviä sekä seurata tehtävien etenemistä lähes reaaliaikaisesti.

Työmaalla toimivien työntekijöiden päätelaitteina käytettiin joko työkoneeseen asennettavaa ajoneuvo-pc:tä tai matkapuhelinta. Ohjelmistot matkapuhelimiin toteutettiin JavaME:lla ja ajoneuvo-pc:en JavaSE:llä. Toimistokäyttöä varten toteutettiin selainpohjainen käyttöliittymä. Tietokantaratkaisuna käytettiin Linux-palvelimella toimivaa avoimeen lähdekoodiin perustuvaa MySQL-tietokantaohjelmistoa. Järjestelmää testattiin työmaan materiaalikuljetusten hallinnassa. Järjestelmän todettiin toimivan suunnitellulla tavalla, joskin GPRS-verkon toimivuudessa esiintyi jonkin verran ongelmia. Käytetyistä päätelaitteista Java-ominaisuuksilla varustettu matkapuhelin osoittautui käyttökelpoiseksi ja edulliseksi ratkaisuksi. Suuremmalla näytöllä varustetulla ajoneuvo-pc:llä voidaan toteuttaa monipuolisempia sovelluksia. LATO-projektissa kehitetyn järjestelmän sovelluskohteita voivat olla materiaalin kuljetusten hallinnan lisäksi esim. maa-aineskauppa ja tietyömaan työtehtävien hallinta.

# Loppusanat

MODU-projekti kuului osana Tekesin rahoittamaan Infra-teknologiaohjelmaan ja Älykäs tietyömaa -projektikokonaisuuteen. Älykäs tietyömaa -projektikokonaisuus on koonnut yhteen maanrakennusalalla toimivia yrityksiä sekä tutkijoita eri tutkimuslaitoksista niin Suomesta kuin ulkomailtakin.

MODU-projektissa on keskitytty tienrakennusautomaatioissa tarvittaviin ohjausmenetelmiin ja tekniikoihin. Tutkimusaiheena maanrakennusautomaatio on hyvin laaja tutkimusalue. Maanrakennuksen automaatiojärjestelmien kehittäminen vaatii, paitsi elektroniikan sekä säätö- ja ohjaustekniikan osaamista, myös perehtymistä maanrakennuksessa käytettäviin suunnittelu- ja mittausmenetelmiin, rakentamismenetelmiin ja laadunvalvontaan. Yksittäisten työkoneiden automaatiojärjestelmien sijasta kehitystyö painottuu tulevaisuudessa entistä enemmän koko rakentamisprosessin hallintaan ja tietotekniikan ja automaatiojärjestelmien soveltamiseen rakentamisprosessin eri vaiheissa. Tämän kokonaisuuden hallinta ja kehittäminen vaatii eri alojen osaajien välistä yhteistyötä ja vuorovaikutusta.

Tekesin Infra-teknologiaohjelma on erinomaisella tavalla vienyt eteenpäin maanrakennusalan tutkimusta ja alan toimijoiden verkottumista ja luonut edellytyksiä uusien innovaatioiden syntymiselle.

## Lähdeluettelo

Andersson, R. Birbeck, M. & Kay, M. 2000. Professional XML. Birmingham: Wrox Press. 1169 s. ISBN 1-861003-11-0

Anttila, A. 2000. TCP/IP tekniikka. 1. p. Juva: Helsinki Media. 471 s. ISBN 951-832-055-1

Bono, J. 2000. XML Reaches Factory Floor's Automation Islands. *Industrial Computing*, Vol. 19, s. 26–28.

Crump, D. 2002. The importance of XML in automation. *Machine Design*, Vol. 74, s. 94.

D&PS 2001. Non-contacting navigation and grade and slope control systems for road pavers. Esite.

Digital Logic 2002. Smart embedded computers – Solution Guide. Esite.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. 2002. The efficiency of a 3-D blade control system in the construction of structurelayers by road grader – Automated design-build of road construction in Finland. Teoksessa: Stone, W. C. 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Gaithersburg, Maryland, 23.–25. September 2002. Washington: U.S. Government Printing Office. S. 475–480. (NIST Special Publication 989)

Henttu, P. & Lehtoranta, V. K. 1993. GPS Maailmanlaajuinen satelliittinavigointijärjestelmä, opas uuteen aikaan. Navipro Oy. 96 s.

Holzner, S. 2001. Inside XML. Nelimarkka, M. (käänt.). Helsinki: Edita Oyj. 1130 s. ISBN 951-826-471-6

Iredes Initiative 2002. Standard for Mine Equipment communication. Iredes Initiative. Version 0.95.

Jurasz, J., Ligier, A., Horn, A. & Wendebaum, J. 2002. On-board data management structure for advanced construction machine support. Teoksessa: Stone, W. C. 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Gaithersburg, Maryland, 23.–25. September 2002. Washington: U.S. Government Printing Office. S. 409–414. (NIST Special Publication 989)

Kajananen, J. 2002. OSYRIS – Järjestelmä tienrakentamisen laadun parantamiseksi. *Asfaltti*, Vol. 70, s. 14–19.

Kilpeläinen, P. 2003. Automaatiota tienparannukseen, VTT Elektroniikan asiakas- ja tiedotuslehti 2/2003. Oulu: Kirjapaino Kaleva. 16 s. ISSN 1458-3143

Kilpeläinen, P. 2004. Development of a modular control system for road construction machines, Research and development activities in advanced interactive systems 2003. Oulu: VTT Electronics. 61 s.

Korkiala-Tanttu, L. & Törnqvist, J. 2003. Syvästabiloinnin laadunvalvontamenetelmien kehittäminen. Helsinki: Edita. 57 s. ISBN 951-803-062-6

Känsälä, K. 2003. Tienrakennustyömaa tehokkaaksi langattomalla ohjaustietojen hallinnalla, VTT Elektroniikan asiakas- ja tiedotuslehti 2/2003. Oulu: Kirjapaino Kaleva. 16 s. ISSN 1458-3143

Känsälä, K., Saavalainen, P. & Tukeva, P. 2004. Wireless Road Construction Site – Material Transportation in Real time, Research and development activities in advanced interactive systems 2003. Oulu: VTT Electronics. 61 s.

LandXML. 2003. LandXML schema 1.0 HTML documentation. Saatavissa: <http://landxml.org/schema/landxml-1.0/Documentation/LandXMLDoc.htm> (18.8.2004)

Ligier, A., Flidner, J., Kajanen, J. & Peyret, F. 2002. Open system for road information support. Teoksessa: Budny, E. & Szlagowski, J. 18th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Krakow, Poland, 10.–11. September 2001. Warszawa: IMBiGS – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. S. ACM\_12. ISBN 8386040114

Ollikainen, M. 1993. GPS-koordinaattien muuttaminen kartastokoordinaateiksi. Geodeettisen laitoksen tiedote 8. Helsinki: 31 s.

Osyris 2002, Open System for Road Information Support. University of Karlsruhe. [viitattu 21.07.2003]. Saatavissa: [http://www.unikarlsruhe.de/~gm03/ae\\_osyris\\_base\\_for\\_article.pdf](http://www.unikarlsruhe.de/~gm03/ae_osyris_base_for_article.pdf) (20.08.2003)

Perälä, T. 1998. Erikoistyö. Tiesuunnitelmien sisäänluku numeeriseen koneohjausjärjestelmään. Loppuraportissa: Jaakkola, M. & Heikkilä, R. 2000. Liikkuvan työkoneneen ohjaus tienrakentamisessa. Oulun yliopisto, Rakentamistalouden laboratorio.

Peyret, F. & Tasky, R. 2002. Asphalt quality parameters tracability using electronic tags and GPS. Teoksessa: Stone, W. C. 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Gaithersburg, Maryland, 23.–25. September 2002. Washington: U.S. Government Printing Office. S. 155–160. (NIST Special Publication 989)

Rautaruukki. 2002. RR-Paalutusohjekirja. 96 s.

RIL 1995. Maarakennus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. ISBN 951-758-343-5

Seward, D. W. 1997. The automation of piling rig positioning using satellite GPS. Automation in construction, Vol. 6, s. 229–240.

Tiehallinto. 2001a. Perustamis- ja vahvistamistyöt. Helsinki: Edita Oyj. 45 s. ISBN 951-726-818-1

Tiehallinto. 2001b. Syvästabiloinnin suunnitteluohje. Helsinki: Edita Oyj. 41 s. ISBN 951-726-823-8

Tiehallinto. 2002a. Kantavan kerroksen stabilointi. Helsinki: Edita Oyj. 28 s. ISBN 951-726-842-4

Tiehallinto. 2002b. Stabilointiohje. Helsinki: Edita Prima Oy. 48 s. ISBN 951-726-843-2

Tiehallinto. 2002c. Tiesuunnittelun laatujärjestelmä, maastotietojen hankinta, toimintaohjeet. Helsinki. 44 s.

Tiehallinto. 2003. Tien perustamistavan valinta. Helsinki: Oy Edita Ab. 51 s. ISBN 951-803-061-8

Tielaitos. 1990. Laadunvalvontaohjeet – Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 124 s. ISBN 951-47-2714-2

Tielaitos. 1991. Mittausautomaation hyödyntäminen maanrakennuskoneiden ohjauksessa. Tielaitoksen selvityksiä 39/1991. Helsinki. 44 s.

Tielaitos. 1998. Päällysteiden suunnittelu. Helsinki: Oy Edita Ab. 45 s. ISBN 951-726-372-4

Trimble. 2002. Trimble ATS. Esite. Saatavissa:  
<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-91332/ATSdatasheetFIN.pdf>  
(20.08.2003)

Tukeva, P. 2003. Suunnittelutiedon siirtäminen XML-muodossa maanrakennuskoneiden ohjausjärjestelmään. Diplomityö, Oulun yliopisto, konetekniikan osasto. 68 s.

Valtanen, K. 2000. Dynaamisesti uudelleenkonfiguroitavat ohjelmistokomponentit Windows NT- ja Linux-käyttöjärjestelmien reaaliaikalaajennuksissa. Diplomityö, Oulun yliopisto, sähkötekniikan osasto. 67 s.

<b>Tekijä(t)</b> Kilpeläinen, Pekka, Nevala, Kalervo, Tukeva, Pirkka, Rannanjärvi, Leila, Näyhä, Tuomo & Parkkila, Tommi			
<b>Nimeke</b> <b>Älykäs tietyömaa</b> <b>Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus</b>			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tämä Tiedote käsittelee tienrakennuskoneiden automatisointiin liittyviä menetelmiä ja teknisiä ratkaisuja, joita on tutkittu MODU-projektissa (Modulaarisen ohjausjärjestelmän kehittäminen tienrakennuskoneiden automaatiosovelluksiin). MODU-projekti kuuluu osana Tekesin Infra-teknologiaohjelmaan ja Älykäs tietyömaa -projektikokonaisuuteen. Tiedotteessa esitellään lyhyesti myös Älykäs tietyömaa -kokonaisuuteen kuuluvan LATO-projektin (Langaton tietyömaan ohjaustiedon hallinta) tuloksia. LATO-projektissa on tutkittu langattomien tiedonsiirtotekniikoiden mahdollisuuksia tietyömaan toimintojen hallinnassa sekä pilotoitu työmaan materiaalin kuljetusten hallintaan kehitettyä langatonta hallintajärjestelmää.</p> <p>MODU-projektissa on tutkittu erityisesti automaatiojärjestelmiä, jotka hyödyntävät 3D-suunnittelu- ja mittaustietoa koneen työsuorituksen automaattisessa ohjauksessa. Projektissa on tutkittu yleiskäyttöisiä menetelmiä suunnittelujärjestelmien, työkoneiden ohjausjärjestelmien ja laadunvalvontajärjestelmien väliseen tiedonsiirtoon. Eri järjestelmien välisiin yhteensopivuusongelmiin ratkaisu on XML-pohjaisen avoimen tiedonsiirtoformaatin kehittäminen ja käyttöönotto. MODU-projektissa on myös tutkittu erilaisen tienrakennuksessa käytettäviin työkoneisiin soveltuvia laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja. Projektissa kehitetty HW-ratkaisu perustuu PC/104-pohjaiseen Rt-Linux -käyttöjärjestelmällä varustettuun ohjainmoduuliin, jota voidaan sovelluskohtaisesti laajentaa sekä anturi- ja toimilaiteliitäntöjen että käyttöliittymätoimintojen osalta.</p> <p>Projektissa kehitettyjen menetelmien ja automaatoratkaisujen verifiointia varten valittiin case-kohteeksi teiden pohjarakenteiden vahvistamisessa käytettävän stabilointijyrsimen ohjaus. Case-kohteesta saatujen tuloksien perusteella projektissa kehitetyt ohjausalgoritmit ja -menetelmät sekä HW- ja SW-ratkaisut ovat laajasti sovellettavissa 2D-tai 3D-suunnittelu- ja mittaustietoa hyödyntävissä tienrakennuskoneiden automaatiohjauksissa.</p>			
<b>Avainsanat</b> road building, machine automation, wireless communication, positioning systems			
<b>Toimintayksikkö</b> VTT Elektronikka, Kaitoväylä 1, PL 1100, 90571 OULU			
<b>ISBN</b> 951-38-6486-3 (nid.) 951-38-6487-1 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			<b>Projektinumero</b> E3SU00169
<b>Julkaisuaika</b> Elokuu 2004	<b>Kieli</b> Suomi, engl. tiiv.	<b>Sivuja</b> 116 s.	<b>Hinta</b> C
<b>Projektin nimi</b> Modulaarisen ohjausjärjestelmän kehittäminen tienrakennuskoneiden automaatiosovelluksiin		<b>Toimeksiantaja(t)</b> Tekes, yritykset	
<b>Avainnimeke ja ISSN</b> VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		<b>Myynti:</b> VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Series title, number and  
report code of publication

VTT Research Notes 2255  
VTT-TIED-2255

<b>Author(s)</b> Kilpeläinen, Pekka, Nevala, Kalervo, Tukeva, Pirkka, Rannanjärvi, Leila, Näyhä, Tuomo & Parkkila, Tommi			
<b>Title</b> <b>The intelligent construction site</b> <b>The modular control system for the road construction machines</b>			
<b>Abstract</b> <p>This report concerns itself with the technical solutions and methods that are used in automation of the road construction machines. In this report the research work carried out in the MODU project is presented. The research project MODU (The development of modular control system for the road construction machines) is part of the Infra technology program funded by Tekes. The MODU project is part of "the Intelligent Construction Site" project collaboration. In this report the results of the LATO project (Wireless Construction Site) are also introduced briefly. The LATO project is also a part of the "Intelligent Construction site" project collaboration. In LATO project the possibilities of the wireless communication systems in production control on road construction site are studied and a wireless system for handling the material transportation tasks in road construction is developed and piloted.</p> <p>The objective of the MODU project is to enhance the use of automation in road construction and to develop technology applicable to road construction automation. The main area of the research is machine control systems that use 3D design data for automatic control. Research has been carried out to develop methods for data transfer between CAD programs, machine control systems and quality assurance systems. An XML-based data format is proposed for solving incompatibility problems between different systems. In MODU project hardware and software solutions applicable to the automation of the road construction machines are studied also. The developed HW and SW solution is based on the use of a PC/104 single board PC with Rt-Linux operating system as a control module. This control module can be expanded with different sensor and actuator interface devices as well as user interface devices.</p> <p>For verifying the developed methods and automation solutions the control system of the stabilizing cutter was chosen as a test case. A stabilizing cutter is used for rehabilitation and subgrade reinforcement of the old road pavement. As a result from the case study methods, algorithms and HW and SW solutions developed during the project were verified. The results of the project are applicable to a wide variety of automation systems in road construction that incorporate 2D and 3D design data and real time measurements for automatic control.</p>			
<b>Keywords</b> road building, machine automation, wireless communication, positioning systems			
<b>Activity unit</b> VTT Electronics, Kaitoväylä 1, P.O.Box 1100, FIN-90571 OULU, Finland			
<b>ISBN</b> 951-38-6486-3 (soft back ed.) 951-38-6487-1 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		<b>Project number</b> E3SU00169	
<b>Date</b> August 2004	<b>Language</b> Finnish, engl. abstr.	<b>Pages</b> 116 p.	<b>Price</b> C
<b>Name of project</b> The development of modular control system for the road construction machines		<b>Commissioned by</b> Tekes, companies	
<b>Series title and ISSN</b> VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		<b>Sold by</b> VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	



Älykäs tietömaa – Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus – tiedotteessa luodaan katsaus maanrakennuksessa käytettäviin automaatoratkaisuihin. Tiedotteessa käsitellään maanrakennusautomaatioon sovellettavia ohjausmenetelmiä, laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja, paikannusteknologioita, langattomia tiedonsiirtoteknologioita ja tietotekniikan sovellutuksia. Tiedotteen tavoitteena on antaa yleiskuva em. teknologioiden soveltamismahdollisuuksista maarakennusalalla ja kannustaa teknologioiden entistä parempaan hyödyntämiseen maanrakennuksessa.

---

Tätä julkaisua myy  
VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. (09) 456 4404  
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av  
VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. (09) 456 4404  
Fax (09) 456 4374

This publication is available from  
VTT INFORMATION SERVICE  
P.O.Box 2000  
FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 9 456 4404  
Fax + 358 9 456 4374

---