TURUN YLIOPISTON
MERENKULKUALAN KOULUTUS- JA TUTKIMUSKESKUKSEN JULKAISUJA

PUBLICATIONS FROM THE CENTRE FOR MARITIME STUDIES
UNIVERSITY OF TURKU

B 167
2009

TUKKE – TUOTESEURANTA SATAMASIDONNAISESSA KULJETUSKETJUSSA

Hennariina Pulli

Antti Posti

Ulla Tapaninen

TURUN YLIOPISTON
MERENKULKUALAN KOULUTUS- JA TUTKIMUSKESKUKSEN JULKAISUJA

PUBLIKATIONER AV SJÖFARTSBRANSCHENS UTBILDNINGS- OCH FORSKNINGSCENTRAL VID ÅBO UNIVERSITET

PUBLICATIONS FROM THE CENTRE FOR MARITIME STUDIES UNIVERSITY OF TURKU

B 167
2009

TUKKE – TUOTESEURANTA SATAMASIDONNAISESSA KULJETUSKETJUSSA

Hennariina Pulli

Antti Posti

Ulla Tapaninen

Turku 2009

SARJAN PÄÄTOIMITTAJA / EDITOR-IN-CHIEF
Juhani Vainio

JULKAISIJA / PUBLISHER :
Turun yliopisto / University of Turku
MERENKULKUALAN KOULUTUS- JA TUTKIMUSKESKUS
CENTRE FOR MARITIME STUDIES

Veistämönaukio 1–3
FI–20100 TURKU, FINLAND

Puh. / Tel. +358 (0)2 281 3300
Fax +358 (0)2 281 3311
http://mkk.utu.fi

Painosalama Oy
Turku 2009

ISBN 978-951-29-3990-9 (nid.)

ISBN 978-951-29-3991-6 (PDF)

ISSN 1456–1824

ESIPUHE

Globalisaatio, lisääntyneet asiakasvaatimukset, kustannuspaineet ja turvallisuusvaatimukset ovat viime vuosina lisänneet painetta toimitusketjuun liittyvän tiedon välittämiseen ja tuotteiden seurantaan. Tavoitteena on, että tieto kuljetuskaluston, kuljetusyksiköiden ja tuotteiden sijainnista ja saatavuudesta on tarvittaessa eri osapuolten käytettävissä ajasta ja paikasta riippumatta. Kansainväliset kuljetusketjut risteävät satamissa, joissa on jopa useita kymmeniä toimijoita hoitamassa osaltaan samaa kuljetuserää. Satamasidonnaisissa toimitusketjuissa kuljetettavien tavaratoimitusten hallinta onkin usein merkittävästi vaikeampaa kuin esimerkiksi maan sisäisten tavaratoimitusten hallinta.

Käsillä oleva raportti on TEKES-rahoitteisen "Tuoteseuranta satamasidonnaisessa kuljetusketjussa (TUKKE)" -projektin loppuraportti. TUKKE-projekti saa rahoitusta Tekesin VAMOS (Liiketoiminnan mobiilit ratkaisut) -ohjelmasta ja Merikotka-tutkimuskeskuksen yritysryhmältä sekä Kotkan-Haminan seudun kehittämisyhtiö Cursor Oy:ltä. TUKKE-projektin tulokset luovat pohjaa syksyllä 2009 Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen Kotkan toimipisteessä alkavalle "Mobile Port (MOPO)" -projektille, jonka tavoitteena on luoda älykäs satamaportaali, joka jakaa tietoa sataman toimijoille ja jota käytetään hyväksi liikenteen ohjauksessa muun muassa raja- ja maantieruuhkien välttämiseksi.

TUKKE-projektin tulosten perusteella voidaan todeta, että satamissa kullakin toimitusketjun toimijalla on käytössä omia sisäisiä järjestelmiä, joilla voidaan tietyiltä osin hallita tavaratoimitusten seurantaa kyseisen yrityksen näkökulmasta. Laajan, useita toimijoita sisältävän tuoteseurantajärjestelmän rajapintojen ja standardien integrointi on erittäin haastavaa. Uusi teknologia luo kuitenkin uusia mahdollisuuksia tehostaa tuoteseurantaa myös satamissa.

Tutkimuksen ovat tehneet DI Hennariina Pulli ja DI Antti Posti tukenaan professori Ulla Tapaninen. Tutkimus on tehty Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen Kotkan toimipisteessä, joka toimii osana Meriturvallisuuden ja -liikenteen tutkimuskeskus "Merikotkaa".

Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus esittää parhaimmat kiitoksensa Haminan satamalle Oy:lle, VR Cargolle, Cursor Oy:lle sekä haastatteluihin osallistuneille yrityksille ja asiantuntijoille.

Turussa 20. heinäkuuta 2009

Juhani Vainio
johtaja
Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus

TIIVISTELMÄ

Logistiikka-alalla toimivien yritysten liiketoimintaympäristö on muuttunut globalisaation myötä maailmanlaajuiseksi ja entistä dynaamisemmaksi. Tämä on lisännyt ajantasaisen ja virheettömän tiedon välityksen merkitystä läpi maa- ja yritysrajojen ylittävien toimitusketjujen. Tuoteseuranta ja siihen liittyvän tiedon välittäminen ovat olennainen osa maailmanlaajuisten toimitusketjujen hallintaa. Tuoteseurannan avulla tavaratoimituksia voidaan seurata läpi toimitusketjun, minkä ansiosta tieto kuljetuskaluston, kuljetusyksiköiden ja tuotteiden sijainnista ja saatavuudesta on tarvittaessa eri osapuolten käytettävissä ajasta ja paikasta riippumatta. Tarkan tavaratoimitusten sijainnin tietäminen tehostaa toimitusketjun eri osapuolten resurssien suunnittelua ja kohdistamista, mahdollistaa toimitusketjun pullonkaulojen havaitsemisen sekä helpottaa poikkeamatilanteiden hallintaa. Satamissa toimitusketjujen hallinnan merkitys korostuu toimijoiden ja erilaisten prosessien monitahoisuudesta johtuen.

Tämä tutkimusraportti on Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen Kotkan yksikössä tammikuun 2008 ja elokuun 2009 välisenä aikana toteutetun *Tuoteseuranta satamasidonnaisessa kuljetusketjussa (TUKKE)* -projektin loppuraportti. TUKKE-projektissa tarkasteltiin satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa liikkuvia tietovirtoja ja niiden jakamista eri toimijoiden kesken sekä selvitettiin satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytilaa ja kehitysmahdollisuuksia.

Tuoteseurannassa hyödynnettävät tunnistus- ja paikannusmenetelmät voidaan jakaa satelliittipaikannus-, verkkopaikannus- ja lähipaikannusmenetelmiin. *Satelliittipaikannus* on käytännössä ainoa reaaliaikaisen maailmanlaajuisen tuoteseurannan mahdollistava menetelmä, jonka tarkkuus on tyypillisesti muutamia metrejä, mutta erilaisilla laajennuksilla voidaan päästä vieläkin parempiin paikannustarkkuuksiin. Satelliittipaikannus soveltuu pääasiassa kuljetusvälineiden ja suurten kuljetusyksiköiden (esim. kontti) seurantaan, ja vain erityistapauksissa kriittisten yksittäisten tuotteiden seurantaan. *Verkkopaikannusmenetelmät* eivät yksistään sovellu ehdotonta tarkkuutta vaativiin paikannussovelluksiin, sillä niiden tarkkuus vaihtelee tekniikasta ja ympäristöstä riippuen kymmenistä metreistä aina kymmeniin kilometreihin. Jatkuvan ja reaaliaikaisen kaupallisen paikannuspalvelun toteuttaminen verkkopaikannusmenetelmillä on käytännössä mahdotonta. Verkkopaikannusta voidaankin hyödyntää lähinnä yksittäisiä paikkapyyntöjä toteuttavana menetelmänä, joka soveltuu toimitusketjuissa lähinnä tavaratoimitusten karkean tason seurantaan. Verkkopaikannus soveltuu nykyään lähinnä satelliittipaikannusta tukevaksi menetelmäksi, esimerkiksi poikkeamatilanteiden hallinnassa. *Lähipaikannustekniikat* ovat ainoita paikannusmenetelmiä, joilla päästään jopa senttimetritason tarkkuuksiin sekä sisä- että ulkotiloissa. Lähipaikannusmenetelmät soveltuvat hyvin esimerkiksi varastojen hallintaan. Lähipaikannusmenetelmiin kuuluvat tunnistusmenetelmät (viivakoodi ja RFID) helpottavat tuotteiden hallintaa tarjoamalla statustietoa tavaratoimituksista toimitusketjun eri vaiheissa. Tunnistusmenetelmät ovat usein järkevin ratkaisu tuotetasoisessa seurannassa.

Erilaiset tavaratoimitukset asettavat erilaisia vaatimuksia tuoteseurannalle. *Kokokuormatasoisten* kuljetusten seuranta on perinteisesti perustunut konttien osalta yksilölliseen tunnistenumeroon sekä perävaunun ja trailerin osalta rekisterinumeroon. Kokokuor-

mayksiköiden seurannassa olisi mahdollista siirtyä käyttämään tehokkaampia seurantamenetelmiä, joista satelliittipaikannus ja RFID-tekniikka ovat useimmissa tapauksissa sopivimmat ratkaisut. Kokokuormatason seuranta edellyttää seurantatekniikan (esim. RFID-tunniste tai GPS-vastaanotin) asentamista seurattavaan kuljetusyksikköön (esim. kontti). Kokokuormatasoinen seuranta riittää monissa tapauksissa, koska kuljetusyksikköä seurattaessa voidaan samalla seurata sen sisältämiä osakuormia ja yksittäisiä tuotteita. *Osakuormatasoinen* seuranta tarkoittaa kuljetuslavojen tai muiden vastaavien kuljetusalustojen seurantaa. Kuljetuslavojen seuranta on mahdollista toteuttaa lavakohtaisilla tunnisteilla (esim. RFID-tunniste), joihin voidaan linkittää myös tieto lavan sisältämistä tuotteista. Kuljetuslavoja voidaan seurata reaaliaikaisesti myös satelliittipaikannuksella, mutta tälle ei useinkaan ole tarvetta, koska yleensä toimitusketjun eri osapuolia kiinnostaa lähinnä tavaratoimituksiin liittyvä statustieto. *Tuotetasolla* tapahtuva tuoteseuranta mahdollistaa yksityiskohtaisen ja tarkan tuotteiden tunnistamisen ja paikantamisen läpi kuljetusketjun. Tuotetasoinen seuranta edellyttää seurantatekniikan asentamista jokaiseen yksittäiseen seurattavaan tuotteeseen. Käytännössä ainoat tuotetasoiseen seurantaan soveltuvat seurantatekniikat ovat viivakoodi- ja RFID-tunnistustekniikat, koska tuotetasoisen seurannan toteuttaminen muilla seurantatekniikoilla ei ole yleensä taloudellisesti järkevää. Yleisesti ottaen tuotetasoista seurantaa kannattaa hyödyntää lähinnä tuotteiden tunnistamisessa ja statustietopohjaisissa sovelluksissa eikä niinkään varsinaisessa paikannuksessa.

Satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseuranta perustuu nykyään lähinnä statustietoon ja sitä tarjoaviin tunnistustekniikoihin. Tämä johtuu pääasiassa siitä, ettei satamasidonnaisissa toimitusketjuissa useinkaan tarvita statustietoa tarkempaa tietoa, vaan yleensä pelkkä ETA-tieto riittää. Esimerkiksi reaaliaikaista paikkatietoa tarjoavaa satelliittipaikannustekniikkaa hyödynnetään satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa lähinnä navigoinnissa ja reittisuunnittelussa, mutta vain harvoin reaaliaikaisessa tuoteseurannassa. Matkapuhelinverkkoihin perustuva paikannus ei näyttäisi olevan yleisessä käytössä satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa. Toimijoiden laajasta kirjosta johtuen satamasidonnaisissa toimitusketjuissa on harvoin käytössä yhtenäistä koko toimitusketjun kattavaa tuoteseurantajärjestelmää. Laajan ja useita toimijoita sisältävän tuoteseurantajärjestelmän rajapintojen ja standardien integrointi on erittäin haastavaa. Kullakin toimitusketjun toimijalla on yleensä käytössä omia sisäisiä järjestelmiä, joilla voidaan tietyiltä osin hallita tavaratoimitusten seurantaa kyseisen yrityksen näkökulmasta.

Yhtenäinen koko toimitusketjun kattava tuoteseurantaratkaisu voi toimia suljetuissa järjestelmissä, joissa on rajattu määrä toimijoita ja joissa tavoitellaan vain näiden toimijoiden yhteisiä etuja. Suljetuissa järjestelmissä eri toimijoiden väliset rajapinnat on integroitu keskenään yhteensopiviksi, ja osapuolien välille on muodostunut vakiintuneita toimintatapoja. Lisäksi suljetut järjestelmät pysyvät usein melko muuttumattomina. Nämä tekijät tuovat läpinäkyvyyttä suljettuun toimitusketjuun, ja tuotetiedon jakamisesta tulee luonnollinen osa toimitusketjun toimintaa.

Tekniset valmiudet hyvinkin kehittyneiden ja monipuolisten koko toimitusketjuja kattavien tuoteseurantaratkaisujen toteuttamiseen ovat jo olemassa. Toimitusketjujen laajuisten seurantaratkaisujen kehittämisen esteenä eivät siis niinkään ole itse seurantatietoa tuottavat tunnistus- ja paikannustekniikat, vaan suurimpana haasteena on seurantatiedon

saattaminen sellaiseen muotoon, että se on helposti jokaisen toimitusketjun osapuolen saatavissa ja hyödynnettävissä. Yksittäisillä mailla ja satamilla on jo nykyään käytössä eräänlaisia tietoportaaleja, jotka mahdollistavat tavaratoimituksiin liittyvien tietojen keskitetyn tallentamisen ja hyödyntämisen. Myös Suomen meriliikennettä palvelee tämäntapainen keskitetty tietoportaali PortNet, joka on tarkoitettu pääasiassa aluskäynteihin liittyvien tietojen jakamiseen eri toimijoiden kesken. PortNet sisältää kuitenkin tietoa vain Suomen satamiin kohdistuvista aluskäynneistä. Tästä johtuen tavaratoimitusten seuranta läpi globaalien toimitusketjujen ei ole PortNet-järjestelmällä mahdollista. Tulevaisuuden kannalta olisikin tärkeää pohtia, olisiko mahdollista kehittää PortNet-järjestelmän kaltainen globaali tietoportaali, joka palvelisi kansainvälisiä satamasidonnaisia toimitusketjuja ja loisi pohjan läpinäkyvälle maa- ja yritysrajat ylittävälle tuoteseurantaratkaisulle.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO ... 23
1.1 Tutkimuksen tausta ... 23
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus ... 24
1.3 Tutkimuksen rajaukset ... 25
1.4 Raportin rakenne ... 26

2 TIEDONVÄLITYS JA TUOTESEURANTA TOIMITUSKETJUSSA ... 28
2.1 Toimitusketjun hallinta ... 28
2.2 Toimitusketjujen tehostaminen ... 29
2.3 Tiedon merkitys toimitusketjujen hallinnassa ... 29
2.4 Tuoteseurannan merkitys toimitusketjuissa ... 32
2.5 Tuoteseurannan tasot ... 36

3 TUOTESEURANTAAN SOVELTUVAT TUNNISTUS- JA PAIKANNUSMENETELMÄT ... 39
3.1 Satelliittipaikannus ... 40
3.1.1 GPS ... 47
3.1.2 GLONASS ... 52
3.1.3 Galileo ... 53
3.1.4 Beidou ... 56
3.2 Verkkopaikannus ... 57
3.2.1 Solupaikannus ... 59
3.2.2 Signaalin voimakkuuteen perustuva paikannus ... 60
3.2.3 Signaalin saapumiskulmaan perustuva paikannus ... 61
3.2.4 Signaalin saapumisaikaan perustuva paikannus ... 63
3.2.5 Korrelaatiopaikannus ... 65
3.3 Lähipaikannus ... 65
3.3.1 Lähiverkkopaikannus ... 66
3.3.2 Infrapunapaikannus ... 67
3.3.3 Bluetooth-paikannus ... 68
3.3.4 Viivakoodi ... 72
3.3.5 Etätunnistinpaikannus ... 73
3.3.6 Ultraäänipaikannus ... 80
3.4 Muita tuoteseurannassa hyödynnettäviä tekniikoita ... 81
3.4.1 EDI ... 81
3.4.2 PortNet ... 83
3.4.3 AIS ... 88
3.4.4 Seuranta Internetissä ... 89

4 TUOTESEURANTA SATAMASIDONNAISESSA KULJETUS-KETJUSSA ... 91
4.1 Satamasidonnainen kuljetusketju ... 91
4.1.1 Satamasidonnaisen kuljetusketjun tyypilliset toimijat ja niiden toimenkuva ... 92
4.1.2 Satamasidonnaisen kuljetusketjun prosessikuvaus ... 94

4.2 Tuoteseurannan nykytila satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa 96
4.3 Tunnistus- ja paikannusmenetelmien vertailu ja soveltuvuus tuoteseurantaan..... 97
4.3.1 Satelliittipaikannuksen soveltuvuus tuoteseurantaan 98
4.3.2 Verkkopaikannuksen soveltuvuus tuoteseurantaan 100
4.3.3 Lähipaikannuksen soveltuvuus tuoteseurantaan..... 102
4.4 Tuoteseuranta eri tasoilla 105
4.4.1 Kokokuormatason tuoteseuranta 106
4.4.2 Osakuormatason tuoteseuranta 108
4.4.3 Tuotetason tuoteseuranta 109
4.4.4 Tuoteseurannan kannalta optimaalinen toimitusketju 110

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 113
5.1 Tutkimuksen tausta 113
5.2 Tunnistus- ja paikannusmenetelmät..... 113
5.3 Tunnistus- ja paikannustekniikoiden soveltuvuus tuoteseurantaan 115
5.4 Erilaisten tavaratoimitusten tuoteseuranta 116
5.5 Satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytila, tulevaisuuden näkymät ja haasteet 118

LÄHTEET 121

KÄSITELUETTELO

3G	Kolmannen sukupolven (3rd Generation) matkapuhelinteknologia, joka mm. kasvattaa tiedonsiirtonopeutta ja tuo mukanaan muita lukuisia kehittyneitä toimintoja aiempiin matkapuhelinteknologioihin verrattuna.
621B	Yhdysvaltojen ilmavoimien satelliittipaikannushanke, joka yhdistettiin vuonna 1973 osaksi GPS-satelliittipaikannusjärjestelmää.
A-GPS	Avustettu GPS (Assisted GPS) on yksi GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän laajennuksista, jossa GPS-vastaanotin integroidaan matkapuhelinverkkoa käyttävään päätelaitteeseen.
Ad hoc -verkko	Langatonta siirtotietä pitkin keskenään kommunikoivien laitteiden muodostama täysin hajautettu langaton verkko, jossa laitteet toimivat täysin autonomisesti.
AFLT	Kulkuaikaeropaikannusmenetelmä (Advanced Forward Link Trilateration), jota käytetään Yhdysvalloissa CDMA-verkoissa.
AIS	Alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä (Automatic Identification System), jota käytetään merenkulussa alusten seurantaan ja tunnistamiseen.
AOA	Saapumiskulmapaikannus (Angle Of Arrival) perustuu signaalin saapumiskulman/-suunnan mittaukseen.
AS-palvelutaso	Auktorisoitu palvelu (Authorized Service) on toinen Beidou-satelliittipaikannusjärjestelmän kahdesta palvelutasosta. Se tarjoaa varmuutta ja turvallisuutta paikannukseen valtuutetuille käyttäjille.
ATA	Todellinen saapumisaika (Actual Time of Arrival).
ATD	Todellinen lähtöaika (Actual Time of Departure).
ATP	Todellinen ohitusaika (Actual Time of Passing).
Avaruussegmentti	Satelliittipaikannusjärjestelmien yksi kolmesta pääosasta. Avaruussegmentti muodostuu avaruudessa maata kiertävistä satelliiteista, jotka lähettävät paikannukseen ja ajastukseen tarvittavia tietoja maahan.

Bayplan	Ks. Cargo plan.
Beidou	Kiinassa kehitteillä oleva satelliittipaikannusmenetelmä, joka tarjoaa valmiina järjestelmänä maailmanlaajuisen kattavuuden. Beidou-järjestelmän on arvioitu olevan täydessä operatiivisessa käytössä vuoteen 2015 mennessä.
Bluetooth	Lyhyen kantaman tiedonsiirtotekniikka, jolla erilaiset elektroniset laitteet voivat viestiä keskenään langattomasti radioaaltojen avulla.
Bullwhip-ilmiö	Kysynnän muutosten voimistuminen toimitusketjun ylävirtaan mentäessä. Bullwhip-ilmiöstä käytetään myös nimitystä piiskavaikutus.
Buukkaus	Lastitilan varaaminen aluksen ruumasta.
C/A-koodi	GPS-satelliittien luoma pseudosatunnainen koodi (Coarse Acquisition Code) GPS-signaalin matka-ajan laskemiseksi. C/A-koodi on suunniteltu siviilikäyttöön ja Yhdysvaltain puolustusministeriö voi halutessaan heikentää sen tarkkuutta SA-häirinnällä.
Cargo plan	Lastausjärjestys, joka osoittaa lastin eri osien sijainnin aluksen ruumassa. Cargo plan -termistä käytetään myös nimitystä bayplan.
CDMA	Kanavanvaraustekniikka (Code Division Multiple Access), jota hyödynnetään mm. matkapuhelinverkoissa.
Cell ID	Solupaikannus (Cell Identification) on matkapuhelinverkon ominaisuuksiin perustuva paikannusmenetelmä, jossa päätelaite paikannetaan tukiaseman palvelualueen mukaan.
Cell ID + TA	Ajastusennakolla parannettu solupaikannus (Cell ID + Time Advance) mittaa signaalin kulkuaikaa päätelaitteen ja tukiaseman välillä, minkä perusteella voidaan laskea päätelaitteen etäisyys tukiasemasta.
Compass	Kiinan kehittämän Beidou-satelliittipaikannusjärjestelmän toisen vaiheen kansainvälinen nimi. Compass tunnetaan myös nimellä Beidou 2.

CPFR	Termi (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment), jolla tarkoitetaan pyrkimystä luoda entistä läheisemmät välit yritysten välille yhdenmukaistamalla ketjun hallintaa, synkronoimalla ennusteita ja integroimalla yritysten välisiä prosesseja.
CS-palvelutaso	Kaupallinen palvelu (Commercial Service) on yksi Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän neljästä palvelutasosta. Kaupallinen palvelutaso on tarkoitettu ammattikäyttöön, ja se tarjoaa hyvän suorituskyvyn, varmuusasteen ja paikannustarkkuuden.
DGPS	Differentiaalinen GPS (Differential GPS) on yksi GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän laajennuksista, jossa hyödyntää kiinteitä tukiasemia ja niiden tarkkaan tunnettua sijaintia, minkä avulla pystytään laskemaan todellinen etäisyys määrättynä hetkenä kuhunkin satelliittiin eli selvittämään kunkin satelliitin mitatun etäisyyden virhe tietyllä ajanhetkellä.
DOA	Saapumissuunta (Direction Of Arrival). Ks. AOA.
Doppler-ilmiö	Aaltoliikkeen taajuudessa, vaiheessa tai aallonpituudessa tapahtuva näennäinen muutos, joka johtuu aaltojen lähteen ja havaitsijan liikkeestä toisiinsa nähden.
E-OTD	Parannettuun aikaeron mittaukseen (Enhanced Observed Time Difference) perustuva GSM-verkoissa toimiva paikannusmenetelmä.
EDI	Organisaatioiden väliseen määrämuotoisen liiketoimintatiedon välitykseen kahden organisaation tietojärjestelmien välillä tarkoitettu sähköinen tiedonsiirtotapa (Electronic Data Interchange). EDI-termistä käytetään Suomessa myös lyhennettä OVT eli Organisaatioiden Välinen Tiedonsiirto.
EDIFACT	Tiedonsiirtostandardi (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport), joka määrittää rakenteelliselle tiedolle syntaksin mukaisen sääntöjoukon, interaktiivisen viestinvälitysprotokollan ja vakiomuotoisen viestin.

EGNOS	Euroopassa toimiva satelliittipohjainen tarkennusjärjestelmä (European Geostationary Navigation Overlayd System), joka parantaa vaikutusalueellaan varsinaisen satelliittipaikannusjärjestelmän tarkkuutta. EGNOS-järjestelmä tulee myöhemmin laajenemaan eurooppalaiseksi Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmäksi.
ESA	Euroopan avaruusjärjestö (European Space Agency), joka on vuonna 1973 perustettu avaruustutkimukseen keskittynyt kansainvälinen järjestö.
ETA	Arvioitu saapumisaika (Estimated Time of Arrival).
ETD	Arvioitu lähtöaika (Estimated Time of Departure).
ETP	Arvioitu ohitusaika (Estimated Time of Passing).
Extranet	Yrityksen tai muun yhteisön ja asiakkaan tai yhteistyökumppanin välinen Internet-teknologiaa hyödyntävä suljettu verkkopalvelu, jonka kohderyhmänä ovat ainoastaan yrityksen haluamat sidosryhmät.
GAGAN	Intian kehittämä GPS-satelliittipaikannusta Intian alueella tarkentava satelliittipaikannusjärjestelmä (GPS Aided Geo Augmented Navigation).
Galileo	Kehitteillä oleva riippumaton ja erityisesti siviilielämän tarpeisiin suunniteltu eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä, jonka on arvioitu olevan täydessä operatiivisessa käytössä vuoteen 2013 mennessä.
GEO	Geostationäärinen tai geosynkroninen maankehä (Geostationary Earth Orbit), jonka ympyrämäisen radan ratakorkeus on noin 36 000 kilometriä.
GLONASS	Neuvostoliiton kehittämä ja nykyään Venäjän hallitsema maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Navigation Satellite System), jonka satelliittimäärän Venäjä pyrkii kasvattamaan täyteen määrään vuoteen 2011 mennessä.
GMSK	Taajuus- ja vaihemodulaation yhdistävä digitaalisen tiedon modulointiin tarkoitettu menetelmä (Gaussian Minimum Shift Keying).

GPRS	GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu (General Packet Radio Service), jota käytetään etupäässä langattoman Internet-yhteyden muodostamiseen matkapuhelimen tai GPRS-sovittimen avulla.
GPS	Yhdysvaltojen kehittämä maailmanlaajuinen ja tällä hetkellä ainoa täydessä operatiivisessa käytössä oleva satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Positioning System).
GSM	Toisen sukupolven maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä (Global System for Mobile Communications).
GTD	Geometrinen aikaero (Geometric Time Difference) päätelaitteen ja tukiaseman välillä.
HCI	HCI (Host Controller Interface) tarjoaa yhtenäisen rajapinnan Bluetoothin laitteiden käsittelyyn.
HEO	Erittäin soikea kiertorata (Highly Elliptical Orbit), joka on lähimmillään 500 kilometrin ja kauemmillaan 50 000 kilometrin etäisyydellä maasta.
HF	Korkea taajuus (High Frequency) on radiotaajuus, jonka taajuusalue ulottuu 3 MHz:stä 30 MHz:iin. Esim. osa RFID-tunnisteista käyttää 13,56 MHz:n taajuutta.
HP-koodi	GLONASS-satelliittipaikannusjärjestelmässä käytettävä paikannuskoodi (High Precision), joka on tarkoitettu vain sotilaalliseen käyttöön. HP-koodia ei ole GPS-järjestelmän P-koodista poiketen erikseen salattu.
IBNet	Jäänmurtajien yhteiskäyttöinen informaatiojärjestelmä Suomen ja Ruotsin alueilla (IceBreakerNet).
Ionosfääri	Ilmakehän ylin kerros, joka sijaitsee noin 50–400 kilometrin korkeudella maan pinnasta.
IP	Internetiin liitettyjä koneita yhdistävä protokolla (Internet Protocol), joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta pakettikytkentäisessä Internet-verkossa.
IR	Infrapuna (Infrared) on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus 700 nm...1 mm on suurempi kuin näkyvän valon mutta pienempi kuin mikroaaltojen.

IrDA	Standardi langattomaan tiedonsiirtoon käyttäen infrapunasäteilyä. IrDA (Infrared Data Association) -standardia käytetään erityisesti liikuteltavissa laitteissa, kuten matkapuhelimissa, kannettavissa tietokoneissa ja kämmentietokoneissa.
IRNSS	Intian avaruusjärjestön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä (Indian Regional Navigational Satellite System), josta on tarkoitus kehittää Intian omalla alueella toimiva versio Yhdysvaltojen kehittämästä GPS-järjestelmästä. Järjestelmän on suunniteltu olevan operatiivisessa käytössä vuoteen 2012 mennessä.
ISM-taajuusalue	Maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa. Taajuusalue on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön (Industrial, Scientific and Medical).
ISO	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (International Organization for Standardization), jonka tehtävänä on tuottaa kansainvälisiä standardeja.
ISP	Internet-palveluntarjoaja tai -yhteydentarjoaja (Internet Service Provider) on yritys, joka tarjoaa asiakkailleen Internet-yhteyden ja pääsyn Internetin sisältämiin palveluihin.
ISPS	Ohjeistus, jonka tarkoitus on lisätä meriturvallisuutta satamissa ja laivoilla (International Ship and Port facility Security Code).
Korrelaatiopaikannus	Paikannusmenetelmä, jossa tietyn maantieteellisen alueen signaaleista laaditaan signaalikartta, jonka vertailu vastaanotetun signaalin kanssa paljastaa halutun kohteen sijainnin.
Käyttäjäsegmentti	Satelliittipaikannusjärjestelmien yksi kolmesta pääosasta. Käyttäjäsegmentti muodostuu maan päällä sijaitsevista vastaanottimista, jotka vastaanottavat satelliittien lähettämää signaalia ja hyödyntävät paikannusjärjestelmien tarjoamia palveluja.
LEO	Matala maankehä (Low Earth Orbit), jonka radan korkeus maanpinnasta on noin 500–1500 kilometriä.

LF	Matala taajuus (Low Frequency), jonka taajuusalue ulottuu 30 kHz:stä 300 kHz:iin. Esim. osa passiivisista RFID-tunnisteista käyttää 125–134 KHz:n taajuutta.
Lähipaikannus	Tietyllä rajatulla alueella ja yleensä myös sisätiloissa toimiva lyhyen kantaman signaalien välitykseen perustuva paikannus.
Manifesti	Lastiluettelo, joka kattaa tavaraerät aluksen yhden lähtö- ja tulosataman välillä.
MEO	Keskimaankehä (Medium Earth Orbit), jonka radan korkeus maanpinnasta on noin 5 000–12 000 kilometriä.
MF	Mikroaaltotaajuus (Microwave Frequency), jonka taajuusalue ulottuu 0,3 GHz:stä 300 GHz:iin. Esim. mikroaaltouunit, Bluetooth-tekniikka ja osa RFID-tunnisteista käyttävät 2,45 GHz:n taajuutta.
Modulaatio	Alkuperäisen signaalin yhdistäminen toiseen signaaliin.
Monitie-eteneminen	Monitie-etenemisessä radioteitse kulkeva signaali heijastuu signaalitiellä olevista esteistä ja saapuu sen seurauksena kohteeseen useaa eri reittiä ja eri aikaan, mikä aiheuttaa häiriöitä signaaliin.
MSAS	Japanin kehittämä Aasiassa toimiva GPS-paikannusta tarkentava satelliittipaikannusjärjestelmä (Multifunctional Transport Satellite-based Augmentation System).
NAVSTAR GPS	GPS-satelliittipaikannuksen virallinen nimi (NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System).
OS-palvelutaso (Beidou)	Avoin palvelu (Open Service) on toinen Beidou-satelliittipaikannusjärjestelmän kahdesta palvelutasosta. Avoin palvelutaso on kaikkien käytettävissä.
OS-palvelutaso (Galileo)	Avoin palvelu (Open Service) on yksi Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän neljästä palvelutasosta. Sitä voi käyttää kuka tahansa ja missä tahansa, mutta sillä ei ole laatutakuuta.
OTDOA-IPDL	Havaittu saapumisaikaero tyhjillä periodeilla (Observed Time Difference Of Arrival – Idle Period Down Link) on kolmannen sukupolven UMTS-verkoissa toimiva paikannustekniikka.

OVT	Organisaatioiden välinen tiedonsiirto on suomenkielinen nimitys EDI-tekniikasta. Ks. EDI.
QZSS	Japanin kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä (Quasi-Zenith Satellite System) joka tarkentaa GPS-paikannusta Japanin alueella SBAS-järjestelmää hyödyntämällä. Järjestelmän on suunniteltu olevan operatiivisessa käytössä vuoteen 2013 mennessä.
P-koodi	Sotilaskäyttöön tarkoitettu salattu GPS-signaali (Precision Code).
Parus	Neuvostoliiton kehittämä ja nykyisin Venäjän hallinnoima sotilaskäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä.
Piconet	Pikoverkko on vähintään kahden keskenään kommunikoivan Bluetooth-laitteen muodostama verkko. Pikoverkossa voi olla enintään kahdeksan laitetta, joista yksi on isäntälaite ja loput ovat orjalaitteita.
Pilkutus	Luovutusviitteen antaminen kontille. Pilkutuksessa verrataan, että luovutettavan lastin tavarat ja niiden määrät vastaavat tullausasiakirjojen tavaramääriä.
PilotNet	Luotsien johtamisjärjestelmä, joka sisältää eri satamien laivaluettelot sekä luotsien operointiin liittyviä asioita.
PIN-diodi	Elektroniikkakomponentti, jota käytetään usein suurtaajuussovelluksissa vaimentimena tai kytkindiodina.
PortNet	Kansallinen merenkulun sidosryhmiä palveleva meriliikenteen tietojärjestelmä, joka kattaa sekä satamatoiminnot että alusliikenteen ohjaukseen, valvontaan ja luotsaukseen liittyvät toiminnot ja palvelut.
PPS	Toinen GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän kahdesta palvelutasosta. PPS (Presice Positioning Service) -palvelutaso on tarkoitettu yksinomaan sotilas- ja viranomaiskäyttöön.
PRN-koodi	Valesatunnainen kohina (Pseudo Random Noise), jota käytetään GPS-satelliittipaikannusjärjestelmässä satelliittien tunnistamiseen, ajoitussignaalina ja paikannustietojen apukantoaaltona.

PRS-palvelutaso	Julkisesti säännelty palvelu (Public Regulated Service) on yksi Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän neljästä palvelutasosta. Se on suunniteltu turvallisuusviranomaisten käyttöön, ja palvelutason käyttö on valvottua ja luvanvaraista.
Pseudoliitti	Valesatelliitti. Ks. Pseudoliittipaikannus.
Pseudoliittipaikannus	GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän laajennus, joka laajentaa GPS-paikannuksen sisätiloihin ja muihin vastaaviin paikkoihin, joihin perinteisellä GPS-paikannuksella ei päästä. Menetelmässä käytetään pseudoliitteja eli ns. valesatelliitteja, jotka lähettävät matalatehoista GPS-signaalin tapaista signaalia, jonka avulla on mahdollista määrittää vastaanottimen etäisyys pseudoliitista.
RailTrace	Rautatieliikenteen seurantajärjestelmä, jonka avulla on mahdollista seurata junavaunuja kansainvälisesti Internetin välityksellä. Järjestelmä kattaa lähes kaikki Euroopan maat ja Venäjän.
RF	Radiotaajuus (Radio Frequency), jonka taajuusalue ulottuu 3 Hz:stä 300 GHz:iin.
RFID	Radiotaajuuksilla toimiva etätunnistintekniikka (Radio Frequency Identification), jonka avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi ihmisiä ja esineitä.
RSSI	Vastaanotetun signaalin tehotaso (Received Signal Strength Indication).
RTD	Todellinen tukiasemien lähetysaikojen ero (Real Time Difference).
RTK-GPS	Reaaliaikainen kinemaattinen GPS (Real Time Kinematic GPS) on ammattimaisessa paikannuksessa käytössä oleva paikannusmenetelmä, jota käytetään erittäin tarkkaa paikkatietoa vaativissa sovelluksissa, kuten maanmittauksessa ja kartoituksessa.
Rx-level-paikannus	Signaalin voimakkuuden mittaamiseen perustuva paikannus, jossa signaalien voimakkuudet vastaavat karkeasti päätelaitteen ja tukiasemien välistä etäisyyttä.

SA-häirintä	GPS-satelliittipaikannus järjestelmässä käytettävän C/A-koodin häirintämenetelmä (Selective Availability), jolla Yhdysvaltojen puolustusministeriö voi halutessaan heikentää GPS-järjestelmän siviilitarkkuutta sadoilla metreillä. SA-häirintä on ollut pois käytöstä vuodesta 2000 lähtien, eikä sitä ole suunniteltu uusiin GPS-satelliitteihin.
Satelliittipaikannus	Paikannusmenetelmä, joka perustuu maapalloa kiertävien paikannussatelliittien lähettämien ratatieto- ja aikamerkkisignaalien vastaanottoon ja vastaanottimen sijainnin laskemiseen satelliittien etäisyyksien perusteella.
SBAS	Kommunikaatiosatelliitteihin perustuva järjestelmä (Satellite Based Augmentation System), jossa ilmakehän aiheuttamaa kulkuaikaviivettä korjataan lähettämällä vastaanottimille alueellista korjaustietoa.
Scatternet	Kahden tai useamman Bluetooth-pikoverkon muodostama kokonaisuus. Scatternet-verkosta käytetään myös nimitystä hajaverkko.
SISNeT	GPS-järjestelmän laajennus (Signal in Space through the Internet), joka tarjoaa pääsyn EGNOS-signaaliin Internetin kautta reaaliajassa.
SNMP	TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla (Simple Network Management Protocol).
SoL-palvelutaso	Ihmishengen turvaava palvelu (Safety of Life Service) on yksi Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän neljästä palvelutasosta. Se on tarkoitettu erittäin suurta varmuutta ja turvallisuutta vaativiin tilanteisiin.
Solupaikannus	Ks. Cell ID ja Cell ID + TA.
SP-koodi	GLONASS-satelliittipaikannusjärjestelmässä käytettävä paikannuskoodi (Standard Precision), joka on vapaasti kaikkien käyttäjien saatavilla. SP-koodin tarkkuutta ei ole GPS-järjestelmän C/A-koodista poiketen koskaan häiritty.
SPS	Toinen GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän kahdesta palvelutasosta. SPS (Standard Positioning Service) - palvelutaso on tarkoitettu siviilikäyttöön eli kuka tahansa voi käyttää sitä vapaasti ilman erillistä käyttökorvausta.

Stratosfääri	Ylemmän ilmakehän kerros, joka alkaa troposfäärin yläpuolelta, keskimäärin n. 15 kilometrin korkeudesta maan pinnalta mitattuna ja ulottuu aina 50 kilometrin korkeuteen.
TCP/IP	Usean Internet-liikennöinnissä käytettävän tietoverkkoprotokollan yhdistelmä (Transmission Control Protocol / Internet Protocol).
TDOA	Saapumisaikaeroon (Time Difference Of Arrival) perustuva paikannusmenetelmä, jossa mitataan päätelaitteesta lähteneen signaalin saapumisaikaa tietoliikenneverkon eri paikoissa.
Timation	Yhdysvaltain merivoimien kehittämä satelliittipaikannushanke, joka yhdistettiin vuonna 1973 osaksi GPS-satelliittipaikannusjärjestelmää.
TOA	Saapumisaikaan (Time Of Arrival) perustuva paikannusmenetelmä, jossa mitataan päätelaitteesta lähteneen signaalin saapumisaikaa tietoliikenneverkon eri paikoissa.
Transit	Yhdysvaltojen kehittämä maailman ensimmäinen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka suunniteltiin alun perin sukellusvenekäyttöön. Transit-järjestelmän kehittäminen aloitettiin vuonna 1958, ja se oli käytössä aina vuoteen 1991 asti, kunnes GPS-järjestelmä korvasi sen.
Troposfääri	Ilmakehän alin kerros, joka ulottuu maan pinnalta noin 10 kilometrin korkeuteen.
Tsikada	Neuvostoliiton 1960-luvulla käyttöönottama siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä.
UHF	Mikroaaltojen taajuusalue välillä 0,3–3 GHz (Ultra High Frequency). Esim. osa RFID-tunnisteista käyttää 860–930 MHz:n taajuutta.
Ultraäänipaikannus	Ultraääneen pohjautuva paikannusmenetelmä, joka perustuu signaalien kulkuaikojen kolmiomittaukseen.
UMTS	GSM-tekniikan seuraajaksi kehitetty kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia (Universal Mobile Telecommunications System), joka mm. sallii liikkuvan kuvan lähettämisen ja mahdollistaa paremman äänenlaadun puheluita varten.

Valvontasegmentti	Satelliittipaikannusjärjestelmien yksi kolmesta pääosasta. Valvontasegmentti koostuu maanpäällisistä valvonta-asemista, jotka vastaanottavat satelliittien lähettämää signaalia ja tarvittaessa päivittävät uusia tietoja tai korjauksia satelliitteihin.
Verkkopaikannus	Matkapuhelinverkkoihin perustuva paikannus.
VHF	Erittäin korkea taajuus (Very High Frequency), jonka taajuusalue ulottuu 30 MHz:stä 300 MHz:iin.
Viivakoodi	Informaation esitysmuoto, jossa tietoa koodataan visuaaliseen koneellisesti luettavaan muotoon.
VMI	Toimittajan hallinnoima varaston täydennysjärjestelmä (Vendor Managed Inventory), joka on suunniteltu mahdollistamaan toimittajan välitön reagointi todelliseen kysyntään, ilman vääristymiä ja viivytyksiä.
VOI	Tiedon arvo (Value Of Information) tarkoittaa sitä, että lisääntynyt tieto vähentää epävarmuutta ja parantaa jakelun ja tarpeen kohtaamisen todennäköisyyttä.
VTS	Alusliikennepalvelu (Vessel Traffic Service), jonka tarkoituksena on edistää alusliikenteen tehokkuutta ja sujuvuutta, parantaa merenkulun turvallisuutta sekä ennaltaehkäistä onnettomuuksia ja niistä syntyneitä ympäristöhaittoja.
WAAS	Yhdysvalloissa toimiva satelliittipohjainen tarkennusjärjestelmä (Wide Area Augmentation System), joka parantaa vaikutusalueellaan varsinaisen satelliittipaikannusjärjestelmän tarkkuutta.
WAP	Langattomien sovellusten protokolla (Wireless Application Protocol), jonka avulla voidaan näyttää Internet-sivuja matkapuhelimella.
WiMAX	Langaton laajakaistatekniikka (Worldwide Interoperability for Microwave Access), jonka tarkoituksena on tarjota käyttäjille liikennöintinopeuksiltaan nykyisiä kaapelimodeemi- ja DSL-yhteyksiä vastaava langaton verkkoyhteys, jonka käyttö ei ole sidoksissa esim. rakennuskohtaisiin rajoihin.
WLAN	Langaton lähiverkko (Wireless Local Area Network), jonka välityksellä erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää toisiinsa ilman kaapeleita.

WWW	Internet-verkossa toimiva hajautettu järjestelmä (World Wide Web), jonka avulla voidaan esim. hakea ja esittää Internet-sivuja.
XML	Merkintäkieli/standardi (eXtensible Markup Language), jolla tiedon merkitys on kuvattavissa tiedon sekaan. XML-kieltä käytetään mm. formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä ja formaattina dokumenttien tallentamiseen.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Tiedolla on ensiarvoisen tärkeä merkitys logistiikkaprosesseissa ja toimitusketjujen hallinnassa. Tieto luo perustan logistiikkaan liittyvien toimintojen ohjaukselle. Toimitusketjuissa välitettävä tieto ei voi kuitenkaan olla millaista tahansa, vaan tiedon tulee olla oikeanlaista, ajantasaista ja helposti hyödynnettävissä. Logistiikka-alalla toimivien yritysten liiketoimintaympäristö on muuttunut globalisaation myötä maailmanlaajuiseksi ja entistä dynaamisemmaksi, mikä on lisännyt ajantasaisen ja virheettömän tiedon välityksen merkitystä läpi maa- ja yritysrajojen ylittävien toimitusketjujen. Myös lisääntyneet asiakasvaatimukset ja yleisen valvonnan tehostuminen tuovat paineita toimitusketjujen hallinnalle. Tehostamalla toimitusketjuun liittyvän olennaisen tiedon välitystä eri toimijoiden välillä, toimitusketjun läpinäkyvyys lisääntyy ja erilaisten prosessien hallinta helpottuu.

Tuoteseuranta ja siihen liittyvän tiedon välittäminen ovat olennainen osa maailmanlaajuisten toimitusketjujen hallintaa. Tuoteseurannan avulla tavaratoimituksia voidaan seurata läpi toimitusketjun. Tuoteseurannan näkökulmasta läpinäkyvyys tarkoittaa sitä, että tieto kuljetuskaluston, kuljetusyksiköiden ja tuotteiden sijainnista ja saatavuudesta on tarvittaessa eri osapuolten käytettävissä ajasta ja paikasta riippumatta. Tarkan tavaratoimitusten sijainnin tietäminen tehostaa toimitusketjun eri osapuolten resurssien suunnittelua ja kohdistamista, mahdollistaa toimitusketjun pullonkaulojen havaitsemisen sekä helpottaa poikkeamatilanteiden hallintaa.

Satamat ovat tärkeä osa globaaleja toimitusketjuja. Ne toimivat solmukohtana erilaisille tavaratoimituksille ja kuljetusmuodoille. Suomen ulkomaankaupassa merikuljetukset ovat ylivoimaisesti tärkein kuljetusmuoto, mikä tekee satamista erityisen tärkeän osan suomalaisia toimitusketjuja. Satamissa toimitusketjujen hallinnan merkitys korostuu toimijoiden ja erilaisten prosessien monitahoisuudesta johtuen. Satamasidonnaisissa toimitusketjuissa kuljetettavien tavaratoimitusten hallinta onkin usein merkittävästi vaikeampaa kuin esimerkiksi maan sisäisten tavaratoimitusten hallinta. Kehittyneiden tuoteseurantaratkaisujen käyttöönotto satamasidonnaisissa toimitusketjuissa lisäisi läpinäkyvyyttä satamissa ja muissa toimitusketjun osissa sekä helpottaisi kaikin tavoin koko ketjun hallintaa.

Nykyisin tuoteseuranta satamasidonnaisissa toimitusketjuissa perustuu pääasiassa perinteiseen status- eli tilatietoa tarjoavaan viivakoodeihin pohjautuvaan tunnistustekniikkaan. Viivakooditekniikalla ei kuitenkaan pystytä yksistään vastaamaan nykypäivän monimutkaisten ja -tahoisten toimitusketjujen asettamiin vaatimuksiin. Tämän päivän globaalissa liiketoimintaympäristössä tavaratoimituksilta vaadittavan tehokkuusasteen saavuttaminen ja edelleen parantaminen edellyttää toimitusketjujen hallinnan kehittämistä yhtenäisen eri osapuolia palvelevan tuoteseurantaratkaisun suuntaan. Tekniset valmiudet kehittyneempien tuoteseurantasovellusten rakentamiseen ovat jo olemassa, mutta toistaiseksi niiden käyttöönottoon liittyy lukuisia haasteita.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus

Tuoteseuranta satamasidonnaisessa kuljetusketjussa (TUKKE) -projekti on Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen (MKK) Kotkan yksikössä (Merikotka-tutkimuskeskus) tammikuun 2008 ja elokuun 2009 välisenä aikana toteutettu tutkimushanke. TUKKE-projekti on jatkoa vuonna 2007 MKK:ssa toteutetulle *Satamasidonnaisten logistiikkayritysten tietotarpeet (TYLOGE)* -hankkeelle, jossa tutkittiin toimitusketjujen eri osapuolten toisilleen välittämää kapasiteettitietoa ja sen merkitystä toimitusketjujen tehokkuudelle. TUKKE-projekti saa rahoitusta Tekesin VAMOS (Liiketoiminnan mobiilit ratkaisut) –ohjelmasta, Kotkan-Haminan seudun kehitysyhtiö Cursor Oy:ltä ja Merikotka-tutkimuskeskuksen yritysryhmältä. TUKKE-projektin tulokset luovat pohjaa MKK:n koordinoimalle syksyllä 2009 alkavalle *Mobile Port (MOPO)* -projektille, jonka tavoitteena on luoda älykäs satamaportaali, joka jakaa tietoa sataman toimijoille ja jota käytetään hyväksi liikenteen ohjauksessa muun muassa raja- ja maantieruuhkien välttämiseksi.

TUKKE-projektissa tarkastellaan satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa liikkuvia tietovirtoja ja niiden jakamista eri toimijoiden kesken sekä selvitetään satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytilaa ja kehitysmahdollisuuksia. Projektissa haetaan vastausta seuraavaan päätutkimuskysymykseen:

- Minkälaisia tietovirtoja satamasidonnaisten kuljetusketjujen eri osapuolet välittävät keskenään, ja millaisia tunnistus- ja paikannustekniikoita voidaan hyödyntää satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa?

TUKKE-projekti jakautuu kahteen osakokonaisuuteen, joista ensimmäinen osa toteutettiin vuonna 2008 ja toinen osa vuonna 2009. Projektin *ensimmäisessä osassa* tarkasteltiin erilaisten tietojen ja lomakkeiden välitystä satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa sekä tutustuttiin satamaprosesseihin. Projektin ensimmäisen osan tulokset ovat nähtävissä vuoden 2008 lopussa julkaistussa TUKKE-projektin väliraportissa (Pulli & Tapaninen 2008). Projektin ensimmäisessä osassa vastattiin seuraaviin kahteen osatutkimuskysymykseen:

- Millaista tietoa satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa jaetaan, miten tietoa välitetään ja mihin tietoja käytetään?

- Millaisia tarpeita tuotteiden valmistajilla, kuljetus- ja varastointiyrityksillä sekä tuotteen vastaanottajilla on tuotteiden seurannalle?

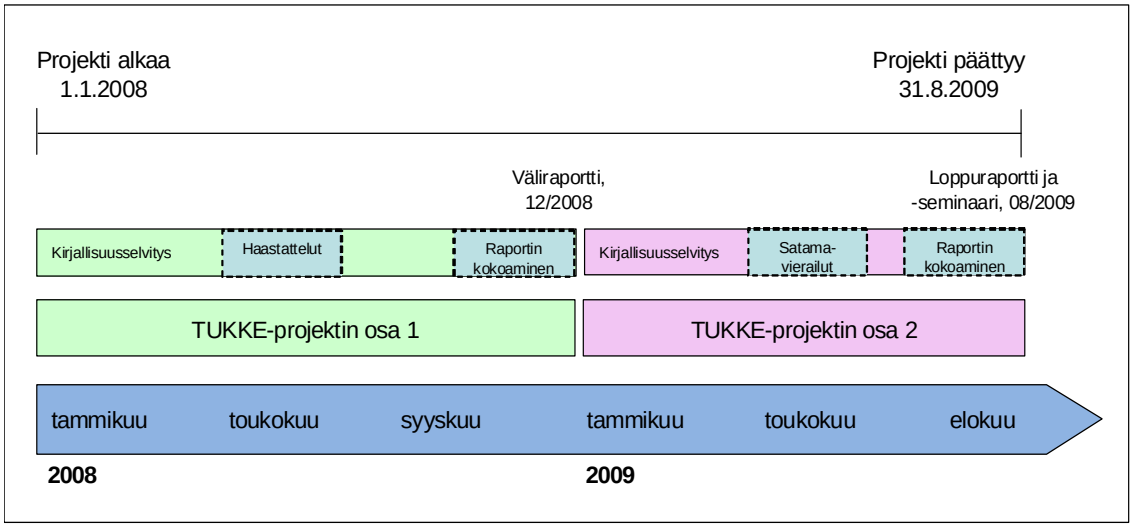
Tässä tutkimusraportissa esitellään TUKKE-projektin toisen osan tuloksia. Raportissa tarkastellaan satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytilaa, esitellään erilaisia tuoteseurannassa hyödynnettävissä olevia tunnistus- ja paikannustekniikoita sekä pohditaan niiden soveltuvuutta satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurantaan. Lisäksi raportissa tarkastellaan tuoteseurannan kehitysmahdollisuuksia satamasidonnaisten kuljetusketjujen näkökulmasta. Raportissa haetaan vastausta seuraaviin kahteen osatutkimuskysymykseen:

- Minkälaisia erilaisia tunnistus- ja paikannustekniikoita on olemassa ja miten niitä voidaan soveltaa satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa?

- Minkälaisia vaatimuksia erilaiset tavaratoimitukset asettavat tuoteseurannalle?

TUKKE-projektin tulokset pohjautuvat kirjallisuusselvitykseen, haastatteluihin, satama- ja yritysvierailuihin sekä näiden pohjalta tehtyihin oletuksiin ja johtopäätöksiin. *Kirjallisuusselvityksessä* on hyödynnetty tutkimuksen aihealueeseen liittyviä tutkimuksia, artikkeleita ja muuta kirjallisuutta. Tutkimuksen kirjallisuusselvitystä tehtäessä tutustuttiin erityisesti toimitusketjun osapuolten väliseen tiedonvaihtoon ja tiedonsiirtotekniikoihin liittyvään kirjallisuuteen. Raportin kirjallisuusselvitysosuudessa on tarkasteltu tiedonvaihtoa ja sen merkitystä toimitusketjujen tehostamisessa sekä eri tunnistus- ja paikannusmenetelmiä, joita olisi mahdollista hyödyntää satamasidonnaisiin kuljetusketjuihin liittyvässä tuoteseurannassa. Kirjallisuusselvitys muodostaa tutkimuksen perusaineiston ja toimii viitekehyksenä sekä haastatteluille että satama- ja yritysvierailuille. *Haastattelujen* avulla selvitettiin satamasidonnaisten kuljetusketjujen osapuolten toisilleen välittämiä tietoja ja lomakkeita sekä tutustuttiin sataman sisäisiin toimintoihin. Haastattelujen kohderyhmään kuului satamasidonnaisten kuljetusketjujen yrityksiä. *Satama- ja yritysvierailuilla* tutustuttiin satamassa toimiviin yrityksiin ja niiden prosesseihin sekä selvitettiin yritysten tuoteseurannan nykytilaa, haasteita ja kehitystarpeita.

Kuvassa 1.1 on esitetty TUKKE-projektin aikataulu, eteneminen ja toteutusvaiheet pääpiirteittäin.



Kuva 1.1. TUKKE-projektin aikataulu, eteneminen ja toteutusvaiheet.

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan todeta, että paikannus- ja tunnistustekniikoita on tutkittu useissa eri tutkimuksissa, mutta logistiikan näkökulmasta paikannus- ja tunnistustekniikoita ei ole juurikaan selvitetty kattavasti aiemmin. Tämä asetti lukuisia haasteita TUKKE-projektin edetessä, ja projektia toteutettaessa jouduttiinkin tekemään

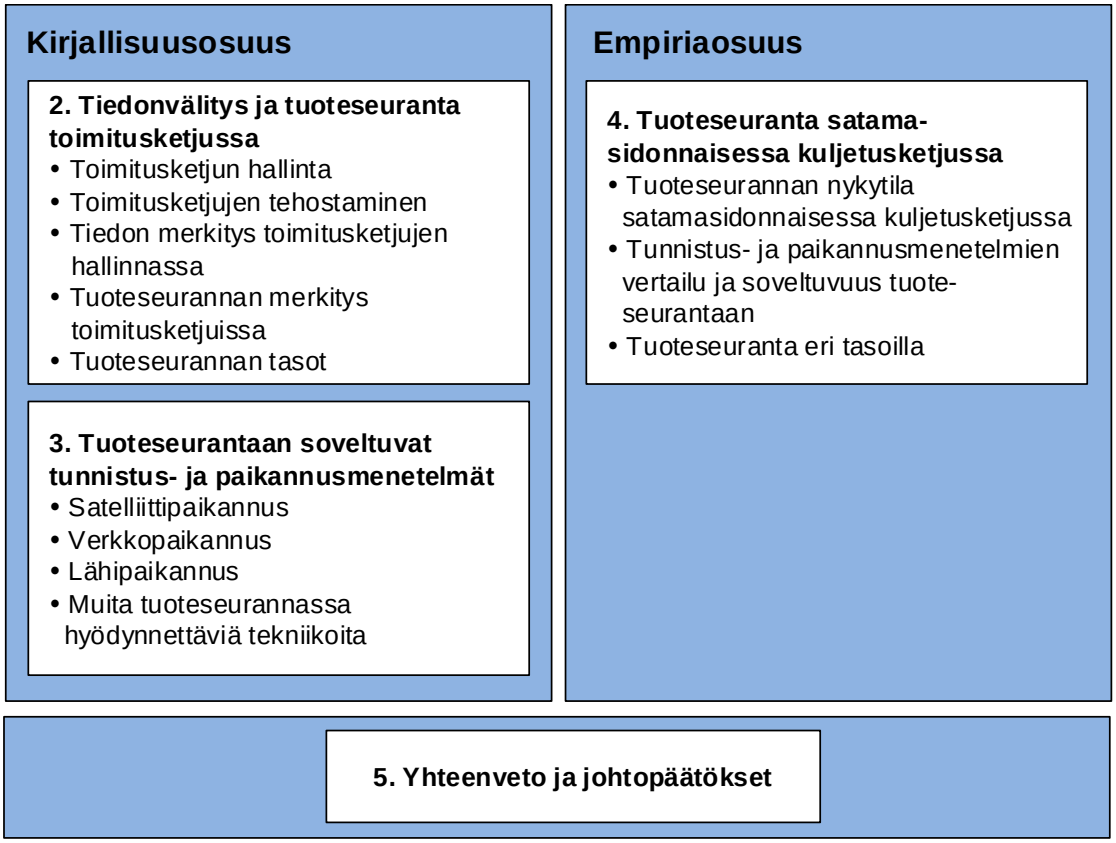
joitakin oletuksia eri paikannus- ja tunnistustekniikoiden soveltuvuudesta logistisiin sovelluksiin. Kirjallisuusselvitystä tehtäessä havaittiin myös, että paikannus- ja tunnistustekniikoita on olemassa hyvin laaja kirjo, minkä takia TUKKE-projektissa jouduttiin rajaamaan esitettyjen tekniikoiden määrää ja valitsemaan tarkempaan tarkasteluun parhaiten logistiikkaan ja siihen liittyvään tuoteseurantaan soveltuvat tekniikat.

Raportissa esitettyjä tunnistus- ja paikannustekniikoita on tarkasteltu melko yleisellä tasolla, koska varsinaisen teknisen toteutuksen syvällisempi tarkastelu ei ollut tämän tutkimuksen kannalta oleellista. Raportissa esitettyihin tekniikoihin voi tutustua syvällisemmin tiedonsiirtotekniikka-alan kirjallisuuteen syventymällä. Raportissa ei ole kiinnitetty varsinaisesti huomiota tunnistus- ja paikannustekniikoilla tuotetun seurantatiedon tallentamiseen ja välitykseen käytettyihin tietojärjestelmiin. TUKKE-projektin jälkeen syksyllä 2009 Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen Kotkan yksikössä (Merikotka-tutkimuskeskus) alkava Mobile Port (MOPO) -projekti paneutuu syvällisemmin erilaisiin seurantatiedon tallentamis- ja välitystapoihin.

TUKKE-projektissa esitettyjä asioita on tarkasteltu etupäässä suomalaisten satamien ja siellä toimivien yritysten näkökulmasta. Raportissa on keskitytty erityisesti satamasidonnaisten kuljetusketjujen maaliikenteeseen ja siihen kuuluvassa toimintaympäristössä tapahtuvaan tuoteseurantaan. Meriliikenne on toimintaympäristönä monella tavalla maaliikenteestä poikkeava, ja sen takia meriliikenteen tarkastelu tuoteseurannan ja erityisesti sen teknisten ratkaisujen kannalta jätettiin tutkimuksessa vähemmälle huomiolle.

1.4 Raportin rakenne

Käsillä olevan TUKKE-projektin toisen osan tutkimusraportin rakenne on esitetty kuvassa 1.2. Raportin luvuissa 2 ja 3 käsitellään kirjallisuusselvityksen tuloksia, mikä toimii viitekehyksenä luvussa 4 esitetylle empiriaosuudelle ja luvussa 5 esitetyille johtopäätöksille. *Luvussa 2* käydään läpi logistiikan peruskäsitteitä painottaen toimitusketjujen näkökulmaa, tarkastellaan tiedon merkitystä toimitusketjujen hallinnassa sekä esitellään tuotteiden seurannan periaatteita toimitusketjujen lähtökohdista. *Luvussa 3* kuvataan tunnistuksessa ja paikannuksessa käytettäviä menetelmiä ja tekniikoita, joita voidaan hyödyntää yleisesti erilaisissa tunnistus- ja paikannussovelluksissa sekä sen myötä myös logistiikkaan liittyvässä tuoteseurannassa. *Luvussa 4* luodaan katsaus satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytilaan, tarkastellaan eri tunnistus- ja paikannusmenetelmien soveltuvuutta satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa tapahtuvaan tuoteseurantaan sekä vertaillaan erilaisten tavaratoimitusten asettamia vaatimuksia tuoteseurannalle. Luvun lopussa esitetään kuvaus siitä, miten tuoteseuranta satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa toimisi ideaalitilanteessa. *Luvussa 5* luodaan yhteenveto tutkimusraportista ja pohditaan tuoteseurannan kehitysmahdollisuuksia satamasidonnaisten kuljetusketjujen näkökulmasta.



Kuva 1.2. Tutkimusraportin rakenne.

2 TIEDONVÄLITYS JA TUOTESEURANTA TOIMITUSKETJUSSA

Tässä luvussa käydään läpi logistiikan peruskäsitteitä painottaen toimitusketjujen näkökulmaa. Logistiikkaan lasketaan kuuluviksi yritysten materiaali-, raha- ja tietovirrat. Toisaalta myös esimerkiksi kierrätysvirta, joka kulkee toimitusketjussa asiakkaalta takaisin raaka-ainelähteille päin, voidaan laskea kuuluvan toimitusketjujen hallinnan piiriin. Tässä raportissa keskitytään kuitenkin materiaalivirtojen hallinnan näkökulmiin erilaisten logistiikkayritysten kannalta. Lisäksi luvussa esitellään tiedon merkitystä toimitusketjujen hallinnassa sekä esittelee tuotteiden seurannan periaatteita toimitusketjujen lähtökohdista.

2.1 Toimitusketjun hallinta

Logistiikka tarkoittaa materiaalivirtojen ja niihin liittyvien tietovirtojen kokonaisvaltaista hallintaa ja optimointia yli organisaatio- ja maantieteellisten rajojen. Jokainen tavaratoimitus sisältää monta erilaista vaihetta ja monia eri toimijoita, jotta tuote saadaan toimitettua loppuasiakkaalle. Tätä eri vaiheiden ja toimijoiden joukkoa voidaan kutsua kootusti toimitusketjuksi. Toimitusketju koostuu monista erilaisista toiminnoista, kuten logistiikasta, varastoinnista, ostosta, tuotannonsuunnittelusta, yrityksen sisäisistä ja ulkoisista suhteista sekä suorituskyvyn mittaamisesta. Toimitusketjut ovat yleensä melko monimutkaisia kokonaisuuksia, joissa suuri määrä toimintoja jakautuu eri prosesseille ja eri yrityksille, aikajanan ollessa joskus huomattavan pitkä. Toimitusketjut muistuttavatkin nykyisin enemmän verkostoja kuin ketjuja. Toimitusketjujen monimuotoisuudesta johtuen toimijoiden välille on tarpeellista luoda yhteinen järjestelmällinen tapa koordinoida toimitusketjuja (Arshinder et al. 2008). Toimitusketjun hallinta (SCM) on logistiikkaa korostava lähestymistapa, jossa tavara- ja tietovirtoja koordinoidaan aktiivisesti aina raaka-ainelähteiltä lopulliselle asiakkaalle. Toimitusketjun hallinnan tavoitteena on saada koko ketju toimimaan tehokkaasti poistamalla turhia välivaiheita ja toimintoja mahdollistamalla tavaratoimitusten kuljetus läpi toimitusketjun ilman turhia välivarastoja. (Laamanen & Tinnilä 2002) Toimitusketjujen hallinnan hidasteena on kuitenkin usein joukko varsin alkeellisia puutteita yritysten toiminnassa. Toimitusketjujen hallintaongelmat liittyvät tyypillisesti puutteellisiin tai jopa olemattomiin mittareihin, ketjun jäsenten tarkasteluun yksittäisinä ja riippumattomina toimipisteinä sekä ylipäänsä kehnoon kokonaisohjaukseen. (Karrus 2005, s. 160)

Toimitusketjujen tehokkuutta voidaan mitata erilaisin mittarein. Valvottavia suureita ovat muun muassa kokonaisvarastotasot, läpimenoajat ja läpimenon nopeuttaminen, muutostilanteiden hoito sekä logististen vaiheiden välisten rajapintojen erityisongelmien hallinta. Toimitusketjun perusrakenne ja ketjuun liittyvät prosessit on tunnistettava oikein, jotta ketjua kyetään analysoimaan ja kehittämään tehokkaasti. Logistiikan ja toimitusketjujen kehittämiseen liittyy läheisesti tilaus-toimitusviiveiden lyhentäminen. Jotta tämä onnistuisi, kukin prosessi joudutaan käytännössä purkamaan osiin ja rakentamaan järjestelmällisesti uudelleen. Logistiikan kehittäminen ja toimitusketjujen nopeuden lisääminen tapahtuvat eri vaiheita ja vaiheiden välisiä siirtoja nopeuttaen sekä mahdollisesti myös siirtämällä joitain toimintoja keskenään rinnakkaisiksi toiminnoiksi. (Karrus 2005, s. 156–157)

2.2 Toimitusketjujen tehostaminen

Toimintaympäristön vaatimukset ja odotukset yritystoimintaa kohtaan ovat kasvaneet viime vuosina. Esimerkiksi kauppa ja teollisuus edellyttävät laatu- ja ympäristöjärjestelmiä jatkossa myös palvelualihankkijoiltaan, joihin myös kuljetusyritykset kuuluvat. Kuljetuspalveluiden ja -järjestelmien muita yleisiä kehityssuuntia ovat muun muassa (Suomen kuljetusopas 2009a):

- kuljetuspalveluiden kysynnän kasvu ja kansainvälistyminen
- kansainvälisten kuljetusverkkojen keskittyminen
- lisäarvopalveluiden lisääntyminen osana kuljetusketjua
- integroitujen kuljetusketjujen kehittyminen
- kuljetuspalveluiden laatu- ja ympäristösertifiointi
- konttikuljetusten osuuden kasvaminen ja keskittyminen tiettyihin satamiin
- lähetyseräkoon pieneneminen
- tullauksen sähköistyminen ja nopeutuminen
- tosiaikaisten, koko kuljetusketjua ohjaavien tietojärjestelmien kehittyminen.

Yritysten tulisi löytää erilaisia keinoja pärjätä yhä kovenevassa kilpailussa. Yhteistyön laajentaminen on yksi mahdollinen ratkaisu muuttuvaan tilanteeseen. Esimerkiksi VALO- (Granqvist et al. 2002) ja TARKKI-hankkeissa (Granqvist et al. 2003) on selvitelty tätä aihepiiriä. Edellä mainittujen tutkimushankkeiden perusteella toimivan yhteistyön aikaansaaminen yritysten välille on hankalaa; raaka kilpailu on tekijä, joka ohjaa yritysten toimintaa, investointeja ja tulevaisuuden suunnitelmia. Tästä syystä eri kuljetusmuotojen edustajat haluavat kehittää asioita, joilla ne saavat kilpailuetua muihin toimijoihin nähden, eli jokainen osapuoli tavoittelee yleensä vain omaa etuaan. Toimitusketjujen tehokkuuden kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että kaikki ketjun toimijat tekisivät yhteistyötä, koska ainoastaan tällä tavalla toimimalla toimitusketjujen tehostaminen on mahdollista.

Suomalaisen teollisuuden kilpailukykyä kiristyvillä maailmanmarkkinoilla voidaan parantaa muun muassa erikoistumalla, ketjuttamalla tuotantoa sekä tehostamalla logistiikkaa ja tuotannonohjausta sujuvalla tiedonvälityksellä. Yritykset joutuvat tehostamaan omaa toimintaansa ja yhteyksiä kauppakumppaneihinsa, jotta asiakkaiden todelliset tarpeet välittyisivät entistä nopeammin ja tarkemmin toimitusketjussa. Samalla yritykset hakevat kilpailuetua ja kustannustehokkuutta tehostamalla omaa toimintaansa. Nopea tiedonvälitys nousee tällöin toiminnan ehdottomaksi edellytykseksi. Yritysten on pohdittava, miten välittää tietoa tehokkaasti alihankkijoiden, raaka-ainetoimittajien ja muiden sidosryhmiensä kesken sekä kotimaassa että ulkomailla. Toimitusketjun tehostaminen merkitsee oikea-aikaisen tiedon merkityksen kasvua kauppakumppaneiden kesken. Tehokas tiedonvälitys vaatii toimitusketjun kaikkien yritysten yhteistyötä.

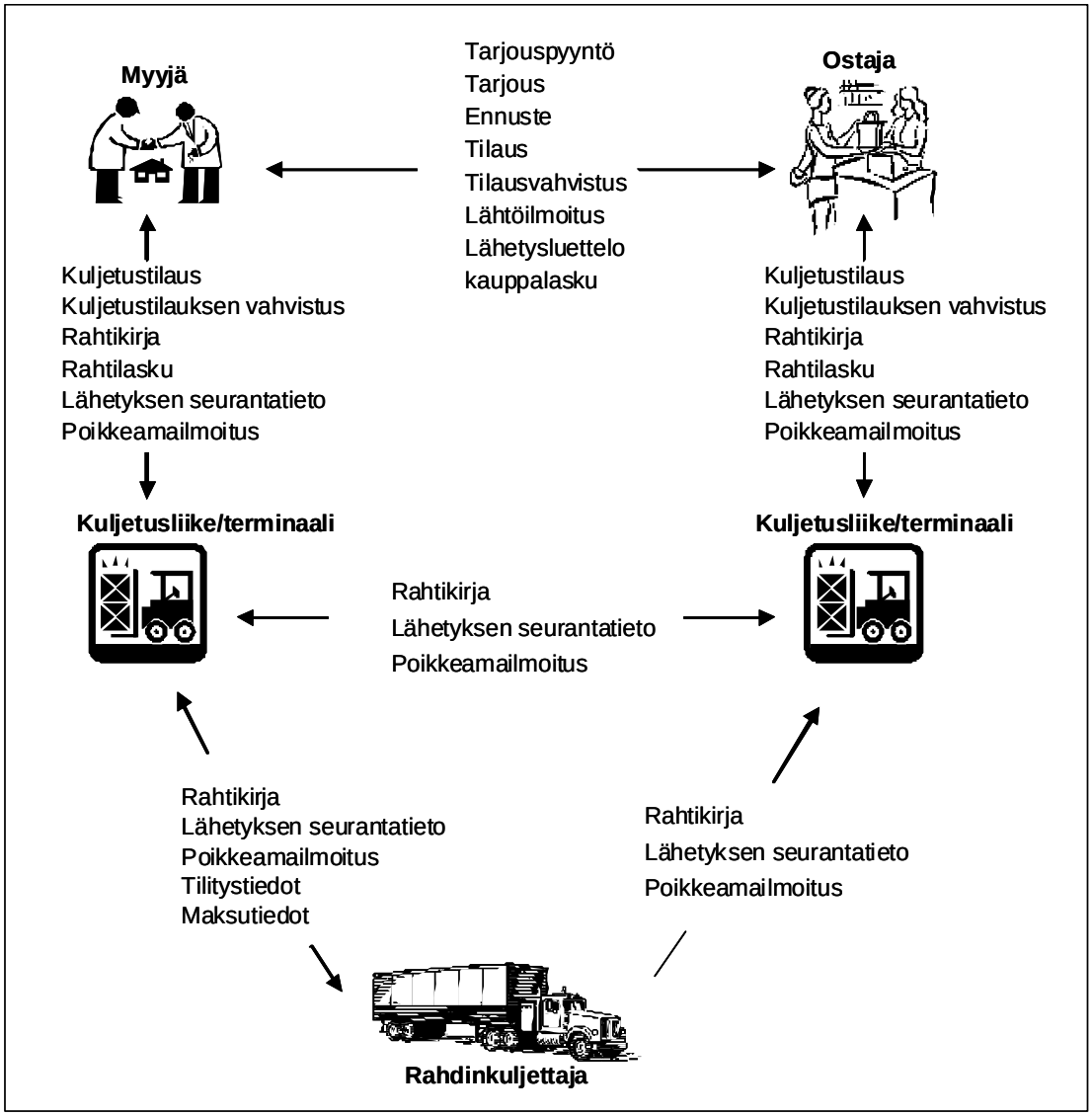
2.3 Tiedon merkitys toimitusketjujen hallinnassa

Logistiikassa pyritään tiedon avulla hallitsemaan ja tehostamaan koko toimitusketjun toimintaa ja ohjausta. Toimitusketjujen ohjauksessa käytettävän tiedon laadulla on mer-

kitystä. Oikeanlainen tieto on laadukasta, virheetöntä ja haluttuun käyttötarkoitukseen soveltuvaa. Ajantasaisuus puolestaan takaa sen, että välitettävä tieto on sisällöltään tuoretta. Tiedon tehokas hyödyntäminen edellyttää tiedon helppoa ja nopeaa saatavuutta suuristakin tietojärjestelmistä. Usein motiivina toimitusketjun hallinnalle on toimitusketjujen nopeuden kasvattaminen, mihin voidaan päästä muun muassa tehostamalla tiedonvaihtoa toimitusketjun eri osapuolien välillä. Kun toimitusketjussa halutaan parantaa ketjun hallintaa ja tehostaa koko toimitusketjun suoritustasoa, tulee jokaisen toimitusketjun toimintaan osallistuvan osapuolen huolehtia tiedonkulun sujuvuudesta. Toimitusketjun kaikki yritykset ovat toisistaan riippuvaisia, joten jokaisen osapuolen tulisi huolehtia tiedon kulun jatkuvuudesta, eli siitä, että tieto kulkee ketjussa ylös- ja alaspäin katkeamatta. Jos tiedonvälitys yhdenkin osapuolen kohdalla hidastuu tai jopa katkeaa, vaikuttaa se koko ketjuun.

Toimitusketjun keskeisin tietovirta kulkee asiakkaalta toimittajalle käsittäen varsinaiset tilaustiedot, palautteen koskien toimitusta ja esimerkiksi ennustetiedot. Tietoa kulkee myös toiseen suuntaan ketjussa eli toimittajalta asiakkaan suuntaan. Tyypillisiä toimitusketjuissa alaspäin välitettäviä tietoja ovat tuotetiedot, saatavuustiedot, tilausehdot ja seurantatiedot. Kuljetus- ja huolintaliikkeet ovat tiedonvälityksen keskipisteessä toimitusketjuissa. Kuljetusyritysten asiakkailta saamia tietoja ovat muun muassa kuljetusvaraukset, kuljetustilaukset ja rahtikirjat. Asiakkaalle päin kuljetusliikkeet puolestaan välittävät hintatietoja, tietoa kuljetuksen etenemisestä, raportointitietoa toimituksesta sekä laskutustietoja. Kuljetusliikkeen näkökulmasta sähköiset tiedonvälitystavat vähentävät merkittävästi päivittäisiä rutiineja, kuten rahtikirjojen tallentamiseen käytettävää aikaa.

Kuva 2.1 esittelee esimerkkinä kuljetusten järjestelemisessä liikkuvaa tietoa. Kuvasta on helposti havaittavissa, kuinka paljon erilaisia lomakkeita ja tietoja yritysten välillä kulkee kuljetustilauksia tehtäessä. Lomakkeiden ja erilaisten välitettävien tietojen monitahoisuus asettaa paljon haasteita logistiikkayrityksille varsinkin, kun pohditaan sähköisiin tiedonvälitysmenetelmiin siirtymistä.



Kuva 2.1. Kuljetustilauksissa tarvittavat tiedot. (Kortesmäki 2005)

Tiedolla torjutaan epävarmuutta, joka toimitusketjuissa liittyy usein toimitusaikoihin, kapasiteetin saatavuuteen ja tuotteen laatuun (Ketzenberg et al. 2006). Paras hyöty tiedosta saadaan, kun se on käytettävissä ennakoivasti ja kaikkien osapuolien toimesta. Tätä voidaan kuvata käsitteellä läpinäkyvyys (Bailey & Francis 2008). Läpinäkyvyyden avulla tavaratoimitusten ja niiden sisältämien tuotteiden sijainti ketjussa voidaan nähdä; tieto on siis eri osapuolten nähtävissä. Läpinäkyvyys parantaa toimitusketjun hallintaa, sillä sen avulla toimituksia voidaan ohjata ja suunnitella sekä seurata kaikissa toimitusketjun osissa. Mahdollisia tiedonjakamisen etuja ovat parantunut toimitusketjun koordinointi, bullwhip-ilmiön väheneminen ja pienentyneet toimitusketjukustannukset (Ketzenberg et al. 2006). Bullwhip- eli piiskavaikutus-termillä viitataan ilmiöön, jossa pieni muutos myyntiportaan menekissä aiheuttaa joskus suurenkin heilahduksen kysynnässä tuottajaportaalle (Karrus 2005, s. 154). Tehokkaamman tiedon jakamisen on tutkimuksissa havaittu tuovan jopa 35 % kustannussäästöt toimitusketjun osapuolille (Sahin & Powell 2004).

Toimitusketjujen hallinnan kannalta tiedon siirtäminen on vähintään yhtä tärkeää kuin varsinainen toiminta eli fyysinen kuljettaminen. Toimitusketjujen ongelmat ovat kuitenkin hyvin moniulotteisia. Tehottomat ja yhteensopimattomat tietojärjestelmät ovat vielä nykyään usein toimitusketjujen tehottomuuden pääasiallisena syynä. Toisiinsa linkittämättömät sovellukset ja tietokannat, erilaiset ratkaisulogiikat ketjun eri pisteissä sekä tiedonsiirron viiveet ja virheet ovat tietojärjestelmien keskeisiä ongelmia. Ketjuissa on myös monia peräkkäisiä ja rinnakkaisia osapuolia ja päättäjiä, joista jokaisella voi olla oma mielikuvansa toimintojen hajautuksesta ja keskityksestä. Useimmat päättäjät joutuvat toimimaan puutteellisen tiedon varassa aikapaineen alla. Lisäksi eri päättäjillä voi olla erilaiset ja jopa ristiriitaiset tavoitteet. (Karrus 2005, s. 160–161) Logistiikassa suuri osa turhista kustannuksista johtuu tarjonnan ja tarpeen kohtaamattomuudesta, esimerkiksi turhasta varastoinnista toimitusketjun eri osissa (Ketzenberg et al. 2006). Epävarmuus asiakkaiden tarpeista saa yritykset kehittämään strategioita, joilla vähentää toimitusketjuissa esiintyvää epävarmuutta. Yksi näistä strategioista on tiedon jakaminen, jonka avulla yritys voi ymmärtää paremmin omaa toimitusprosessiaan ja asiakkaiden tarpeita. Ketzenberg et al. (2006) puhuvat VOI-termistä (Value Of Information) eli tiedon arvosta, joka tarkoittaa sitä, että lisääntynyt tieto vähentää epävarmuutta ja parantaa jakelun ja tarpeen kohtaamisen todennäköisyyttä. Varsinkin kapasiteetin suunnitteluun liittyvän tiedon on havaittu tuovan tehokkuutta toimitusketjuihin.

Pelkkä tiedon jakaminen toimitusketjun osapuolten välillä ei kuitenkaan riitä. Toimitusketjun yritysten tulee toimia yhteistyössä tavaroiden sujuvan kulun varmistamiseksi. Skjoett-Larsen et al. (2003) puhuvat CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) -termistä, jolla tarkoitetaan pyrkimystä luoda entistä läheisemmät välit yritysten välille yhdenmukaistamalla ketjun hallintaa, synkronoimalla yritysten toiminnalleen luomia ennusteita ja integroimalla yritysten välisiä prosesseja. Integroimisella tarkoitetaan myös yritysten välisten tietojärjestelmien yhteensovittamista. Epävarmuus ketjussa kertaantuu usein eteenpäin, ja esimerkiksi tieto todellisesta loppuasiakkaan tarpeesta saattaa olla moninkertaistunut kysyntätiedon saavuttaessa tuotteen tuottajan. Tämän tapaisia tarpeen vääristymiä voidaan pitää merkittävimpänä toimitusketjujen tehokkuutta uhkaavana tekijänä. Esimerkkinä yhteistyön syventämisestä voidaan mainita VMI (Vendor Managed Inventory) -metodi, joka tarkoittaa sitä, että toimittaja huolehtii varastotäydennyksistä yhdessä asiakkaansa kanssa sovittujen periaatteiden mukaisesti (Bailey & Francis 2008).

2.4 Tuoteseurannan merkitys toimitusketjuissa

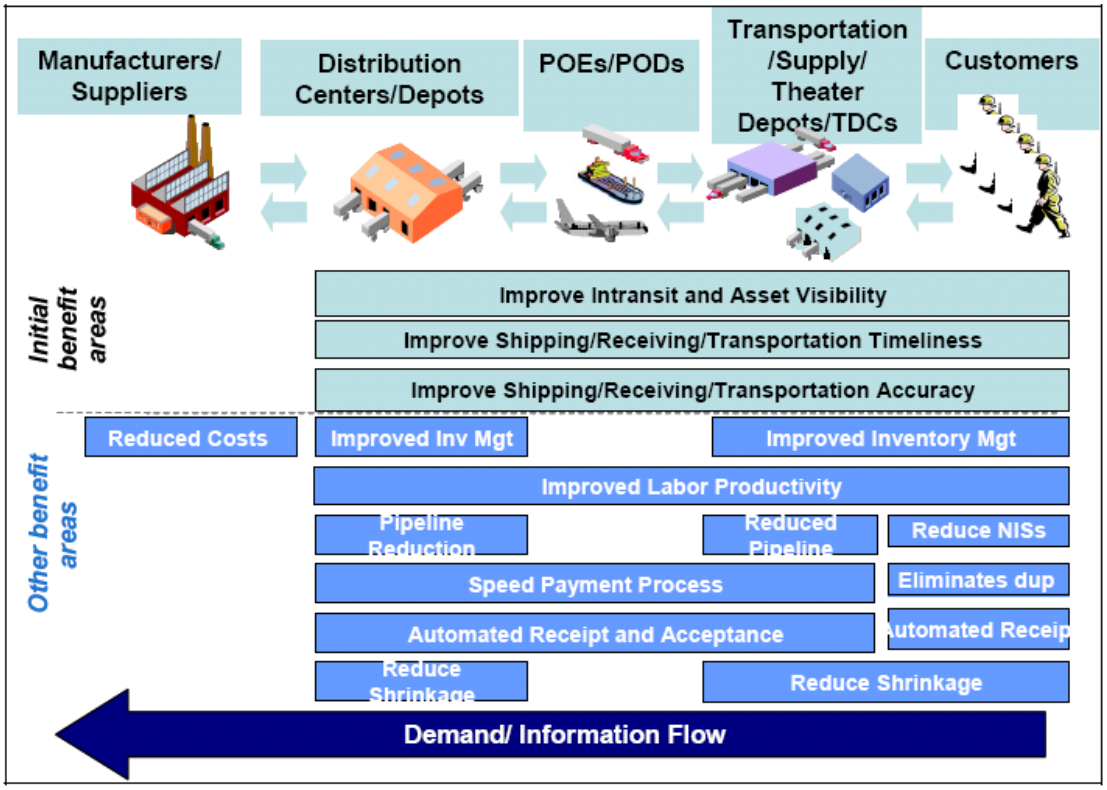
Kiihtynyt globalisaatio on luonut enenevissä määrin yritys- ja maarajoja ylittäviä toimitusketjuja. Toimitusketjujen kansainvälistyessä ketjuissa toimivien osapuolten lukumäärä lisääntyy huomattavasti verrattuna siihen, että jos toimittaisiin vain yhden maan rajojen sisäpuolella. Toimitusketjun osapuolten suuren lukumäärän johdosta toimitusketjut muistuttavat nykyisin usein enemmän monimutkaisempia verkostoja kuin suoraviivaisia ketjuja. Lisäksi muun muassa asiakasvaatimusten muuttuminen ja tuotteiden turvallisuuden tarkempi valvonta tuovat lisää paineita toimitusketjujen ohjaukseen. Toimitusketjujen monimutkaistumisen myötä ketjujen hallintaan tulee lisää haasteita ja ketjujen ohjausta varten tarvitaan uusia työkaluja. Toimitusketjujen ohjaus helpottuu, jos ketjun

eri osapuolilla on mahdollisuus seurata riittävän tarkalla tasolla tavaratoimitusten kulkua toimitusketjun eri vaiheissa. Lisäämällä tiedon jakamista toimitusketjussa ja hyödyntämällä seurantatekniikoita on mahdollista luoda läpinäkyvämpi ketju, jossa tieto tuotteiden ja kaluston sijainnista on aina tarvittaessa eri osapuolien käytössä maantieteellisestä sijainnista riippumatta. Materiaalivirtojen ohjauksessa voidaan ohjaus kohdistaa kuljetuskalustoon, kuljetusyksikköön tai jopa yksittäisiin tuotteisiin. (Permala et al. 2006) Taulukossa 2.1 esitellään edelläkin mainittuja syitä tavaratoimitusten jäljitettävyyden korostumiseen.

Taulukko 2.1. Syitä tavaratoimitusten seurannan korostumiseen. (Sallanniemi et al. 2004)

Syy	Kuvaus
Globalisaatio ja laajentuneet toimitusketjut	Toimitusketjuihin on tullut hyvin erilaisia toimijoita, joiden käsitykset esim. laadusta vaihtelevat. Toisaalta ketjujen laajentuminen aiheuttaa sen, että tiedon kulku tuotteen mukana ei tapahdu itsestään.
Massatuotanto ja sen aiheuttamat pidentyneet kuljetusetäisyydet	Tuotanto on keskittynyt ja jakelureitit ovat pidentyneet.
Kuluttajatottumusten muuttuminen	Asiakkaiden vaatimukset ovat kasvaneet, trendien muuttumissyklit lyhentyneet jne.
Tilausten monimutkaistuminen	Pienemmät tilauserät, joissa on enemmän erilaisia tuotteita. Asiakkaat tilaavat kokonaisuuksia, jotka edellyttävät tilausvirtojen oikea-aikaista yhdistämistä.
Yleisen valvonnan lisääntyminen	Tuotteista on oltava tiedossa niiden alkuperä, valmistusmateriaalit, hygieniatiedot, turvallisuustiedot jne.
Asiakkaiden huoli tuotteiden turvallisuudesta on kasvanut	

Seurannan avulla on tarkoitus saada lisää näkyvyyttä toimitusketjujen tapahtumiin ja täten mahdollistaa tehokkaampi tavaratoimitusten ohjaus. Kuva 2.2 esittelee hyötyjä, joita toimitusketjuun kuuluvat yritykset voivat saavuttaa seurantatekniikoita hyödyntämällä. Pystyessään seuraamaan tuotteiden, kuljetusyksiköiden tai kuljetusajoneuvojen liikkeitä, toimitusketjun osapuolet voivat ennakoida tavaratoimitusten liikkeitä. Tämä helpottaa kapasiteettisuunnittelua yrityksissä. Mahdollisissa ongelmatapauksissa seurantatekniikoiden avulla voidaan reagoida nopeasti muutoksiin. Esimerkiksi aikataulumuutokset vaativat resurssien uudelleen järjestelyä toimitusketjun eri pisteissä. Ilman tarkoitukseen sopivia seurantatekniikoita aikataulumuutokset eivät välttämättä tule riittävän nopeasti yrityksen tietoon, jolloin resurssien uudelleen organisointi hidastuu ja resursseja saattaa tuhlaantua turhaan. Tehokkaan seurannan mahdollistamalla paremmalla läpinäkyvyydellä voidaan saada mahdolliset pullonkaulat ketjusta helpommin esiin. Toimitusketjun osapuolet saattavat muun muassa havaita, että toimitusketjun tiettyyn pisteeseen kertyy muita pisteitä enemmän ruuhkia.



Kuva 2.2. Tavaratoimitusten seurannalla saavutettavia hyötyjä toimitusketjuissa. (Permala et al. 2006)

Toimitusketjun yhteisen seurantajärjestelmän aikaansaaminen ei kuitenkaan ole aivan yksinkertaista. Toimitusketjujen muuttuessa verkoiksi, eivät tavarat enää kulje välttämättä yhden järjestelmän, yhden kuljetusmuodon tai yhden organisaation sisällä. Kuljetettavien tuotteiden eräkoko pienenee, osapuolien määrä ketjussa kasvaa ja kuljetusmuodot valitaan selkeämmin kuljetusketjun vaatimusten mukaisesti. Lisäksi tiedontarve kaikissa toimitusketjun eri vaiheissa lisääntyy. Logististen prosessien tehostaminen ja monien eri toimijoiden hallinta vaatii toimivaa ketjun hallintaa sen eri vaiheissa, joten tuotevirran seurannan tulee olla tarpeeksi tehokasta. Tavaratoimitusten toimitusajan ja täsmällisyyden seuranta edellyttää riittävän kattavaa seurantapisteiden määrää ja välitöntä päivitystä tapahtuman jälkeen ilman viiveitä. Hyppönen et al. (2004) ovat esitelleet tarvittavat ajan seurantapisteet, joiden ajatellaan olevan tärkeitä kohtia toimitusketjuissa toiminnan laadun ja palvelutason varmistamiseksi:

- lastin luovutusaika (purku tai jättö)
- vastaanottokäsittelyn aloitusaika
- keräilyn aloitus ja lopetusaika
- lähettämöön luovutusaika
- käyttöönottoluovutusaika.

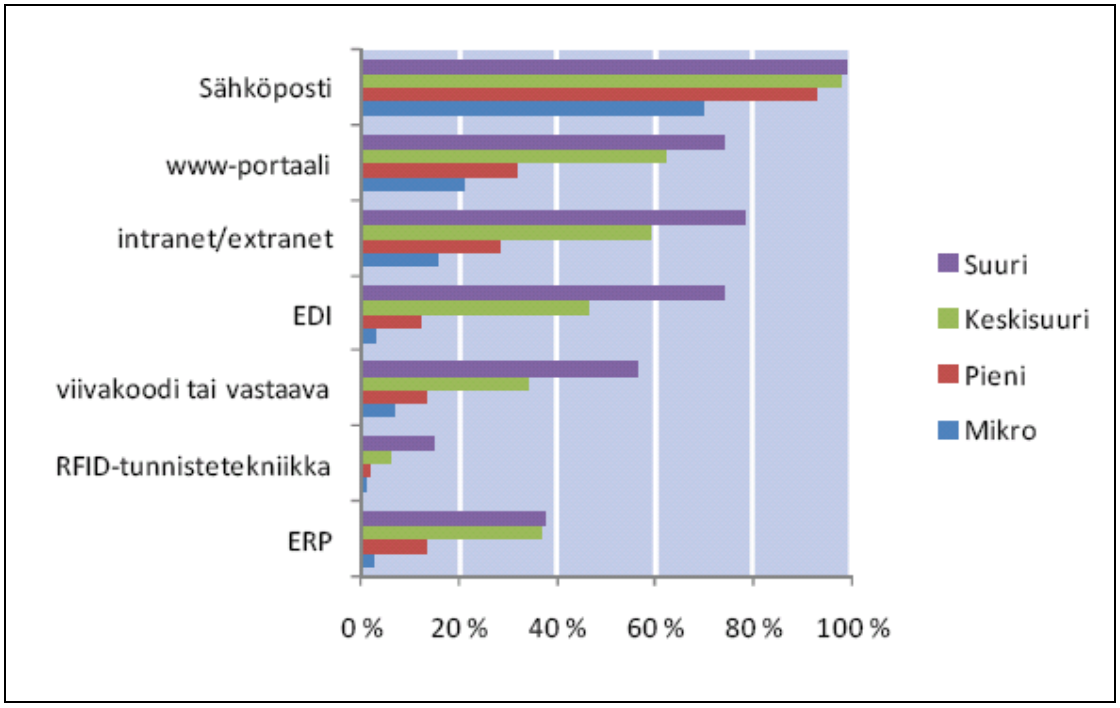
Tulevaisuudessa tarvitaan siis tehokkaita seurantajärjestelmiä, eivätkä nykyiset manuaaliset tunnistus- ja paikannustekniikat silloin enää riitä. Toimitusketjujen monimutkaisuuden ja eri osapuolten suuren määrän vuoksi tullaan jatkossa tarvitsemaan standardoidumpia ja yleisesti käytössä olevia järjestelmiä, jotka mahdollistavat toimijoista riippumattoman seurannan. Seurantajärjestelmille asetettavat reaaliaikaisuusvaatimukset

vaihtelevat tapauskohtaisesti. Useimmissa tapauksissa pelkkä status-tieto riittää eli olennaista on, että tiedetään tavaratoimituksen ohittaneen ketjun tietyn tarkastuspisteen (Permala et al. 2006). Poikkeustilanteissa reaaliaikaisuusvaatimukset saattavat kuitenkin kasvaa, sillä esimerkiksi myöhästymisiin liittyvien tietojen tulee olla käytettävissä mahdollisimman nopeasti (Permala et al. 2006) Tavaran vastaanottaja näyttäisikin olevan kiinnostunein tavaratoimituksessa tapahtuvista poikkeamista, toisin sanoen siitä, saapuuko tavara sovittuun aikaan perille. Yrityksiä ei varsinaisesti kiinnosta tavaran tarkka seuranta, varsinkin jos kuljetuspalveluja tarjoava yritys on luotettava. Samantapaisiin tuloksiin päädyttiin myös Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen Satamasidonnaisten logistiikkayritysten tietotarpeet (TYLOGE) -projektissa (Pulli et al. 2007).

Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2001 tekemässä Logistiikkaselvityksessä (Kanerva & Purola 2001) lueteltiin seuraavat osa-alueet, joilla tunnistusta ja seurantaa voidaan hyödyntää:

- reaaliaikainen tuotteiden ja kuljetusyksiköiden seuranta
- jäljitettävyys läpi koko toimitusketjun
- myyntiyksikkötason seuranta ja jäljitys
- palautuvien kuljetusyksiköiden seuranta
- puolivalmisteiden seuranta kokoonpanoprosessissa
- toimitusdokumenttien hallinta, sähköinen alustakohtainen kuormakirja
- kierrätyksen hallinta
- toimitusvarmuuden tarkkailu ja sen nostaminen
- resurssien käytön optimointi (esimerkiksi kuljetuskalusto)
- tuotteen mukana kulkevan tiedon sähköistäminen.

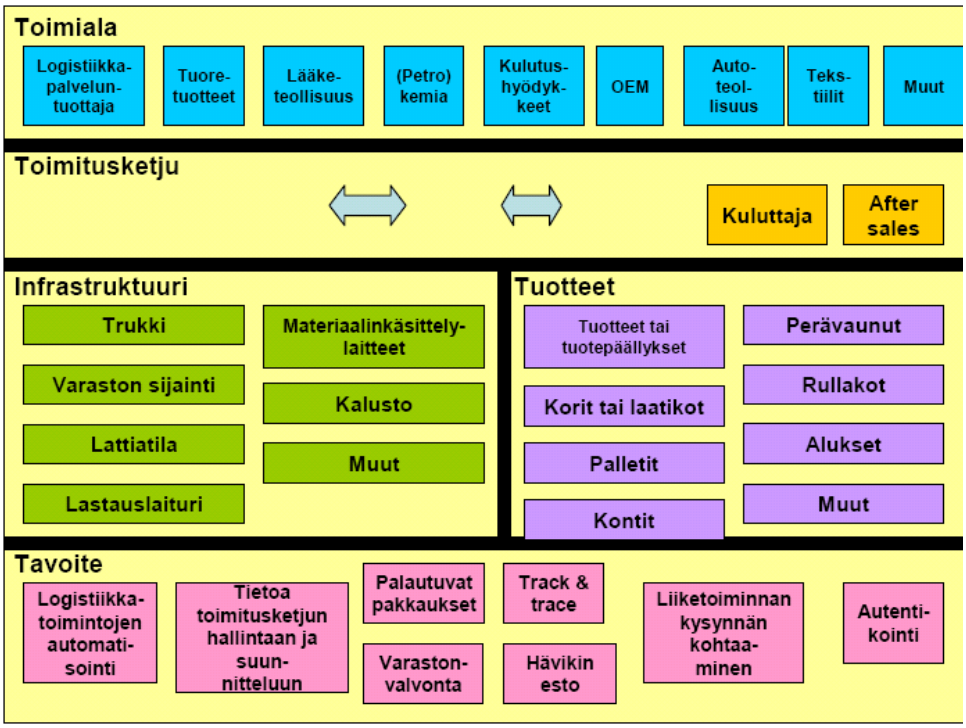
Vuonna 2004 julkaistussa Tekesin ELO-ohjelman tutkimuksessa teollisuuden ja kaupan yrityksiltä kysyttiin seurantapalveluiden käytöstä. Ainoastaan 19 % ilmoitti käyttävänsä näitä palveluita sisääntulevien toimitusten seurannassa ja 31 % uloslähtevien seurannassa (Kauremaa & Auramo 2004). Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2009 tekemässä Logistiikkaselvityksessä (Solakivi et al. 2009, s. 105–106) tutkittiin muun muassa logistiikkayritysten käyttämiä teknologioita liiketoiminnassaan. Tutkimuksesta käy ilmi, että sähköposti ja Internet-pohjaiset sovellukset ovat suhteellisen paljon käytettyjä tekniikoita kaikissa logistiikkayrityksissä (kuva 2.3). EDI (Electronic Data Interchange) –tiedonsiirtotapaa, viivakooditekniikkaa ja ERP (Enterprise Resource Planning) -järjestelmiä käytetään etupäässä suurissa ja keskisuurissa yrityksissä. RFID-tunnistustekniikka on kaikenkokoisissa yrityksissä vielä hyvin vähäisessä käytössä. Edellä mainittuja sovelluksia sekä muita tunnistus- ja paikannustekniikoita esitellään tarkemmin luvussa 3.



Kuva 2.3. Logistiikkayritysten käyttämät teknologiat yrityskoon mukaan. (Solakivi et al. 2009, s. 105–106)

2.5 Tuoteseurannan tasot

Tuoteseurantaa voidaan toteuttaa eri tasoilla. Toimitusketjujen seuranta voi perustua tuotteen, kuljetusyksikön (esim. kontti) tai kuljetusajoneuvon seurantaan (kuva 2.4). Yksittäistä tuotetta seuraamalla saavutetaan luonnollisesti tarkin seurantatulos. Jotta tietty tuote, kuljetusyksikkö tai kuljetusajoneuvo voidaan paikantaa ja näin ollen seurata sen kulkua, tulee seurattavaan kohteeseen liittää jokin sen yksilöivä tunniste. Esimerkki tällaisesta tunnisteesta on perinteinen viivakoodimerkintä. Tuotteeseen liitetty tunniste voidaan lukea eri pisteissä toimitusketjun varrella, ja näin tiedetään minkä pisteiden välillä tuote sijaitsee. Tietyissä pisteissä luetut tunnisteet tarjoavat tuotteen seuraajalle status- eli tilatietoa, eli onko tuote esimerkiksi lähtenyt tehtaalta tai onko se varastossa. Tuotteita voidaan seurata tarvittaessa myös reaaliaikaisesti, esimerkiksi satelliittipaikannuksen avulla. Toimitusketjuihin mahdollisesti soveltuvat tunnistus- ja paikannustekniikat esitellään kolmannessa luvussa.



Kuva 2.4. Tuoteseuranta toimitusketjujen näkökulmasta. (Permala et al. 2006)

Tuotetasoista tuoteseurantaa hyödynnetään nykyisin varsinkin elintarvikkeiden ja myös lääkkeiden kohdalla. Perinteisesti seurattavuudella on näillä aloilla haluttu tunnistaa ja paikantaa turvattomat elintarvikkeet ja lääkkeet (esim. lääkeväärennökset) ja poistaa ne myynnistä. Globaalien toimitusketjujen maailmassa seurattavuuden merkitys korostuu, sillä ketjussa voi olla monia toimijoita monessa eri maassa, joten väärinkäytösten riski saattaa kasvaa. Lääkepuolella on väärennöksiä jopa 10 % lääkkeistä. Tuotteen turvallisuus, aitous ja kunto ovat kuitenkin varmennettavissa oikeanlaisilla tunnistamistekniikoilla. Esimerkiksi IBM on kehittänyt lääkkeiden seurantaa RFID-tekniikkaa hyödyntäen. (Hall 2007)

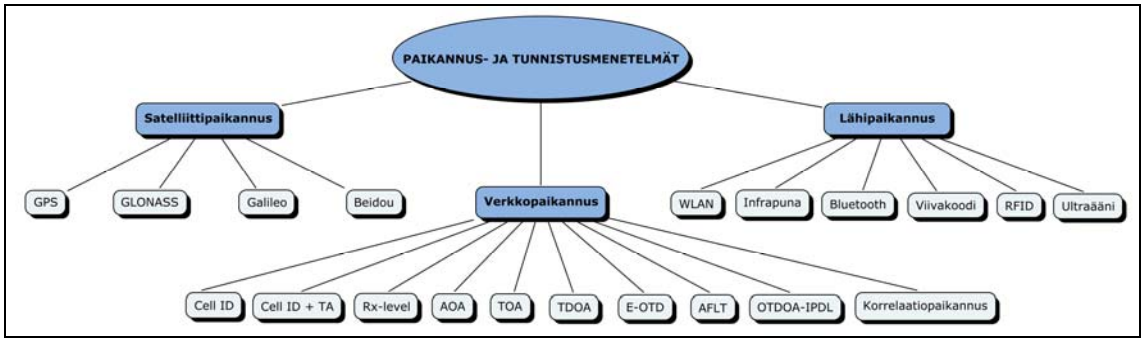
Tuotekohtainen seuranta ei ole aina taloudellisti kovin järkevää, varsinkin jos yksikkömäärä on suuri ja tuotteiden arvo ei ole kovin suuri. Silloin voidaan seurata esimerkiksi lavaa tai muuta kiertävää kuljetusalustaa, johon tietty määrä tuotteita on pakattu. Tällöin lavaan on kiinnitetty sen yksilöivä tunniste, joka voidaan taas lukea eri pisteissä toimitusketjun varrella. Tunnisteeseen voi olla liitettynä tieto lavan sisältämistä tuotteista, jolloin voidaan periaatteessa saavuttaa tuotekohtainen seuranta. Kiertäviä kuljetusalustoja seurattaessa voidaan samalla seurata muun muassa alustojen kiertonopeutta. Wal-Mart on kansainvälisesti yksi tunnetuin lavaseurantaa RFID-tekniikalla toteuttava yritys (Wei 2009). Itella on jo vuodesta 2005 seurannut rullakkojensa liikkeitä RFID:n ja viivakoodin avulla. Vuonna 2008 Itellan lajittelukeskuksen neljä oviaukkoa varustettiin RFID-lukijoilla ja rullakoihin lisättyjen RFID-tunnisteiden avulla rullakoiden liikkeitä seurattiin eri asiakkaille. Asiakkaat puolestaan lukevat omassa päässään viivakoodit rullakosta käsipäätteiden avulla. Seurannan avulla Itella haluaa muun muassa pienentää rullakkojen hävikkiä, sillä Itella joutuu joka vuosi ostamaan 30 000 uutta rullakkoa korvaamaan kadonneet yksilöt. (Huurre 2008)

Myös kuljetusvälinettä eli rekkaa tai vaikkapa junavaunua voidaan seurata. Kuljetusyritysten autot voivat sisältää esimerkiksi viivakoodinlukijan, kämmentietokoneen sekä GSM-datayhteyden. Näin ollessa myös rahtikirja-tietoja voidaan siirtää sähköisesti. Monissa autoissa on toimeksiantajan ajoneuvopääte, joka sisältää esimerkiksi karttaohjelman ja GPS-paikannuksen. Suomessa on kuitenkin useita pieniä kuljetusyrityksiä, joiden autoissa ei ole lainkaan tietotekniikka (Laakso et al. 2001). Yritykset ovatkin resurssiensa perusteella eriarvoisessa asemassa teknologioiden käyttöönotossa.

Rautatieliikenteessä on käytössä RailTrace-järjestelmä (www.railtrace.com), jonka avulla on mahdollista seurata junavaunuja kansainvälisesti. RailTrace-palvelu aloitettiin, koska eurooppalaisille asiakkaille haluttiin tarjota mahdollisuus seurata vaunuja ja tavaraeriä. RailTrace kattaakin lähes kaikki Euroopan maat ja Venäjän. Järjestelmä toimii yli Internetin, ja se yhdistelee eri osapuolilta saatavia ajantasaisia tilatietoja. Lisäksi se tuottaa poikkeamaraportteja, esimerkiksi lähetyksen myöhästyessä aikataulusta. Palvelun tarjoavat eurooppalaiset rautatieyhtiöt ja logistiikkapalveluyritykset. (Holmberg 2006) Lentoyhtiöiden asiakkaat voivat seurata lähetyksiensä tilannetta lentorahtikirjan numeron perusteella. Tämä tieto ei ole kuitenkaan reaaliaikaista vaan eri statuksiin pohjautuvaa (esimerkiksi ”shipped”, ”delivered”). Pikarahtiyhtiöt tarjoavat asiakkailleen palvelua, jonka avulla on mahdollista seurata lähetysten etenemistä seurantajärjestelmien avulla. Suurilla pikarahtiyrityksillä on ollut mahdollisuus tehdä palvelu koko maailman kattavaksi ja käytettäväksi ympäri vuorokauden. Tiedot syötetään järjestelmiin kuriirien kannettavilla viivakoodilukijoilla ja lähetyksiä voidaan seurata lähetyslomakkeen numeron avulla. Seuranta voi tapahtua asiakaspalvelun, tekstiviestin, sähköpostin, WAP (Wireless Application Protocol) -yhteyden tai Internetin kautta. (Laakso et al. 2001)

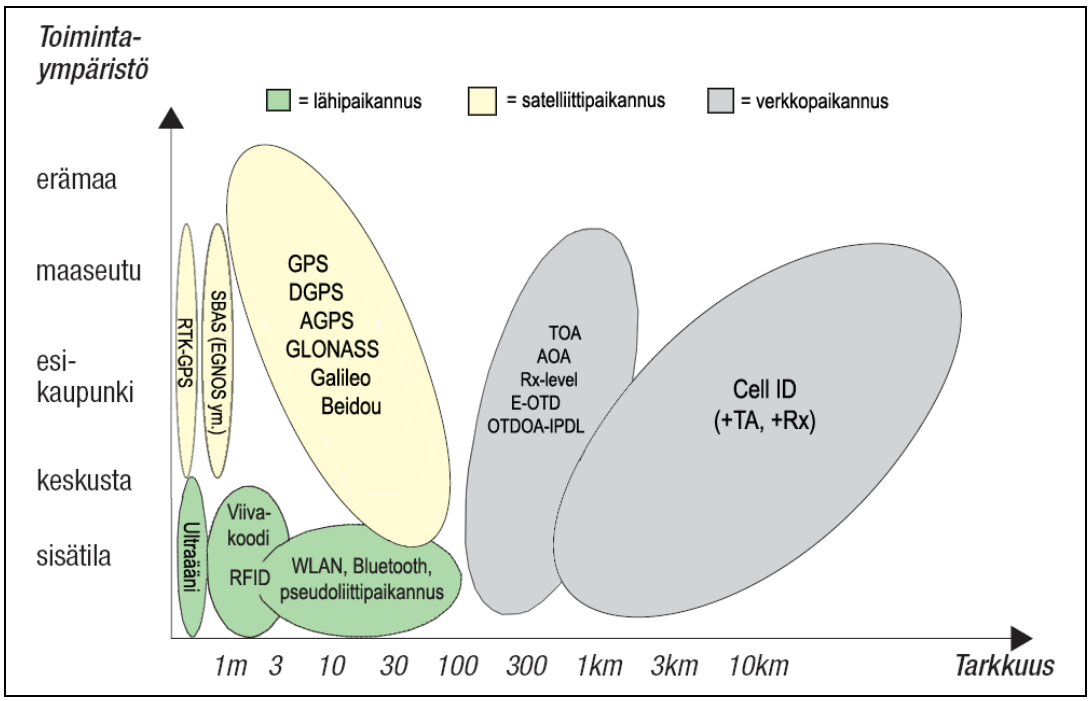
3 TUOTESEURANTAAN SOVELTUVAT TUNNISTUS- JA PAIKANNUS-MENETELMÄT

Tässä luvussa kuvataan erilaisia tunnistuksessa ja paikannuksessa käytettäviä menetelmiä ja tekniikoita, joita voidaan hyödyntää yleisesti erilaisissa tunnistus- ja paikannussovelluksissa sekä sen myötä myös logistiikkaan liittyvässä tuoteseurannassa. Luvussa esitetyt paikannusmenetelmät on ryhmitelty Rainiota (2003, s. 4) mukaillen menetelmien infrastruktuurin perusteella kolmeen pääryhmään, joita ovat satelliittipaikannus, verkkopaikannus ja lähipaikannus (kuva 3.1).



Kuva 2.1. Paikannusmenetelmien ryhmittely.

Paikannusmenetelmät eroavat toisistaan teknisen toteutuksen lisäksi muun muassa toimintaympäristön ja paikannustarkkuuden suhteen (kuva 3.2). Paikannuksen toimintaympäristö ja tarkkuus vaikuttavat siihen, millaisissa sovelluksissa eri tekniikoita voidaan hyödyntää. Paikannuksen tarkkuus ilmaistaan usein keskivirhettä kuvaavalla metriluvulla ja sen rajoissa pysymisen todennäköisyyttä havainnollistavalla prosenttiluvulla. (Rainio 2003, s. 4)



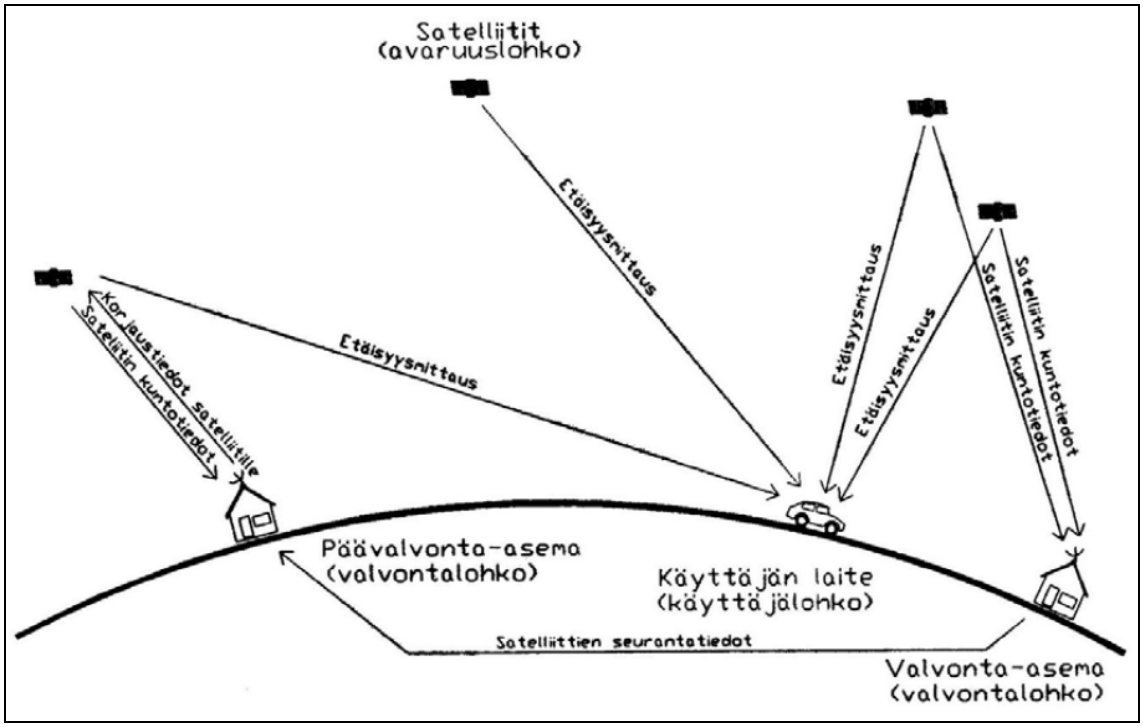
Kuva 3.2. Paikannusmenetelmien toimintaympäristö ja tarkkuus. (mukaillen Rainio 2003, s. 5)

Satelliittipaikannuksen tarkkuus on tavallisesti noin kymmenen metriä, mutta erilaiset esteet (esim. rakennukset) saattavat heikentää tarkkuutta useilla kymmenillä metreillä tai voivat jopa estää järjestelmän käytön kokonaan. Satelliittipaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa erilaisilla menetelmillä ja laajennuksilla, joiden avulla voidaan päästä parhaimmillaan jopa senttimetrien paikannustarkkuuksiin. **Verkkopaikannuksen** tarkkuus vaihtelee toimintaympäristöstä riippuen muutamasta sadasta metristä (esim. kaupunkien keskustat) useisiin kilometreihin (esim. maaseutu). Tällainen tarkkuus riittää monenlaiseen tiedonhakuun ja henkilöiden paikantamiseen, mutta esimerkiksi tiettyyn kohteeseen opastamisessa tarvitaan parempaa tarkkuutta. Verkkopaikannusmenetelmien kehittämistä on vauhdittanut vuonna 1996 Yhdysvalloissa annettu määräys, jonka mukaan matkapuhelimista soitettavat hätäpuhelut on paikannettava loppuvuodesta 2001 lähtien. Säädöksessä paikannukselle on asetettu metriset tarkkuusvaatimukset, joiden saavuttamisessa verkkopaikannuksen osalta on ollut vaikeuksia. Euroopassa edellytetään niin ikään hätäpuhelujen paikantamista, mutta Euroopassa paikannukseen ei liity uusia investointeja vaativia metrisiä tarkkuusvaatimuksia. **Lähipaikannuksen** avulla paikantaminen voidaan laajentaa sisätiloihin. Lähipaikannusmenetelmillä voidaan saavuttaa sisätiloissa tavallisesti muutaman metrin paikannustarkkuus. Ultraäänipaikannuksella ja ammattimaisella satelliittipaikannuksella (esim. RTK-GPS) voidaan päästä jopa senttimetritarkkuuteen. Paikannusmenetelmien tarkkuuksista voidaan yleistäen todeta, että satelliittipaikannuksella sijainti pystytään määrittämään kadunkulman tarkkuudella, solupaikannuksella kaupunginosan tarkkuudella ja lähipaikannuksella parkkiruudun tarkkuudella sekä sisä- että ulkotiloissa. (Rainio 2003, s. 4–5)

3.1 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus perustuu maapalloa kiertävien paikannussatelliittien lähettämien ratatieto- ja aikamerkkisignaalien vastaanottoon ja vastaanottimen sijainnin laskemiseen satelliittien etäisyyksien perusteella. Maata kiertävien satelliittien kiertoradat on pyritty suunnittelemaan siten, että jokaisessa pisteessä maapallolla on jatkuvasti näköyhteys vähintään neljään satelliittiin. Maan pinnalla oleva vastaanotin laskee satelliiteilta saamiensa signaalien kulkuaikojen perusteella etäisyytensä näkyvillä oleviin satelliitteihin. Mittaamalla etäisyys useampaan satelliittiin pystytään määrittämään vastaanottimen sijaintipiste maapallolla. (Airos et al. 2007, s. 12; Kukko et al. 1998; Rainio 2004, s. 9)

Satelliittipaikannusjärjestelmät koostuvat kolmesta pääosasta, joita ovat avaruussegmentti, valvontasegmentti ja käyttäjäsegmentti (kuva 3.3). *Avaruussegmentti* muodostuu avaruudessa maata kiertävistä satelliiteista, jotka lähettävät paikannukseen ja ajastukseen tarvittavia tietoja maahan. *Valvontasegmentti* koostuu maanpäällisistä valvontaasemista, jotka vastaanottavat satelliittien lähettämää signaalia ja tarvittaessa päivittävät uusia tietoja tai korjauksia satelliitteihin. *Käyttäjäsegmentin* muodostavat maan päällä sijaitsevat vastaanottimet (esim. käyttäjän päätelaite), jotka vastaanottavat satelliittien lähettämää signaalia ja hyödyntävät paikannusjärjestelmien tarjoamia palveluja. (Airos et al. 2007, s. 11; Potinkara 2004, s. 32)



Kuva 3.3. Satelliittipaikannusjärjestelmän perustoimintaperiaate ja pääosat. (Sormunen 2004, s. 3)

Paikannus perustuu todella pienten aikaerojen mittaamiseen, joten erittäin tarkka ajanmittaus on satelliittipaikannuksen toimintaedellytys. Satelliittien, valvonta-asemien ja vastaanottimien välillä siirtyvä signaali kulkee valonnopeudella, jolloin yhden millisekunnin virhe ajanmittauksessa tarkoittaa noin 300 kilometrin virhettä etäisyydessä. Suuren tarkkuusvaatimuksen takia avaruus- ja valvontasegmentissä on käytettävä atomikelloja, joiden aikavirhe on noin sekunnin miljardisosa vuorokaudessa. Vastaanottimissa tällaisia huipputarkkoja kelloja ei kuitenkaan taloudellista syistä ole järkevää käyttää, vaan niissä käytetään tyypillisesti yksinkertaista kvartsikiteeseen perustuvaa kelloa, jonka epätarkkuutta korjataan satelliiteista saatavien PRN-koodien (Pseudo Random Noise, valesatunnainen kohina) avulla. Tarkan kellonajan määrittämisen lisäksi satelliittipaikannuksessa on tiedettävä vielä tarkka satelliitin sijainti, jotta kolmiulotteinen paikanmääritys on mahdollista. Tässä haasteena on se, että satelliitit kiertävät maata noin 20 000 kilometrin korkeudella ja siitä huolimatta paikan määrittäminen pitäisi onnistua muutaman metrin tarkkuudella. Tämä ongelma on ratkaistu siten, että maasta käsin seurataan satelliittien liikkeitä taivaalla ja lähetetään näille niiden oma sijainti radioteitse. Satelliitit lähettävät tämän tiedon edelleen vastaanotinlaitteisiin. (Airos et al. 2007, s. 13; Kukko et al. 1998)

Satelliiteilla on käyttötarkoituksesta riippuen erilaisia kiertoratoja, joiden korkeus ja muoto määräävät satelliitin kiertonopeuden. Tavallisimpia satelliittien kiertoratoja ovat geosynkroninen maankehä (GEO), matala maankehä (LEO), keskimaankehä (MEO) ja voimakkaasti elliptiset radat (HEO) (kuva 3.4). Seuraavassa on kuvattu näiden kiertoratojen keskeisiä ominaispiirteitä (JP-Epstar Oy 2003, s. 4; Schiller 2001, s. 135–138):

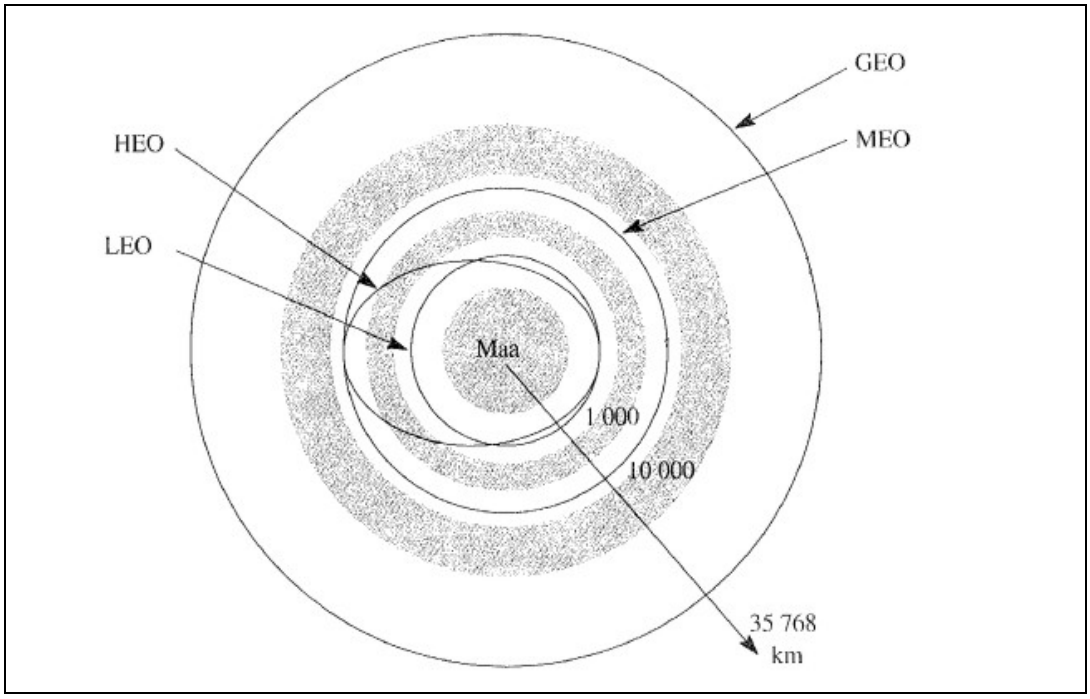
- *Geostationäärista tai geosynkronista maankehää (GEO, Geostationary Earth Orbit)* kiertävät satelliitit ovat lähes 36 000 kilometrin etäisyydellä maasta. Geo-

synkroninen satelliitti liikkuu radalla, jonka kiertoaika on sama kuin maapallon sideerinen pyörähdysaika eli noin 23 h 56 min. Jos kiertorata on ympyrä ja päiväntasaajan tasossa, kyseessä on geostationaarinen satelliitti. Maasta katsottuna geostationaarinen satelliitti näyttää pysyvän aina samassa suunnassa. Esimerkiksi lähes kaikki TV- ja radiosatelliitit, monet sääsatelliitit sekä puhelinverkkojen runkona toimivat satelliitit liikkuvat GEO-radalla. Myös Beidou-satelliittipaikannusjärjestelmässä hyödynnetään GEO-rataa. GEO-järjestelmän merkittävämpänä etuna on niiden hyvä kattavuus: kolmea GEO-satelliittia riittää peittämään melkein kaikki maanosat. GEO-järjestelmän suurimpana heikkoutena on puolestaan signaalin vastaanottamisen vaikeudet maapallon pohjois- ja eteläosissa.

- *Matalaa maankehää (LEO, Low Earth Orbit)* kiertävät satelliitit ovat noin 500–1500 kilometrin etäisyydellä maanpinnasta, joten ne ovat näkyvillä vain lyhyen ajan (LEO-satelliittien tyypillinen kiertoaika on noin 95–120 minuuttia). Verrattaessa LEO-satelliitteja huomattavasti korkeammalla liikkuviin GEO-satelliitteihin saavutetaan etuja muun muassa kapasiteetin suhteen, minkä ansiosta satelliittien tehontarve vähenee ja antennikoot pienenevät. LEO-satelliitit tarjoavat myös GEO-satelliitteja merkittävästi paremman korkeuskulman napa-alueilla ja sen myötä paremman peittoalueen. LEO-järjestelmän suurimpana heikkoutena on useiden satelliittien tarve, jos halutaan saavuttaa globaali peittävyys. Lisäksi LEO-satelliittien ongelmana on niiden lyhyt elinaika (5–8 vuotta), joka johtuu etupäässä ilmakehän jarrutuksesta ja säteilystä.

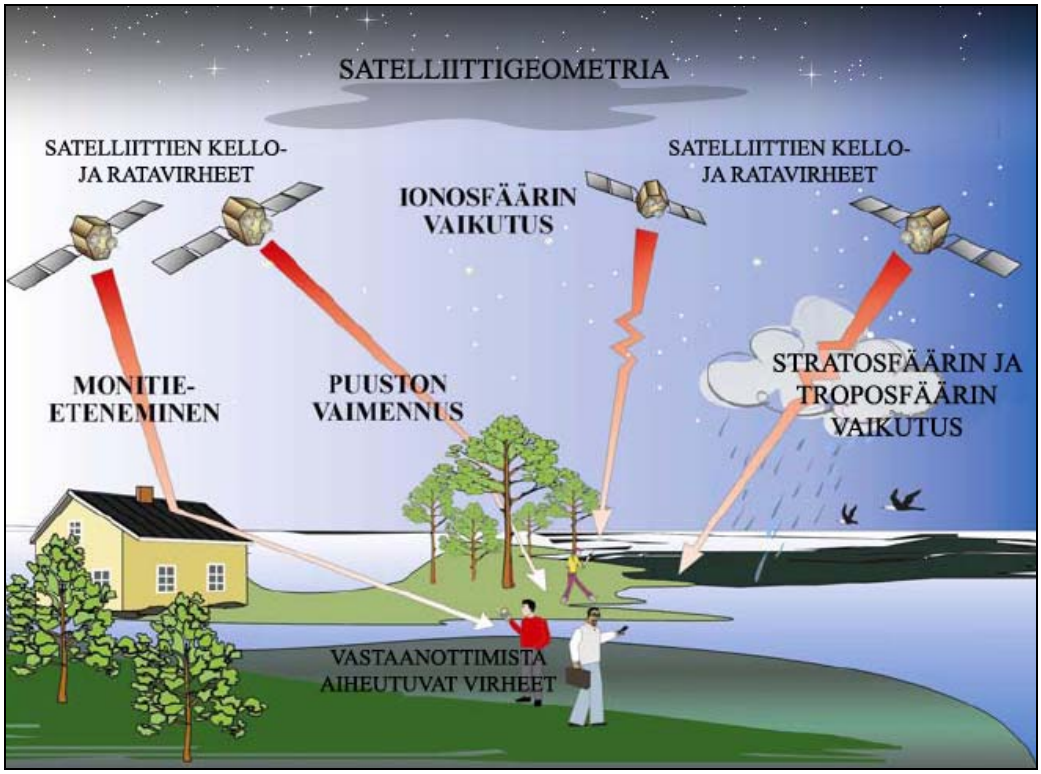
- *Keskimaankehän (MEO, Medium Earth Orbit)* satelliittijärjestelmä on välimuoto LEO- ja GEO-järjestelmistä muodostaen eräänlaisen kompromissin näiden järjestelmien hyvien ja huonojen puolien välille. MEO-satelliittien toimintaetäisyys on noin 5 000–12 000 kilometriä, ja ne kiertävät maapallon noin kuudessa tunnissa. Järjestelmän avulla voidaan rakentaa maailmanlaajuinen peittoalue kohtuullisella määrällä satelliitteja (tarvitaan noin 12 satelliittia). MEO-satelliittien heikkouksia ovat muun muassa LEO-satelliitteja pidemmästä etäisyydestä maahan johtuvat signaalien kulkuviiveet ja sen myötä suurempi tehontarve, pienemmillä peittoalueilla tarvittavat erikoisantennit sekä GEO-satelliitteja lyhyempi elinaika.

- *Erittäin soikean kehän (HEO, Highly Elliptical Orbit)* järjestelmässä satelliitit kiertävät voimakkaasti elliptistä kiertorataa siten, että ne ovat lähimmillään 500 kilometrin ja kauemmillaan 50 000 kilometrin etäisyydellä maasta. Radan muodosta johtuen HEO-satelliitti on maasta katsottuna suurimman osan ajasta samassa suunnassa. HEO-järjestelmällä voidaankin rakentaa alueellista peittoa esimerkiksi pohjoisille alueille. HEO-järjestelmän huonona puolena GEO-järjestelmän tapaan ovat suuret siirtoviiveet ja -häviöt pitkien etäisyyksien takia.



Kuva 3.4. Satelliittien erityyppisiä kiertoratoja. (mukaillen Schiller 2001, s. 136)

Satelliittipaikannuksen tarkkuus vaihtelee tavallisesti muutamista metreistä kymmeniin tai huonoimmillaan jopa satoihin metreihin. Tyypillisiä satelliittipaikannuksen tarkkuuteen virheitä aiheuttavia tekijöitä ovat ionosfäärin ja stratosfäärin/troposfäärin vaikutus, monitie-eteneminen sekä satelliiteista ja vastaanottimista aiheutuvat virheet (kuva 3.5).



Kuva 3.5. Satelliittipaikannuksessa virheitä aiheuttavia tekijöitä. (mukaillen Airos et al. 2007, s. 16)

Noin 400 kilometrin korkeuteen maanpinnasta ulottuva *ionosfääri ja siinä tapahtuvat vaihtelut* vaikuttavat signaalin kulkuaikaan ja voivat aiheuttaa jopa kymmenien metrien paikannusvirheen. Ionosfäärissä on useita radiosignaaleja heijastavia ja taittavia kerroksia. Vaikutus on sitä voimakkaampi mitä lähempänä horisonttia satelliitti on. Ionosfäärissä on myös hyvin paljon sähköisesti varautuneita hiukkasia, joiden läpi mennessä radiosignaali hidastuu aiheuttaen signaalin kulussa viiveitä ja sen myötä epätarkkuutta paikannukseen. Ionosfäärin ollessa erityisen aktiivinen (esim. revontulien aikana) voivat nopeat signaalien kulkuajoissa tapahtuvat vaihtelut saada aikaan suuriakin hetkellisiä virheitä. Ionosfäärin aiheuttamien virheiden korjaaminen ei yleensä ole kovin ongelmallista, sillä ionosfäärissä tapahtuvat vaihtelut tunnetaan suhteellisen hyvin. Maan pintaa lähempänä olevien ilmakehän kerrosten aiheuttamien virheiden korjaaminen on sen sijaan vaikeampaa. Noin 10 kilometrin korkeuteen maanpinnalta ulottuvassa *stratosfäärissä* ja noin 50 kilometrin korkeuteen vaikuttavassa *troposfäärissä tapahtuvat muutokset* ovat hyvin satunnaisia ja täten vaikeasti ennustettavissa ja poistettavissa. Näiden alempien ilmakerrosten signaaliin aiheuttama vääristymä paikannustarkkuuteen on kuitenkin vain kymmenistä senttimetreistä korkeintaan muutamaan metriin. Stratosfäärin ja troposfäärin aiheuttama virhe johtuu etupäässä ilmakerroksen sisältämästä vesihöyrystä, jäästä ja epäpuhtauksista. (Airos et al. 2007, s. 15; Miettinen 2006, s. 56–57)

Monitie-etenemisessä radioteitse kulkeva signaali heijastuu signaalitiellä olevista esteistä ja saapuu sen seurauksena kohteeseen useaa eri reittiä pitkin eriaikaisesti, mikä aiheuttaa häiriöitä signaaliin (Schiller 2001, s. 32–34). Monitie-eteneminen on siis riippuvainen satelliittipaikantimen käyttöympäristöstä. Jos signaalin etenemistiellä on heijastavia elementtejä (esim. rakennuksia tai luonnon esteitä), vastaanotin ei välttämättä havaitse suoraan satelliitista tulevaa signaalia, vaan se havaitsee heijastuneen ja viivästyneen signaalin. Tämän seurauksena paikannukseen voi syntyä jopa useiden kymmenien metrien suuruinen systemaattinen virhe. (Airos et al. 2007, s. 15–16; Miettinen 2006, s. 59–60)

Satelliitista aiheutuvia virhelähteitä ovat sen kellon ja ratatietojen epätarkkuus. Satelliittipaikannuksessa käytetään erittäin tarkkoja kelloja ja erilaisia tekniikoita jo ennestään tarkkojen kellojen käynnin korjaamiseksi, mutta silti kelloista aiheutuu paikannustarkkuuteen keskimäärin noin yhden metrin suuruusluokkaa olevia virheitä. Satelliittien ratatiedot aiheuttavat virheitä paikannustarkkuuteen puolestaan silloin, kun satelliitit poikkeavat laskennalliselta radaltaan muun muassa auringon vetovoiman tai aurinkotuulten seurauksena. Ratatietojen muutosten keskimääräisen virheen arvioidaan olevan melko vähäinen (noin yksi metri yhden ratakierroksen aikana).

Vastaanottimen elektroniikasta ja sen signaalinkäsittelyn epätarkkuuksista johtuva kohina voi myös aiheuttaa mittaustuloksiin satunnaisia virheitä, jotka ovat suuruudeltaan keskimäärin noin kaksi metriä. Lisäksi *satelliittigeometria* vaikuttaa osaltaan paikannustarkkuuteen: lähempänä toisiaan olevat satelliitit tuottavat huonomman paikannustarkkuuden kuin tasaisesti eri puolille taivasta jakautuneet satelliitit. (Airos et al. 2007, s. 16–17; Miettinen 2006, s. 57–59)

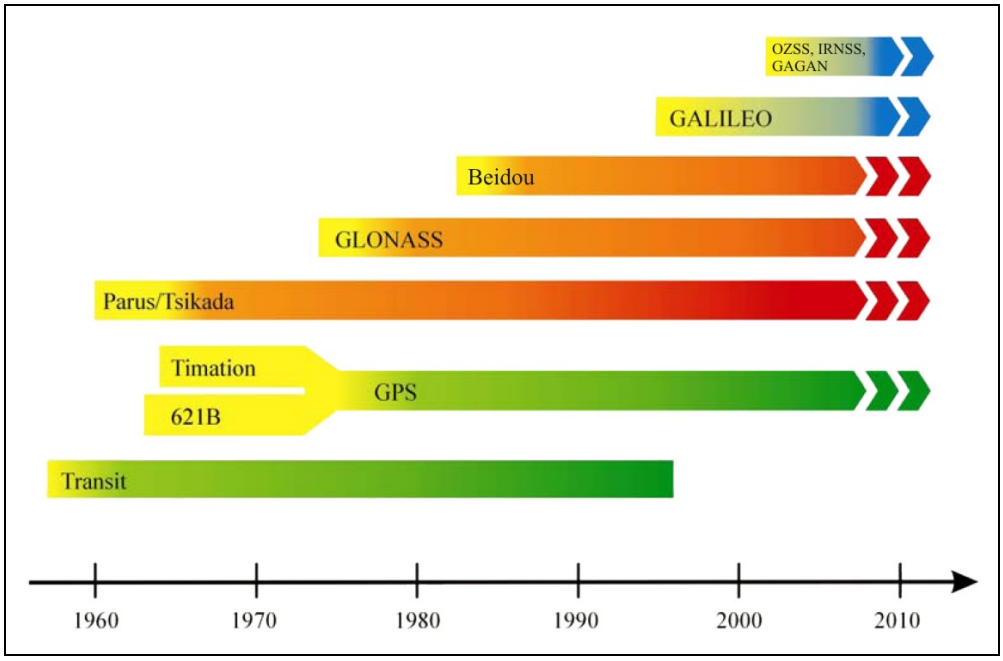
Taulukossa 3.1 on esitetty esimerkinomaisesti GPS-paikannuksessa havaittavia tärkeimpiä virheitä aiheuttavia tekijöitä ja niiden suuruuksia. Tulokset ovat peräisin Yh-

dysvaltojen puolustusministeriön vuonna 2001 laatimasta määrittelystä liittyen GPS-järjestelmän suorituskykytasoihin siviilikäytössä. Määrittelyjen perusteella GPS-järjestelmässä merkittävimpiä virheiden aiheuttajia ovat ionosfäärin vaikutus ja satelliitin kello. Muiden virhelähteiden merkitys GPS-järjestelmän toimintatarkkuuden kannalta on vähäisempi.

Taulukko 3.1. Tärkeimmät GPS-paikannukseen virhettä aiheuttavat tekijät ja niiden suuruudet. (U.S. Department of Defence 2001, s. A-32)

Virheen aiheuttaja	Keskimääräinen virhe
Ionosfääri (yksitaajuinen malli)	7 m
Troposfääri	0,25 m
Satelliitin rata	0,57 m
Satelliitin kello	1,43 m
Vastaanottimen kohina	0,8 m

Ensimmäisen satelliittipaikannusjärjestelmän suunnittelu aloitettiin vuonna 1957 pian Sputnikin laukaisun jälkeen, jolloin Yhdysvalloissa syntyi ajatus satelliitin lähettämän signaalin doppler-siirtymän hyödyntämisestä paikanmäärityksessä maapallon pinnalla (kuva 3.6). Ensimmäisen koesatelliitin laukaisu tehtiin jo vajaan kahden vuoden kuluttua idean syntymisestä. Järjestelmän nopea kehitys johtui lähinnä tarpeesta kehittää tarkka, maailmanlaajuinen, passiivinen ja mahdollisimman vaikeasti häirittävä ja harhautettava paikannusjärjestelmä, jota voitaisiin hyödyntää samoihin aikoihin käyttöön otetuissa ballistisilla ydinohjuksilla varustetuissa sukellusveneissä. Tämä ensimmäinen satelliittijärjestelmä kantoi nimeä *Transit*. Operatiiviseen käyttöön järjestelmä tuli varsinaisesti vuonna 1964. Yhdysvaltojen vanavedessä myös Neuvostoliitto aloitti 1960-luvulla omien navigointijärjestelmiensä kehittämisen: *Tsikada* (siviilikäyttöön) ja *Parus* (sotilaskäyttöön) olivat toimintaperiaatteiltaan hyvin samankaltaisia kuin Yhdysvaltojen kehittämä Transit-järjestelmä. (Airos et al. 2007, s. 8–9)



Kuva 3.6. Satelliittipaikannusjärjestelmien kehitys. (mukaillen Airos et al. 2007, s. 10)

Transit-järjestelmän lukuisten heikkouksien takia Yhdysvaltojen merivoimat ja ilmavoimat käynnistivät 1970-luvun alussa omat hankkeensa satelliittipaikannuksen kehittämiseksi. Vuonna 1973 merivoimien *Timation*-järjestelmä ja ilmavoimien *621B*-järjestelmä yhdistettiin yhdeksi yhteiseksi hankkeeksi, jolla pyrittiin palvelemaan kaikkien puolustushaarojen paikannustarpeita. Molemmista hankkeista siirrettiin toteutuskelpoisimmat osat uuteen yhteishankkeeseen, **GPS**-järjestelmään, jonka kehittäminen aloitettiin vuonna 1974. Lähes samoihin aikoihin Neuvostoliitossa alettiin kehittää Parus/Tsikada-järjestelmää monipuolisempaa **GLONASS**-satelliittipaikannusjärjestelmää, josta tuli peruskonseptiltaan monilta osin hyvin samankaltainen kuin Yhdysvaltojen GPS-järjestelmästä. (Airos et al. 2007, s. 9–10)

Euroopassa aloitettiin 2000-luvun vaihteessa Euroopan unionin ja Euroopan avaruusjärjestön (ESA) yhteinen hanke eurooppalaisen satelliittipaikannusjärjestelmän kehittämiseksi. **Galileo**-hankkeen tarkoituksena on tarjota Euroopan maille riippumaton ja siviilikäyttöön suunnattu paikannusjärjestelmä, jossa on GPS- ja GLONASS-järjestelmiä parempi tarkkuus ja paremmat paikannusominaisuudet korkeilla leveysasteilla. Tähän mennessä kaksi Galileo-järjestelmän koesatelliittia on laukaistu avaruuteen. Vuoteen 2013 mennessä Galileo-järjestelmän kaikkien 30 satelliitin pitäisi suunnitelmien mukaan olla kiertoradallaan ja maanpäällisten tukiasemien toiminnassa. (Airos et al. 2007, s. 10; Kangasniemi 2008)

Beidou on Kiinan kansantasavallan kehittämä paikannusjärjestelmä. Beidou-hanke aloitettiin vuonna 1983, ja ensimmäiset koesatelliitit laukaistiin vuonna 1989. Virallisesti Beidou-hanke käynnistettiin vuonna 1993. Nykyinen neljästä satelliitista koostuva Beidou 1 -järjestelmä on kokeellinen, minkä takia sen kattavuus on rajallinen ja sovelluksessa on puutteita. Täydellinen maailmanlaajuisen kattavuuden tarjoava Beidou 2 -järjestelmä (tunnetaan myös nimellä COMPASS) koostuu 35 satelliitista, joista 5 on geostationäärisellä kiertoradalla (GEO-rata) ja 30 keskimaankehällä (MEO-rata). Täydellisen Beidou 2 -järjestelmän ennustetaan valmistuvan vuoteen 2015 mennessä. (Clark 2009; Encyclopedia Astronautica 2008)

Edellä mainittujen paikannusjärjestelmien lisäksi myös Intia (Gagan ja IRNSS) ja Japani (QZSS) ovat kehittämässä omia satelliittipaikannusjärjestelmiä. Intian vuodesta 2007 alkaen kehittämä *GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation)* -satelliittipaikannusjärjestelmä tarkentaa GPS-satelliittipaikannusta Intian alueella SBAS (Satellite Based Augmentation System) -järjestelmää ja geostationääristä GSAT-4-satelliittia hyödyntämällä. GAGAN-järjestelmän on suunniteltu olevan operatiivisessa käytössä vuoteen 2011 mennessä. (ASM 2008) *IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System)* on Intian avaruusjärjestön vuodesta 2006 lähtien kehittämä, seitsemään geostationäärisellä radalla kiertävään satelliittiin perustuva satelliittipaikannusjärjestelmä. IRNSS-järjestelmästä on tarkoitus kehittää Intian omalla alueella toimiva versio Yhdysvaltojen kehittämästä GPS-järjestelmästä, jota voitaisiin hyödyntää muun muassa valvonnassa, tietoliikenteessä, liikenteessä, katastrofialueiden tunnistamisessa ja yleisesti turvallisuussektorilla. IRNSS-järjestelmän on suunniteltu olevan operatiivisessa käytössä vuoteen 2012 mennessä. (Kulkarni 2007; Raghu 2007) *OZSS (Quasi-Zenith Satellite System)* on puolestaan Japanin vuodesta 2002 alkaen kehittämä kolmeen satelliittiin perustuva paikannusjärjestelmä, joka tarkentaa GPS-paikannusta Japanin alueella

SBAS-järjestelmää hyödyntämällä. QZSS-järjestelmän on suunniteltu olevan operatiivisessa käytössä vuoteen 2013 mennessä. (APRSAF 2008; ASM 2009)

Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu tarkemmin GPS-, GLONASS-, Galileo- ja Beidou-satelliittipaikannusjärjestelmiä, koska nämä järjestelmät ovat osittain jo tällä hetkellä ja tulevat myös lähitulevaisuudessa olemaan vallitsevia kansainvälisiä satelliittipaikannusmenetelmiä. Järjestelmien kuvauksessa ei syvennytä kovin tarkasti teknisiin ratkaisuihin, vaan luodaan pikemminkin yleiskuva kustakin järjestelmästä ja niiden tärkeimmistä ominaisuuksista. Luvussa 4.2.1 on vertailtu satelliittipaikannusmenetelmien ja -laajennuksien keskeisiä ominaisuuksia sekä pohdittu niiden soveltuvuutta satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurantaan.

3.1.1 GPS

NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System) tai yleisemmin vain GPS (Global Positioning System) on kaikkialla maapallolla 24 tuntia vuorokaudessa toimiva satelliitteihin perustuva paikannusjärjestelmä, jonka avulla käyttäjä voi määrittää oman sijaintinsa ja nopeutensa sekä saada tarkan ajan. GPS on Yhdysvaltojen puolustusministeriön kehittämä, rahoittama ja ylläpitämä, alun perin sotilaskäyttöön tarkoitettu, paikannusjärjestelmä. GPS sai alkunsa, kun Yhdysvaltojen meri- ja ilmavoimien 1960-luvulla alkaneet kehitysohjelmat (Timation ja 621B) yhdistettiin lopulta NAVSTAR-ohjelmaksi, jonka tuotteena syntyi GPS-konsepti vuonna 1973. Tarkoituksena oli luoda tarkka, reaaliaikainen ja yksisuuntainen (käyttäjä ei lähetä satelliittien suuntaan mitään signaalia) paikannusmenetelmä. Järjestelmän rakentaminen aloitettiin vuonna 1978, jolloin ensimmäinen satelliitti lähetettiin maata kiertävälle radalle. Koko järjestelmä julistettiin toimintakuntoiseksi kuitenkin vasta 1995. (Airos et al. 2007, s. 19; Poutanen 1998, s. 11)

GPS-järjestelmä koostuu kolmesta segmentistä, joita ovat avaruus-, hallinta- ja käyttäjäsegmentit. GPS-järjestelmän *avaruussegmentti* koostuu noin 30 satelliitista, jotka kiertävät maapalloa kuudella eri MEO-kiertoradalla 60 asteen välein noin 20 200 kilometrin korkeudessa merenpinnasta. Riittävän peittoalueen aikaansaamiseksi vähintään 21 satelliittia tulee olla toimintakunnossa, ja lisäksi maata kiertää jatkuvasti vähintään 3 varasatelliittia. Kukin satelliiteista kiertää maapallon kaksi kertaa vuorokaudessa, täsmällisen kiertoajan ollessa 11 tuntia 58 minuuttia eli yksi tähtivuorokausi. Samat satelliitit ovat siis näkyvissä kahdesti vuorokaudessa ja niiden liikeradat ovat lähes samat päivästä toiseen. Satelliittien kiertoradat on järjestetty siten, että jokaisessa maapallon pinnan pisteessä on näkyvissä jatkuvasti vähintään neljä satelliittia, jotka ovat suuntimisen kannalta sopivan etäisyyden päässä toisistaan ja horisontista. (Airos et al. 2007, s. 20; Kukko et al. 1998; Miettinen 2006, s. 33–34; Miettinen 1999, s. 30–32)

GPS-järjestelmän *käyttäjäsegmentissä* tapahtuu varsinainen paikannus. GPS-vastaanotin havaitsee satelliittien lähettämät signaalit ja laskee niiden avulla oman paikkansa. Neljä yhtä aikaa näkyvää satelliittia riittää tarkkaan paikantamiseen ja vastaanottimen kellon tahdistamiseen. Yleensä satelliitteja on samanaikaisesti näkyvissä enemmän kuin neljä, jolloin GPS-vastaanotin voi joko valita neljä sopivinta satelliittia (yk-

sinkertaisin ratkaisu) tai hyödyntää useampien satelliittien tietoja luotettavamman tuloksen saamiseksi (vaatii vastaanottimelta enemmän älykkyyttä). Monet GPS-vastaanottimet pystyvät seuraamaan kaikkia näkyvissä olevia satelliitteja, joita voi olla enintään 12. Suomessa on säännöllisesti näkyvissä 7–8 satelliittia, toisinaan jopa 10. Satelliittien lähettämien signaalien vastaanottamiseen tarkoitetut GPS-vastaanottimien ominaisuudet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Eri käyttötarkoitukseen sopivia GPS-vastaanottimia ovat muun muassa kannettavat GPS-paikantimet, autonavigaattorit, vesillä käytettävät karttaplotterit sekä GPS-kartoilla ja -vastaanottimella varustetut tietokoneet (yleensä kannettavat tietokoneet) ja matkapuhelimet. (Arokoski et al. 2002, s. 192; Kukko et al. 1998; Miettinen 2006, s. 33; Miettinen 1999, s. 31; Poutanen 1998, s. 11)

GPS-järjestelmän *hallintasegmentin* tehtävänä on vastata järjestelmän satelliittien valvonnasta, ylläpidosta ja päivittämisestä. Hallintasegmentti koostuu komentokeskuksesta, valvonta-asemista ja antenniasemista. Komentokeskus päivittää satelliittien lähettämää signaalia valvonta-asemien keräämien tietojen avulla. Valvonta-asemat tarkkailevat satelliittien signaaleja passiivisesti ja välittävät kerättyjä tietoja komentokeskukseen. Antenniasemia komentokeskus käyttää yhteydenpitoon satelliittien kanssa. Komentokeskuksen muodostama seuranta-, telemetria- ja hallintatieto siirretään antenniasemille, joissa tieto tallennetaan ja siirretään satelliittiin ylityksen aikana. (Airos et al. 2007, s. 20)

GPS-satelliitit lähettävät koko ajan tietoa itsestään (tiedonsiirtonopeus on noin 50 bittiä/sekunti). Satelliittien lähettämä tieto jakautuu kahteen palvelutasoon, joita ovat PPS ja SPS. Palvelutasot eroavat toisistaan lähinnä paikannustarkkuuden suhteen. *PPS (Presice Positioning Service)* on yksinomaan sotilas- ja viranomaiskäyttöön tarkoitettu palvelutaso, jonka alemman taajuuden signaali, P-koodi (Precision Code), on salattu. Salauksen purkamiseen tarvitaan GPS-paikantimen sotilaallinen versio. PPS-palvelun toimintatarkkuus on ollut alusta lähtien noin viisi metriä, mutta nykyään PPS-palvelutason paikannuksessa päästään jopa parin metrin vakaaseen tarkkuuteen. *SPS (Standard Positioning Service)* on GPS-järjestelmän siviilikäyttöön tarkoitettu osa, jota kuka tahansa voi käyttää vapaasti ilman erillistä käyttökorvausta. Järjestelmän ylläpitäjän on mahdollista häiritä SPS-palvelun signaalissa käytettävää C/A-koodia (Coarse Acquisition Code), muun muassa rajoittamalla paikannuksen tarkkuutta. Häirintä tapahtuu SA-häirinnällä (Selective Availability), jolla voidaan säädellä tilanteen ja tarpeen mukaan GPS-järjestelmän kellovirheen suuruutta ja ratatietojen virheellisyyttä. Vuonna 2000 siviilipaikantimien tahallinen häirintä poistettiin käytöstä, minkä seurauksena myös siviilikäytössä olevien GPS-laitteiden paikannustarkkuus parani huomattavasti (sadoista metreistä muutamiin metreihin). On kuitenkin huomattava, että Yhdysvaltain armeijalla on mahdollista käynnistää siviilipaikantimien tahallinen häirintä milloin tahansa (esim. sotatilanteissa). Näin on tapahtunut viimeisten vuosien aikana muutaman kerran (esim. terroristi-isku WTC-rakennuksiin Yhdysvalloissa 11.9.2001). (Airos et al. 2007, s. 19; Kukko et al. 1998; Miettinen 2006, s. 39, 48, 52; Poutanen 1998, s. 11)

GPS-järjestelmä on osoittautunut luotettavaksi ja tarkaksi paikannusmenetelmäksi. Järjestelmälle asetetut tarkkuusvaatimukset on ylitetty sekä siviili- että viranomaispalveluissa. Vuosien saatossa GPS-laitteiden ja -ohjelmistojen kehittymisen myötä järjestel-

män tarkkuus on parantunut entisestään. Siviilipaikannuksen keskimääräiseksi tarkkuudeksi GPS-järjestelmän ylläpitäjä on ilmoittanut 13 metriä vaakasuunnassa ja 22 metriä pystysuunnassa sekä ajan tarkkuudeksi 40 nanosekuntia (U.S. Department of Defence 2001, s. 15). Käytännössä paikannustarkkuus on kuitenkin näitä ilmoitettuja lukuja parempi. Siviilikäyttöön tarkoitetuilla perusvastaanottimilla paikannustarkkuus on suurimman osan ajasta noin 5 metrin luokkaa. Viranomaispalvelussa päästään hieman tätäkin tarkempaan tarkkuuteen. (Airos et al. 2007, s. 20; Miettinen 2006, s. 8, 53)

GPS-järjestelmän tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa erilaisilla menetelmillä ja laajennuksilla, joiden avulla paikannustarkkuudessa voidaan päästä jopa senttimetritasolle. Korjauksia voidaan tehdä joko reaaliajassa tai jälkikäteen. Seuraavassa on esitelty muutamia GPS-järjestelmän laajennuksia ja niiden keskeisiä ominaispiirteitä:

- *DGPS eli differentiaalinen GPS (Differential GPS)* hyödyntää kiinteitä tukiasemia. Tukiasemissa sijaitsevat vertailuvastaanottimet tietävät hyvin tarkasti oman sijaintinsa, minkä avulla ne pystyvät laskemaan todellisen etäisyyden määrättynä hetkenä kuhunkin satelliittiin eli selvittämään kunkin satelliitin mitatun etäisyyden virheen tietyllä ajanhetkellä. Kun näennäisetäisyyden ja todellisen etäisyyden ero siirretään niin sanottuna differentiaalikorjauksena tuntemattomassa paikassa olevalle paikantimelle, pystyy paikannin korjaamaan omia etäisyysmittauksiaan ennen koordinaattien laskemista. Suomessa on käytössä kaksi maksullista DGPS-järjestelmää, joita ylläpitävät maa-alueilla Geodeettinen laitos ja Yleisradio sekä merialueilla Merenkulkulaitos. DGPS-paikannusta hyödynnetään muun muassa maanmittauksessa ja -kaavoittamisessa sekä kulunohjauksessa. (Miettinen 2006, s. 53–55)

- *SBAS (Satellite Based Augmentation System)* on alun perin lentoliikenteen tarpeisiin kehitetty kommunikaatiosatelliitteihin perustuva järjestelmä, jossa ilmakehän aiheuttamaa kulkuaikaviivettä korjataan lähettämällä vastaanottimille alueellista korjaustietoa. SBAS-järjestelmät tunnetaan eri puolella maailmaa eri nimellä, mutta teknologia on näissä kaikissa oleellisilta osin sama. Tunnetuimpia kansainvälisiä SBAS-järjestelmiä ovat Amerikassa toimiva *WAAS (Wide Area Augmentation System)*, Euroopassa toimiva *EGNOS (European Geostationary Navigation Overlayd System)* ja Aasiassa toimiva Japanin kehittämä *MSAS (Multifunctional Transport Satellite-based Augmentation System)*. SBAS-järjestelmät muistuttavat toimintaperiaatteeltaan DGPS-järjestelmää. Järjestelmissä on joukko GPS-signaaleja vastaanottavia ja virhetietoja kokoavia maaasemia, joista tiedot välitetään korjausalgoritmeja laskeville ja GPS-järjestelmän kuntoa tarkkaileville keskusasemille. Keskusasemilta korjausarvot lähetetään edelleen tukiasemaverkoston kautta päiväntasaajan yläpuolella GEO-radoilla sijaitseville tietoliikennesatelliiteille, jotka lähettävät paikannusta tarkentavan tiedon GPS-paikantimiin. SBAS-järjestelmille asetettu tarkkuusvaatimus on vähintään 7,6 metriä vähintään 95 % ajasta. Amerikassa toimivan WAAS-järjestelmän tutkittu tarkkuus on yleisesti parempi kuin 1,0 metriä horisontaalisesti ja 1,5 metriä vertikaalisesti. Palvelujen käyttö ei edellytä lisävastaanotinta (edellyttää vastaanottimelta kuitenkin ns. WAAS-tukea) eikä käyttömaksun maksamista, jo-

ten palvelut ovat vaivattomasti myös yksityishenkilöiden hyödynnettävissä. (Miettinen 2006, s. 55–56)

- *SISNeT (Signal in Space through the Internet)* on Euroopan Avaruusjärjestö ESA:n kehittämä GPS-järjestelmä, joka tarjoaa pääsyn GPS-satelliittipaikannusta tarkentavaan EGNOS-signaaliin Internetin kautta reaaliajassa. SISNeT mahdollistaa EGNOS-signaalin hyödyntämisen sellaisissa tilanteissa, joissa EGNOS-signaalia ei pystytä muuten kunnolla vastaanottamaan (esim. pohjoiset leveysasteet, korkeiden rakennusten läheisyys ja sisätilat). Esimerkiksi Suomessa EGNOS-signaalin vastaanottamisessa voi olla vaikeuksia, koska EGNOS-järjestelmissä käytettävien GEO-satelliittien nousukulma on pohjoisilla leveysasteilla alhainen, jolloin signaalitiellä olevat matalatkin esteet saattavat estää signaalin vastaanottamisen. SISNeT-järjestelmässä SISNeT-palvelin saa EGNOS-viestejä EGNOS-vastaanottimelta (asennettuna paikkaan, josta on hyvä signaalitie avaruudessa oleviin GEO-satelliitteihin, esim. korkealla sijaitsevan rakennuksen katolle), pakkaa EGNOS-viestit ja lähettää ne reaaliajassa käyttäjälle Internetiä pitkin. SISNeT-vastaanotin ottaa vastaan EGNOS-viestejä SISNeT-palvelimelta Internetin kautta GPRS-yhteyden välityksellä, purkaa ja avaa EGNOS-viestit sekä lopulta arvioi sijaintikoordinaatinsa EGNOS-viestin sisältämän tiedon avulla. SISNeT-järjestelmän käyttäjä ei siis tarvitse suoraa radioyhteyttä GEO-satelliitteihin. SISNeT-palvelujen käyttö on ilmaista. Käyttäjän tarvitsee vain luoda itselleen käyttäjätili palvelujen hyödyntämiseksi. (Chen et al. 2003)

- *A-GPS eli avustettu GPS (Assisted GPS)* on yksi GPS-järjestelmän laajennuksista, jossa GPS-vastaanotin integroidaan matkapuhelinverkkoa käyttävään päätelaitteeseen. Sijainnin laskenta suoritetaan joko päätelaitteessa tai matkapuhelinverkon palvelimessa. Päätelaitteessa tapahtuvassa A-GPS-paikannuksessa matkapuhelinverkko toimittaa päätelaitteelle avustustietoja (esim. satelliittien ratatietoja ja korjaustietoja), minkä jälkeen päätelaite laskee paikkatiedot. Matkapuhelinverkossa tapahtuvassa A-GPS-paikannuksessa päätelaitteessa on yksinkertaisempi GPS-vastaanotin, joka jalostaa matkapuhelinverkon toimittamia avustustietoja ja lähettää ne takaisin verkossa sijaitsevalle laitteelle, joka mittaa puhelimen paikan ja suorittaa muut tarvittavat toiminnot. A-GPS-paikannuksen uskotaan tuovan apua joihinkin perinteisessä GPS-paikannuksessa ilmeneviin ongelmakohtiin, kuten virrankulutukseen, paikannuksen hitauteen ja osin myös heikkoihin satelliittisignaaleihin liittyviin ongelmiin. (Rainio 2003, s. 11) A-GPS-paikannuksella voidaan saavuttaa parempi paikannustarkkuus ja -nopeus sekä pienempi virankulutus kuin tavallisella GPS-tekniikalla. A-GPS-laite kykenee paikantamaan päätelaitteen sijainnin avoimella paikalla 2–3 metrin tarkkuudella muutamassa sekunnissa, kun tavalliselta GPS-vastaanottimelta paikan määritykseen voi kulua jopa yli minuutti. A-GPS-laite toimii myös signaalin vastaanoton kannalta heikoissa olosuhteissa (esim. korkeiden rakennusten lähettyvillä ja sisätiloissa), koska se pystyy vastaanottamaan jopa satoja kertoja heikompia signaaleja kuin tavallinen GPS. Heikon signaalin takia paikannustarkkuus tosin laskee noin 20–30 metriin.

- *GPS-pseudoliittipaikannus* laajentaa GPS-paikannuksen sisätiloihin, joihin perinteisellä GPS-paikannuksella ei päästä, koska satelliittien lähettämät signaalit ovat teholtaan heikkoja ja matkalla avaruudesta vastaanottimeen ne vaimenevat merkittävästi rakennusten ja erilaisten luonnonesteiden vaikutuksesta. Menetelmässä käytetään pseudoliitteja eli ns. valesatelliitteja, jotka lähettävät matalatehoista GPS-signaalin tapaista signaalia. Pseudoliittien GPS-kanavia tukeva GPS-vastaanotin voi vastaanottaa tätä pseudoliittien lähettämää signaalia, jonka avulla on mahdollista määrittää vastaanottimen etäisyys pseudoliitista. Riittävän paikannustarkkuuden takaamiseksi kaikkialla sisätiloissa tai kaupunkien keskusta-alueilla tarvitaan useita pseudoliitteja. Käytännössä pseudoliittipaikannuksessa käytettävät etäisyydet vaihtelevat muutamasta metristä muutamaan kilometriin. Nykyisillä laitteilla pseudoliittipaikannuksen tarkkuus on sisätiloissa noin 5–10 metriä ja ulkona hyvissä olosuhteissa jopa alle yksi metri. Sisätiloissa pseudoliittien suurin tarkkuutta rajoittava tekijä on signaalien heijastuminen seinistä ja katoista. Hyvän paikannustarkkuuden ansiosta GPS-pseudoliitteja on käytetty muun muassa lentokoneiden korkeussijaintitarkkuuden parantamiseen lentokenttien läheisyydessä. Pseudoliitteja käyttämällä voidaan myös vähentää tarkkaan paikannukseen vaadittavien satelliittien määrää. (Chen & Kuittinen 2007, s. 29; Rainio 2004, s. 12) Pseudoliittipaikannusta voidaan pitää lähipaikannusmenetelmänä, ja joissakin lähteissä se onkin luokiteltu lähipaikannusmenetelmiin kuuluvaksi.

- *RTK-GPS eli reaaliaikainen kinemaattinen GPS (Real Time Kinematic GPS)* on ammattimaisessa paikannuksessa käytössä oleva paikannusmenetelmä. RTK-GPS-paikannusta hyödynnetään muun muassa maanmittauksessa ja kartoituksessa, joissa tarvitaan erittäin tarkkaa paikkatietoa. Mittaus toteutetaan laitteistolla, jossa yksi mittausyksikkö on tarkasti tunnetulla pisteellä. Tämän pisteen avulla tehdään mittauksia lähiympäristössä muutaman kilometrin säteellä. Mittauksiin tarvitaan vähintään viiden satelliitin tiedot ja noin minuutin kestävä havaintoaika. RTK-GPS-menetelmän tarkkuus on noin pari senttimetriä tukiaseman suhteen. (Rainio 2003, s. 11) Menetelmän avulla voidaan tehdä mittauksia muutaman kilometrin säteellä. Etäisyyden kasvaessa paikannustarkkuus heikkenee. Suositeltava etäisyys tarkkuuden säilyttämiseksi on alle kuusi kilometriä. GPS-laite tarvitsee RTK-GPS-paikannukseen lisälaitteita, jotka ovat taskukokoisia GPS-laitteita huomattavasti suurempia ja kalliimpia. Koska RTK-GPS-paikannus vaatii ennalta määritettyjen mittauspisteiden läheisyydessä pysyttelemistä ja pitkää havaintoaikaa, se ei sovellu vapaasti liikkuvien kohteiden paikantamiseen. (Potinkara 2004, s. 41)

GPS on tällä hetkellä vallitseva satelliittipaikannusjärjestelmä, jota voidaan hyödyntää niin sotilaskäytössä kuin siviili- ja ammattikäytössäkin. Sotilaskäytössä GPS-järjestelmää on hyödynnetty muun muassa navigoinnissa ja paikanmäärityksessä, suurten panssarijoukkojen ja huoltoyksiköiden koordinoinnissa, erilaisten asejärjestelmien kohdistuksessa sekä yleisenä taktisen suunnittelun välineenä. Siviili- ja ammattikäytössä GPS-järjestelmää on hyödynnetty erityisesti karttasovelluksissa, reittisuunnittelussa ja paikanmäärityksessä. Esimerkiksi veneilijät, autoilijat ja retkeilijät ovat jo vuosia voineet hyödyntää GPS-järjestelmää osana matkojensa suunnittelua ja toteutusta. Logistii-

kassa GPS-satelliittipaikannusjärjestelmä on käytännössä ainoa reaaliaikaista paikkatietoa tarjoava paikannusmenetelmä. GPS-paikannusta käytetään logistiikassa pääasiassa navigoinnin ja reitin suunnittelun apuvälineenä sekä tavaratoimitusten reaaliaikaisessa seurannassa. Toistaiseksi GPS-järjestelmän kaikkea potentiaalia ei kuitenkaan ole täysin hyödynnetty logistiikassa.

3.1.2 GLONASS

GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema, Global Navigation Satellite System) on Neuvostoliiton kehittämä ja nykyään Venäjän hallitsema maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. (Airos et al. 2007, s. 26) GLONASS-järjestelmän kehittäminen aloitettiin jo 1980-luvulla, mutta Neuvostoliiton hajottua järjestelmä rapistui satelliittien päätyessä elinkaarensa päähän, eikä uusia satelliitteja saatu vanhojen tilalle rahoitusvaikeuksien takia. (Glonass.it 2009) Venäjä alkoi jälleen panostaa järjestelmän kehittämiseen ja rakentamiseen 2000-luvulla. Vuoden 2009 alussa järjestelmään kuului 20 satelliittia, joista 16 oli täydessä toiminnassa. Koko Venäjän alueen kattamiseksi tarvitaan 18 satelliittia ja koko maapallon kattamiseksi 24 satelliittia. Venäjän tavoitteena on kasvattaa satelliittien määrä täyteen määrään (30 satelliittia sisältäen varasatelliitit) vuoteen 2011 mennessä. (Clark 2008)

GLONASS oli GPS:n tapaan alun perin sotilaskäyttöön tarkoitettu paikannusjärjestelmä, joka oli Neuvostoliiton vastaus Yhdysvaltojen kehittämälle GPS-järjestelmälle kylmän sodan aikaan. GLONASS-järjestelmän kehittämisen tavoitteet olivat hyvin pitkälti GPS:n kaltaiset: tarkoituksena oli luoda paikannusjärjestelmä, jonka avulla saavutettaisiin aiempaa tarkempi paikannustarkkuus asejärjestelmiä silmällä pitäen. GLONASS-järjestelmän toteutus on niin ikään hyvin samankaltainen GPS-järjestelmän kanssa, jopa niin samankaltainen, että Yhdysvalloissa GPS-järjestelmää koskevia tietoja on epäilty vuotaneen neuvostoliittolaisille. GPS-järjestelmää läheisesti vastaavan toteutustapansa vuoksi GLONASS-järjestelmän tarkkuus on ainakin periaatteessa samaa suuruusluokkaa GPS-järjestelmän kanssa. GLONASS-järjestelmän nimellinen tarkkuus on 57–70 metriä (99,7 % todennäköisyys) vaakatasossa ja 70 m (99,7 %) pystytasossa. Saavutettava ajan tarkkuus on noin 1 µs. Pitkäaikaisten käyttökokemusten puuttumisen takia GLONASS-järjestelmän todellisesta tarkkuudesta ei ole vielä kovin kattavaa kuvaa. Käytännön mittausten perusteella paikannustarkkuuden on arvioitu olevan nimellistä tarkkuutta selvästi parempi. GLONASS-paikannuksen sisäinen tarkkuus on kuitenkin vielä tällä hetkellä selvästi GPS-paikannusta huonompi. Satelliittien vähäisen lukumäärän lisäksi GLONASS-paikannusta on vaikeuttanut järjestelmässä melko usein esiintyvät satunnaiset toimintahäiriöt. (Airos et al. 2007, s. 26–27)

GLONASS-järjestelmä koostuu GPS-järjestelmän tapaan kolmesta eri segmentistä, jotka ovat avaruus-, hallinta- ja käyttäjäsegmentti. GLONASS-järjestelmän *avaruussegmentti* koostuu 24 satelliitista, jotka kiertävät maapalloa kolmella eri kiertoradalla 120 asteen välein noin 19 100 kilometrin korkeudessa merenpinnasta. Yhden satelliitin kiertoaika on 11 tuntia 15 minuuttia. GLONASS-järjestelmän noin 65 asteen inklinaatiokulman ansiosta satelliittigeometria ja paikannustarkkuus ovat napa-alueilla keskimäärin parempia kuin GPS-järjestelmässä. Satelliittien konstellaatio eli tähtikuvio on opti-

moitu siten, että järjestelmän käytettävyys on parhaimmillaan nimenomaan Venäjän alueella. GLONASS-vastaanotin tarvitsee muiden paikannusjärjestelmien tapaan vähintään neljältä satelliitilta signaalin. Suurin ero GLONASS- ja GPS-järjestelmien välillä on satelliittien lähettämissä radiosignaaleissa. GLONASS-järjestelmässä signaali lähetetään GPS-järjestelmän tavoin kahdella eri taajuudella, mutta GPS-järjestelmästä poiketen jokaisella GLONASS-satelliitilla on tunnistettavuuden vuoksi oma radiotaajuutensa. GLONASS-järjestelmän satelliitit lähettävät GPS-järjestelmän C/A- ja P-koodeja vastaavia koodeja, SP- (Standard Precision) ja HP-koodia (High Precision). SP-koodi on tarkoitettu avoimeen käyttöön, eikä sen tarkkuutta ole GPS-järjestelmästä poiketen koskaan tahallisesti heikennetty. HP-koodi on puolestaan tarkoitettu sotilaskäyttöön, mutta sen signaalia ei ole GPS-järjestelmästä poiketen erikseen salattu. (Airos et al. 2007, s. 26–27; Miettinen 2006, s. 25–27; Miettinen 1999, s. 47–48)

GLONASS-järjestelmän *hallintasegmentti* koostuu ohjauskeskuksesta sekä neljästä valvonta- ja ohjausasemasta. Kaikki asemat sijaitsevat Venäjän alueella, mikä osittain rajoittaa satelliittien toiminnan reaaliaikaista seurantaa sekä erityisesti toimintahäiriöiden havaitsemista ja niihin reagointia. GLONASS-järjestelmän *käyttäjäsegmentti* on lähes täysin vastaavanlainen kuin GPS-järjestelmässä koostuen varsinaisista järjestelmän käyttäjistä ja paikannusvastaanottimista. (Airos et al. 2007, s. 27)

GLONASS-järjestelmän paikannustarkkuus oli alun perin rajoitettu 30 metriin, mutta vuoden 2007 alussa Venäjä ilmoitti poistavansa järjestelmästä tarkkuusrajoitukset ja olevansa kiinnostunut järjestelmän kaupallisesta käytöstä. GLONASS-järjestelmän kaupallistamista vaikeuttaa GPS:n vahva asema kuluttajamarkkinoilla, minkä takia laitevalmistajien ja kuluttajien houkutteleminen GLONASS-järjestelmän käyttäjiksi on haastavaa. GPS- ja GLONASS-vastaanottimet eivät ole keskenään yhteensopivia, mutta yhdistelmävastaanottimia on saatavilla. Yhdistelmävastaanottimien avulla käytettävissä olevien satelliittien lukumäärä kasvaa ja peitto etenkin pohjoiskalotin alueella paranee. Venäjän tavoitteena on rakentaa GLONASS-järjestelmästä Yhdysvaltojen kehittämää GPS-järjestelmää parempi ja halvempi satelliittipaikannusjärjestelmä ja sitä kautta pyrkiä valloittamaan markkinaosuuksia GPS-järjestelmältä. GLONASS-järjestelmän ylläpidon ongelmana on ollut satelliittien alhainen elinaika (jopa alle 5 vuotta). GLONASS-järjestelmän tulevaisuuden kannalta onkin erityisen tärkeää pystyä kasvattamaan satelliittien keskimääräistä elinaikaa. Uusien GLONASS-järjestelmän satelliittien laskennalliseksi elinajaksi on ilmoitettu 7 vuotta (vrt. GPS-järjestelmässä yli 10 vuotta). Samaan aikaan kun GLONASS-järjestelmän satelliittien lukumäärää ja niiden suorituskykyä pyritään kasvattamaan, järjestelmän paikannustarkkuutta on tavoitteena parantaa vastaamaan GPS-järjestelmän nykytarkkuutta vuoteen 2011 mennessä. (Airos et al. 2007, s. 27, 29; Schönberg 2007)

3.1.3 Galileo

Nykyiset GPS- ja GLONASS-satelliittipaikannusjärjestelmät ovat Euroopan näkökulmasta ongelmallisia erityisesti siksi, että nämä järjestelmät on kehitetty ensisijaisesti sotilaskäyttöön, eikä niiden toiminnasta ja jatkuvuudesta siviilikäytössä ole täyttä varmuutta. Järjestelmien hallinnasta vastaavat sotilasviranomaiset, ja järjestelmiin liittyvät

päätökset (esim. paikannuspalvelujen saatavuus) tehdään Euroopan ulkopuolisesta näkökulmasta. Näiden syiden vuoksi Euroopassa on alettu kehittää omaa riippumatonta satelliittipaikannusjärjestelmää, jonka tarkoituksena on palvella ennen kaikkea siviilielämän tarpeita. Tämä eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä kantaa nimeä Galileo. (Airos et al. 2007, s. 32; European Space Agency 2005)

Galileo on Euroopan unionin ja Euroopan avaruusjärjestön (ESA) yhteinen hanke eurooppalaisen satelliittipaikannusjärjestelmän kehittämiseksi. Järjestelmä on nimetty italialaisen tieteilijän Galileo Galilein mukaan. Galileo-paikannusjärjestelmän esisuunnittelu aloitettiin vuonna 1994, jolloin Euroopan avaruusjärjestö ja Euroopan komissio käynnistivät EGNOS-nimisen projektin. EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) on satelliittipohjainen tarkennusjärjestelmä, joka parantaa vaikutusalueellaan varsinaisen satelliittipaikannusjärjestelmän tarkkuutta. EGNOS tukee GPS- ja GLONASS-järjestelmiä sekä tulevaisuudessa myös Galileo-järjestelmää. (Airos et al. 2007, s. 32; European Space Agency 2007)

Galileo-paikannusjärjestelmän kehittäminen aloitettiin virallisesti vuonna 1999, kun EU:n liikennekomissio suositteli eurooppalaisen satelliittipaikannusjärjestelmän kehittämistä. Galileo-järjestelmän suunnittelussa on hyödynnetty GPS-järjestelmästä saatuja kokemuksia. Galileo muistuttaakin toteutukseltaan hyvin paljon GPS-järjestelmää. Galileo-hankkeen yhtenä lähtökohtana oli pyrkiä kehittämään satelliittipaikannusjärjestelmä, jossa eri satelliittipaikannusjärjestelmät (GLONASS, GPS ja Galileo) voisivat täydentää toisiaan ja sen avulla voitaisiin saavuttaa parempi paikannuspalvelun saatavuus ja tarkkuus. Tämän takia Galileo on yhteensopiva muiden satelliittipaikannusjärjestelmien kanssa. Galileo-hankkeen yhtenä tavoitteena on parantaa paikannuspalvelujen saatavuutta Euroopassa erityisesti siviilikäyttäjien tarpeet huomioon ottaen. Galileo-järjestelmä palvelee hyvin myös pohjoisia leveysasteita. Galileo-järjestelmän kehittämisessä on lisäksi kiinnitetty erityistä huomiota turvallisuusasioihin, kuten infrastruktuurin suojelemiseen ja signaalien väärinkäytön estämiseen. Galileo-järjestelmä pystyy myös varoittamaan käyttäjiään toimintahäiriöistä ja paikannustarkkuuden heikentymisestä. Ensimmäinen Galileo-järjestelmän satelliitti laukaistiin avaruuteen vuonna 2005. Alkuperäisen suunnitelman mukaan Galileo-järjestelmä oli tarkoitus saada operatiiviseen käyttöön vuoteen 2008 mennessä. Hankkeen aikataulua on kuitenkin jouduttu muuttamaan muun muassa rahoitusvaikeuksien takia. Uudempien arvioiden mukaan Galileo-järjestelmä on tarkoitus saada operatiiviseen käyttöön vuoteen 2013 mennessä (BBC News 2007). (Airos et al. 2007, s. 33)

Galileo-järjestelmän *avaruussegmentin* on tarkoitus muodostua 30 satelliitista, joista varsinaisessa käytössä on jatkuvasti 27 ja varasatelliitteina kolme. Satelliitit laukaistaan avaruuteen kolmelle ympyrän muotoiselle keskikorkealle kiertoradalla noin 23 600 kilometrin etäisyydelle maapallon pinnasta. Jokaisella kiertoradalla on yhdeksän satelliittia ja yksi varasatelliitti. Satelliittien keskimääräisen elinajan on arvioitu olevan yli 12 vuotta. Satelliittien kiertoradat ovat 56 asteen kulmassa päiväntasaajaan nähden, mikä takaa hyvän (GPS-järjestelmää paremman) peittoalueen myös pohjoisille leveysasteille. Galileo-järjestelmän satelliittien kiertoradat on suunniteltu niin, että satelliittien lähettämä paikannussignaali on vastaanotettavissa muita satelliittijärjestelmiä paremmin myös kaupunkien keskustoissa korkeiden rakennusten lähettyvillä. Maan vaihtelevien

muotojen ei myöskään pitäisi aiheuttaa katvealueita. (Airos et al. 2007, s. 34; Miettinen 2006, s. 183)

Galileo-järjestelmän *hallintasegmenttiin* kuuluu kaksi Euroopassa (Saksassa ja Italiassa) sijaitsevaa keskusta, joiden tehtävänä on tarkkailla ja ohjata satelliitteja. Kahden keskuksen lisäksi ympäri maailmaa on sijoitettu 30 valvonta-asemaa, jotka seuraavat satelliittien tilaa, kuntoa, ratoja ja kelloja. Valvonta-asemien havaintojen perusteella keskukset laskevat tarvittavat korjaukset lähetettäviksi kullekin satelliitille. (Airos et al. 2007, s. 34) Galileo-järjestelmän *käyttäjäsegmentti* käsittää GPS- ja GLONASS-järjestelmien tapaan varsinaiset järjestelmän käyttäjät ja satelliittipaikantimet antenneineen.

Galileo-järjestelmän on tarkoitus tuottaa GPS-järjestelmää enemmän paikannuspalveluja. Galileo-järjestelmä on jaettu neljään eri paikannuspalvelutasoon, joita ovat avoin palvelu, kaupallinen palvelu, julkisesti säännelty palvelu ja ihmishengen turvaava palvelu. Seuraavassa on esitetty kunkin palvelutason keskeisiä ominaisuuksia (Airos et al. 2007, s. 34–36; Miettinen 2006, s. 183):

- *Avoin palvelu (Open Service, OS)* tulee olemaan maksuton palvelu, jota voi käyttää kuka tahansa ja missä tahansa. Palvelulla ei kuitenkaan ole laatutakuuta eli sitä ei suojata häiriöiltä tai toimintakatkoksilta. Palvelun tarkkuuden on kaavailtu olevan yhtä taajuuskaistaa käytettäessä vaakasuunnassa alle 15 metriä ja pystysuunnassa alle 35 metriä (vastaa kutakuinkin nykyisten siviilikäyttöön tarkoitettujen GPS-vastaanottimien tasoa) ja kahta taajuuskaistaa käytettäessä vaakasuunnassa alle 4 metriä ja pystysuunnassa alle 8 metriä. OS-palvelutason sovelluksia ovat muun muassa autonavigointi, laitteiden synkronointi ja matkapuhelinpalvelut.

- *Kaupallinen palvelu (Commercial Service, CS)* tulee olemaan ammattikäyttöön tarkoitettu palvelutaso tarjoten avoimeen palvelutasoon verrattuna paremman suorituskyvyn ja varmuusasteen. Kaupallisessa palvelutasossa käytettävät signaalit ovat avoimen palvelutason signaaleja, joita on vahvistettu kahdella kaupallista palvelua varten varatulla signaalilla. CS-palvelutason paikannustarkkuuden on arvioitu olevan noin 0,1–10 metriä. Palvelujen tarjonnasta ja laadusta päättävät viime kädessä niitä tarjoavat kaupalliset toimijat.

- *Julkisesti säännellyn palvelun (Public Regulated Service, PRS)* on suunniteltu olevan ainoastaan turvallisuusviranomaisten käyttöön tarkoitettu palvelutaso, jonka käyttö olisi valvottua ja luvanvaraista. PRS-palvelutason paikannustarkkuus on noin 1–6 metriä, ja paikannuksella on laatutakuu. Palvelutason toteutuksessa on kiinnitetty erityistä huomiota häirinnältä suojautumiseen.

- *Ihmishengen turvaava palvelu (Safety of Life Service, SoL)* on avoimeen palvelutasoon liitetty lisäpalvelu, joka on tarkoitettu erittäin suurta varmuutta ja turvallisuutta vaativiin tilanteisiin. Palvelu sopii käytettäväksi esimerkiksi ilmailussa ja merenkulussa, joissa ihmishenkien suojaaminen on erityisen tärkeää. Palvelua tarjotaan avoimesti ja se on tarvittaessa käyttäjän aktivoitavissa.

Galileo-järjestelmän sovellusmahdollisuudet ovat GPS-järjestelmän tapaan hyvin laaja-alaiset. Taulukkoon 3.2 on koottu joitakin Euroopan komission määrittelemiä Galileo-järjestelmän mahdollisia sovellusalueita ja esimerkkejä kustakin sovellusalueesta.

Taulukko 1.2. Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän sovellusalueita ja -esimerkkejä. (Commission of the European Communities 2006; European Commission 2009)

Sovellusalue	Sovellusesimerkkejä
Eläinkuljetukset	Eläinkuljetusten ja eläinten seuranta ja jäljitys
Energiateollisuus	Kaasu- ja öljykuljetusten hallinta (turvallisuustekijät), sähkönjakeluverkkojen kehittäminen, hallinta ja tarkkailu
Etsintä- ja pelastustoiminta	Etsintä- ja pelastustoiminnan tehostaminen, navigointi, paikannus
Ilmaliikenne	Etsintä- ja pelastuspalvelut, lentokenttien optimointi (mm. aikataulut ja fyysinen tila), lentokoneiden hallinta ja tarkkailu, navigointi, siviilien ilmailuharrastukset
Maantieliikenne	Automaattiset tullijärjestelmät, navigointi, turvallisuussovellukset
Maanviljely, palstojen ja kiinteistöjen mittaus	Maanmittaus, karttojen tekeminen, palstoitus, maksusuoritusten seuranta, viljelyn, maaperän ja veden optimointi, ravinto- ja torjunta-aineiden vähentäminen
Rautatieliikenne	Energiankulutuksen optimointi, junien hallinta- ja paikannusjärjestelmät, informaatiojärjestelmät matkustajille, rahdinseurantajärjestelmät
Siviilien suojelu, hätätilanteiden hallinta ja humanitaarinen apu	Ihmisten auttaminen hyökyaaltojen, maanjäristysten, tulvien ja muiden luonnonilmiöiden yhteydessä
Vaaralliset aineet	Vaarallisten aineiden seuranta ja jäljitys, varoitukset ja hälytykset, hätätilannetoiminta
Vesiliikenne	Alusten hallinta- ja seurantajärjestelmät, etsintä- ja pelastuspalvelut, kalastus (mm. pyydysten paikallistaminen), navigointi, rahdin hallinta ja valvonta, satamatoimintojen suunnittelu ja automatisointi
Muita sovellusalueita	Logistiikka, lääketiede, poliisitoiminta, rajanvalvonta, tutkimustoiminta, yleinen järjestyksen hallinta, ympäristön valvonta

Vaikka Galileo-paikannusjärjestelmä on puhtaasti eurooppalainen hanke, sen tarkoituksena ei ole kilpailla yhdysvaltalaisen GPS-paikannusjärjestelmän kanssa. Yhdysvalloissa Galileo-hankkeeseen suhtauduttiin kuitenkin aluksi varsin nihkeästi. Galileo-järjestelmän pelättiin kilpailullisen näkökulman lisäksi tuovan turvallisuusuhkia GPS-järjestelmään. Yhdysvaltojen asenne Galileo-järjestelmää kohtaan on kuitenkin viime aikoina lientynyt, minkä myötä Euroopan unioni ja Yhdysvallat ovat pystyneet sopimaan yhteistyöstä. Yhdysvallat on suostunut nykyaikaistamaan satelliittijärjestelmänsä yhteensopivaksi Galileo-järjestelmän kanssa. Tämä on edellyttänyt Yhdysvaltoja ottamaan satelliittijärjestelmässään käyttöön uudempaa, mutta samalla myös jossakin määrin riskialttiimpaa tekniikkaa. Euroopan unionin ja Yhdysvaltojen välisen sopimuksen ansiosta markkinoille on jo tullut niin sanottuja hybridipaikannuslaitteita, jotka pystyvät hyödyntämään sekä GPS- että Galileo-järjestelmän satelliitteja tuottaen tarkemman ja varmatoimisemman paikannuksen. (Miettinen 2006, s. 25–27)

3.1.4 Beidou

Beidou on Kiinan kansantasavallan hanke riippumattoman satelliittipaikannusjärjestelmän kehittämiseksi. Beidou-järjestelmä on nimetty Otava-tähtikuvion (kiinaksi Beidou eli Pohjoinen vakka) mukaan. Beidou-satelliitteja kutsutaan englanninkielessä BD-satelliiteiksi, joka on lyhenne Otavan englanninkielisestä nimestä Big Dipper. Beidou-järjestelmän täydellisestä konstellaatiosta käytetään nimitystä Beidou 2 tai Compass. Beidou-järjestelmä sai alkunsa vuonna 1983, kun Kiinassa syntyi ajatus kahden geosta-

tionäärisen satelliitin muodostaman alueellisen paikannusjärjestelmän kehittämisestä. Konseptia testattiin onnistuneesti vuonna 1989. Testi osoitti järjestelmän olevan vertailukelpoinen Yhdysvaltojen kehittämän GPS-järjestelmän kanssa. Beidou-hanke käynnistettiin virallisesti vuonna 1993. (Encyclopedia Astronautica 2008)

Beidou-järjestelmän satelliitit on nimetty Beidou 1:ksi ja Beidou 2:ksi käytetyn tekniikan mukaan. *Beidou 1* -järjestelmä muodostuu neljästä satelliitista, joista kaksi on operatiivisessa käytössä ja kaksi varalla. Beidou 1 -järjestelmän satelliitit poikkeavat muista satelliiteista siten, että ne kiertävät geostationäärista rataa (etäisyys maasta noin 36 000 km) GPS-, GLONASS- ja Galileo-järjestelmien käyttämän lähempänä maata sijaitsevan keskimaankehän radan sijaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Beidou 1 -satelliiteilla toteutettu järjestelmä saataisiin kattamaan kaikki alueet maapallolla ilman suurta satelliittimäärää. Kääntöpuolena tässä on se, ettei satelliittipaikannuksen kattavuus yllä kilpailijoidensa tasolle, koska Beidou 1 -satelliittien käyttämästä GEO-kiertoradasta johtuen maapallon pohjois- ja eteläosia jää paikannuksen ulkopuolelle. (Encyclopedia Astronautica 2008)

Tulevaisuuden *Beidou 2* -järjestelmä (tunnetaan myös nimellä Compass) tulee muodostumaan 35 satelliitista, joista 30 tulee sijaitsemaan keskimaankehän radalla (MEO-rata) ja 5 geostationaarisella radalla (GEO-rata). Järjestelmän on tarkoitus kattaa kaikki alueet maapallolla. Beidou 2 -järjestelmässä tulee olemaan kaksi eri palvelutasoa, joita ovat avoin palvelu (Open Service) ja auktorisoitu palvelu (Authorized Service). *Avoimella palvelutasolla* paikannuksen tarkkuus on noin 10 metriä, nopeuden tarkkuus 0,2 m/s ja ajan tarkkuus noin 50 nanosekuntia. *Auktorisoitu palvelutaso* tarjoaa parempaa varmuutta ja turvallisuutta paikannukseen valtuutetuille käyttäjille. Beidou 2 -järjestelmän kaksi ensimmäistä satelliittia laukaistiin avaruuteen vuonna 2007. Kiinan tavoitteena on saada Beidou 2 -järjestelmä valmiiksi vuosien 2015 ja 2020 välisenä aikana. Järjestelmän on tarkoitus olla yhteensopiva GPS-, GLONASS- ja Galileo-vastaanottimien kanssa. (Encyclopedia Astronautica 2008; INSIDE GNSS 2009)

3.2 Verkkopaikannus

Verkkopaikannus perustuu matkapuhelinverkkoihin (esim. GSM-verkko), joiden infrastruktuuria voidaan hyödyntää paikannuksessa, vaikka niitä ei alun perin ole tarkoitettukaan tähän tarkoitukseen. Matkapuhelinverkossa päätelaite (esim. matkapuhelin) kuuluu aina jonkin solun ja tukiaseman piiriin, mikä mahdollistaa päätelaitteen sijainnin selvittämisen karkealla tasolla. Kehittyneemmät verkkopaikannusmenetelmät perustuvat matkapuhelinverkon signaalien kulkuajan ja suunnan mittaukseen tukiasemalla tai kulkuajan mittaukseen päätelaitteessa. (Kummala et al. 2001, s. 19)

Verkkopaikannuksen tärkein etu satelliittipaikannukseen verrattuna on matkapuhelinten suuri levinneisyys. Matkapuhelin on jo melkein jokaisen ihmisen käytettävissä, minkä ansiosta paikannuspalvelun käyttöönotto ei vaadi käyttäjältä suurta taloudellista panostusta. Lisäksi paikannuspalvelu on matkapuhelinverkoissa ikään kuin sivutuote (järjestelmää ei ole rakennettu paikannusta varten), joten paikannuspalvelun tarjoaminen matkapuhelinverkoissa ei ole myöskään vaatinut alun perin suuria perustamiskustannuksia.

(Arokoski et al. 2002, s. 202; Perälä 2007, s. 30) Verkkopaikannuksen suurin heikkous liittyy puolestaan kapasiteetin rajallisuuteen, koska paikannuspalvelun edellyttämä matkapuhelimen jatkuva seuranta vaatii merkittävästi resursseja. Jatkuvan kaupallisen paikannuspalvelun toteuttaminen verkkopaikannusmenetelmillä on käytännössä mahdotonta, joten verkkopaikannusta voidaan hyödyntää lähinnä yksittäisiä paikkapyyntöjä toteuttavana menetelmänä. (Perälä 2007, s. 30) Maininnan arvoista on myös se, että verkkopaikannus tapahtuu operaattoriverkossa eli paikannusmenetelmä on operaattorikohtainen. Operaattorit ovatkin ratkaisevassa asemassa verkkopaikannuspalvelujen kehittymisen kannalta. Palvelujen toteutus on operaattoreiden kiinnostuksen lisäksi riippuvainen verkkoihin tehtävien investointien suuruudesta, mikä voi osaltaan hidastaa verkkopaikannuspalvelujen kehitystä. (Kummala et al. 2001, s. 19)

Verkkopaikannus voi olla joko kokonaan verkkoperusteista, päätelaitteen avustamaa verkkoperusteista tai verkon avustamaa laiteperusteista paikannusta. Kokonaan *verkkoperusteisissa paikannusmenetelmissä* verkko suorittaa kaiken paikannustoiminnan mittauksineen ja paikannuslaskelmineen. Päätelaite ei ole paikannuksessa aktiivisessa roolissa eikä päätelaitteeseen näin ollen tarvitse tehdä muutoksia. Verkko saattaa kuitenkin tarvita joitakin muutoksia ja/tai lisälaitteita paikannukseen vaadittavien toimenpiteiden suorittamiseksi. *Päätelaiteavusteisessa verkkoperusteisessa paikannuksessa* päätelaitteella on osaksi aktiivinen toimenkuva. Päätelaite voi esimerkiksi osallistua mittauksiin tai suorittaa muita paikannukseen liittyviä tehtäviä. Suurin osa paikannuksessa tarvittavasta toiminnasta tapahtuu kuitenkin edelleen verkossa. *Päätelaiteperusteisessa verkkoavusteisessa paikannuksessa* verkko avustaa päätelaitetta antamalla tietoja sen käyttöön. Varsinainen paikannus suoritetaan itse päätelaitteessa. (Kummala et al. 2001, s. 20)

Verkkopaikannuksella ei pystytä saavuttamaan niin hyvää paikannustarkkuutta kuin toisella laaja-alaiseen ulkotilapaikannukseen soveltuvalla paikannusmenetelmällä, satelliittipaikannuksella. Verkkopaikannuksen tarkkuus on parhaimmillaankin ilman muita aputekniikoita noin 50 metrin luokkaa. Käytetyn menetelmän/tekniikan lisäksi paikannustarkkuuteen vaikuttavat muun muassa signaalin heijastuminen, vaimentuminen tai muunlainen vääristyminen signaalitiellä sekä solukoko paikannettavan päätelaitteen sijaintialueella. Paikannustarkkuus on usein parempi kaupunkialueilla kuin maaseudulla, koska kaupunkialueilla tukiasemia on yleensä rakennettu tiheämmin ja täten myös solukoot ovat siellä pienempiä. Toisaalta kaupunkialueiden ongelmana on monesti signaalitiellä olevat erilaiset esteet ja muut häiriötekijät (esim. rakennukset), jotka voivat aiheuttaa paikannukseen suuriakin virheitä.

Verkkopaikannuksessa käytetään useita erilaisia tekniikoita. Matkapuhelinverkot toimivat eri taajuudella ja tekniikalla Amerikassa, Euroopassa ja Japanissa, minkä seurauksena myös verkkopaikannustekniikoissa on eroja eri maanosissa (Perälä 2007, s. 30). Verkkopaikannusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti seuraaviin ryhmiin (mukaillen Rainio 2003, s. 5):

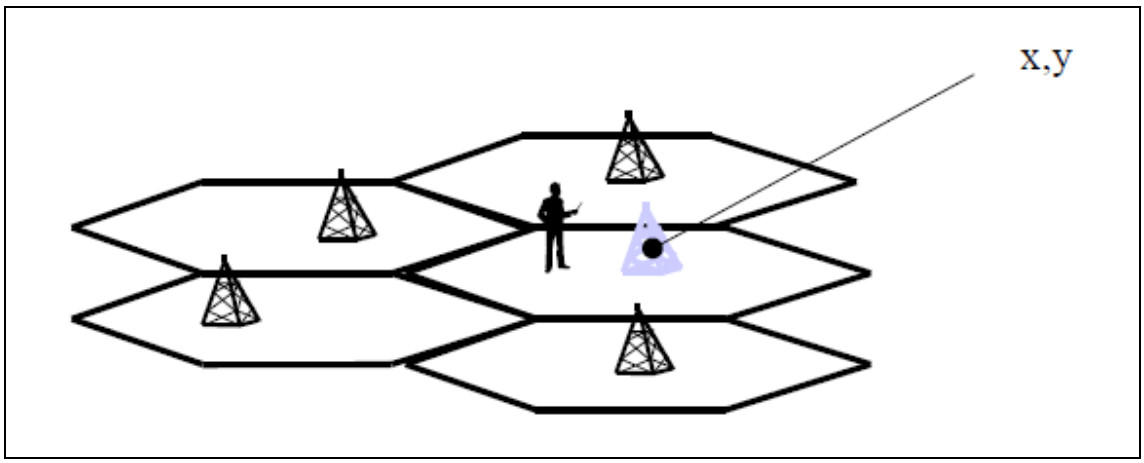
- solupaikannus (Cell ID ja Cell ID + TA)
- signaalin voimakkuuteen perustuva paikannus (Rx-level, ts. Signal Level)
- signaalin saapumiskulmaan perustuva paikannus (AOA, ts. DOA)

- signaalin saapumisaikaan perustuva paikannus (TOA, TDOA, E-OTD, AFLT ja OTDOA-IPDL)
- korrelaatiopaikannus.

Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu edellä lueteltujen verkkopaikannusmenetelmien toimintaperiaatteita ja muita keskeisiä ominaisuuksia. Kuvausten tarkoituksena on antaa yleiskuva kunkin menetelmän toiminnasta eikä menetelmien teknistä puolta tämän vuoksi tarkastella kovin syvällisesti. Luvussa 4.2.2 on vertailtu verkkopaikannusmenetelmiä ja pohdittu niiden soveltuvuutta satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurantaan.

3.2.1 Solupaikannus

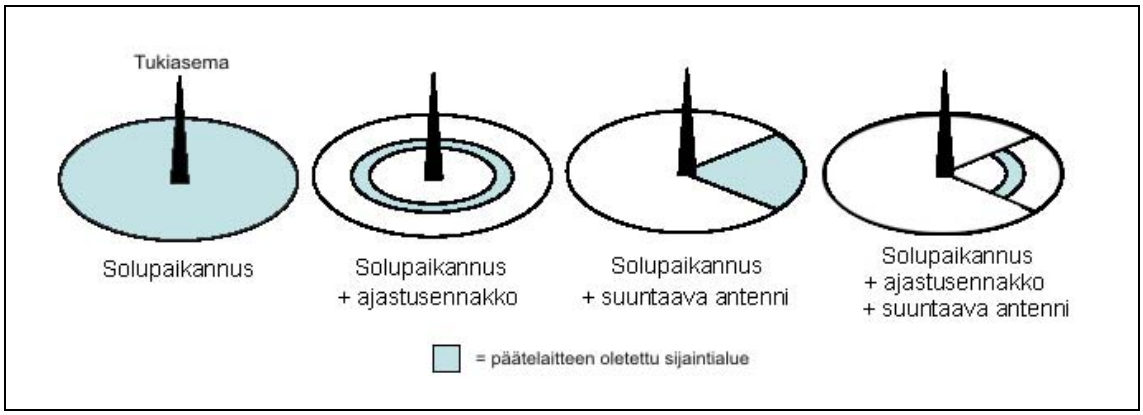
Solupaikannus (Cell Identification, Cell ID) on yksinkertaisin matkapuhelinverkon ominaisuuksiin perustuva paikannusmenetelmä. Solupaikannus tarkoittaa matkapuhelimen paikantamista tukiaseman palvelualueen mukaan. Matkapuhelinverkko perustuu siis siihen, että verkon peittoalue on jaettu tukiasemista muodostuviin soluihin. Jokaisella solulla on tieto omasta sijainnistaan ja koostaan. Matkapuhelimen muodostaessa yhteyden tukiasemaan, toisin sanoen tukiaseman muodostamaan soluun, saadaan tieto siitä, missä solussa matkapuhelin sijaitsee. Määrittämällä palveleva solu voidaan kyseisen tukiaseman koordinaatteja käyttää karkeana arviona päätelaitteen sijainnista (kuva 3.7). Paikkatieto voidaan laskea monella eri tavalla, mutta jokainen paikka solun sisällä on yhtä todennäköinen. (Arokoski et al. 2002, s. 203–204; Kummala et al. 2001, s. 20–21)



Kuva 3.7. Solupaikannusmenetelmän toimintaperiaate. (Kummala et al. 2001, s. 21)

Solupaikannuksen etuna on, ettei paikannuspalvelu vaadi suuria muutoksia matkapuhelinverkkoihin ja sen järjestelmiin. Sijaintitiedon tuottamiseksi ei tarvita myöskään erillisiä laskelmia ja algoritmeja. Menetelmän rajoitteena on sen huono tarkkuus. Matkapuhelin voidaan paikantaa vain solun tarkkuudella. Solujen koko vaihtelee sadoista metreistä 35 kilometriin (solun maksimipituus). Etenkin kaupunkialueiden ulkopuolella solut ovat suuria. Lisäksi palveleva tukiasema ei välttämättä sijaitse lähimpänä päätelaitetta, mikä saattaa heikentää paikannustarkkuutta. (Arokoski et al. 2002, s. 203–204; Kummala et al. 2001, s. 20)

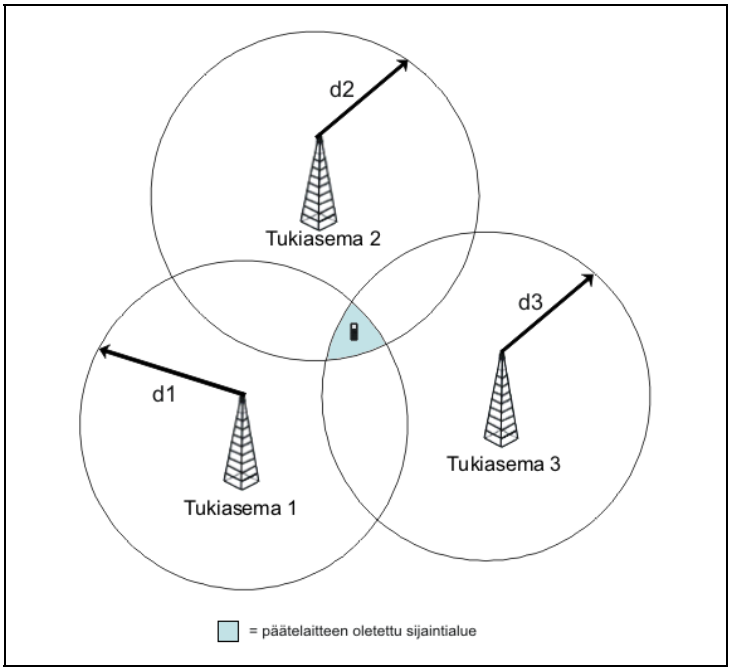
Solupaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä ajastusennakkoa (Time Advance, TA). Ajastusennakon avulla voidaan selvittää, kuinka kauan signaali käyttää aikaa matkapuhelimen ja tukiaseman välillä. Käytetyn ajan perusteella voidaan laskea matkapuhelimen etäisyys tukiasemasta. Yhdistämällä ajastusennakon avulla laskettu etäisyys solutietoon voidaan oletettu paikka rajata huomattavasti pienemmälle alueelle (kuva 3.8). Paikan laskenta perustuu siihen, että tiedetään tukiaseman koordinaatit, solun alku- ja loppukulma sekä ajastusennakon perusteella laskettu sisempi ja ulompi kehä. Näiden tietojen avulla voidaan määrittää alue, missä matkapuhelin todennäköisesti sijaitsee. Ajastusennakon avulla tukiaseman ja päätelaitteen etäisyys voidaan määrittää noin 550 metrin tarkkuudella. Suuntaavia antenneja käyttämällä paikannustarkkuutta voidaan yhä parantaa, jolloin päästään moniin käyttötarkoituksiin riittäviin paikannustarkkuuksiin. (Arokoski et al. 2002, s. 203–204; Hakolahti 2003, s. 11)



Kuva 3.8. Solupaikannuksen ja ajastusennakolla parannetun solupaikannuksen ero paikannustarkkuuden suhteen sekä suuntaavien antennien merkitys paikannusalueen kokoon. (Arokoski et al. 2002, s. 204; Hakolahti 2003, s. 11)

3.2.2 Signaalin voimakkuuteen perustuva paikannus

Päätelaitteen sijainti matkapuhelinverkossa on mahdollista määrittää signaalin voimakkuuden (Rx-level, ts. Signal level) perusteella. Signaalien voimakkuudet vastaavat karkeasti päätelaitteen ja tukiasemien välistä etäisyyttä. Arvio päätelaitteen ja tukiasemien välisestä etäisyydestä saadaan käyttämällä yksikertaista radioaaltojen etenemismallia. Päätelaitteen paikantaminen signaalin voimakkuuden perusteella edellyttää vähintään kolmen tukiaseman sijainnin tuntemista. Tällöin päätelaitteen sijainti on kuvan 3.9 mukaisesti kolmen tukiaseman muodostamien ympyröiden leikkauspisteessä. Kuvassa olevat merkinnät d1, d2 ja d3 kuvaavat ympyrän säteen pituista matkaa, joka on laskettu signaalin heikkenemisen perusteella. (Hakolahti 2003, s. 12)



Kuva 3.9. Signaalin voimakkuuteen perustuvan verkkopaikannusmenetelmän toimintaperiaate. (Hakolahti 2003, s. 12)

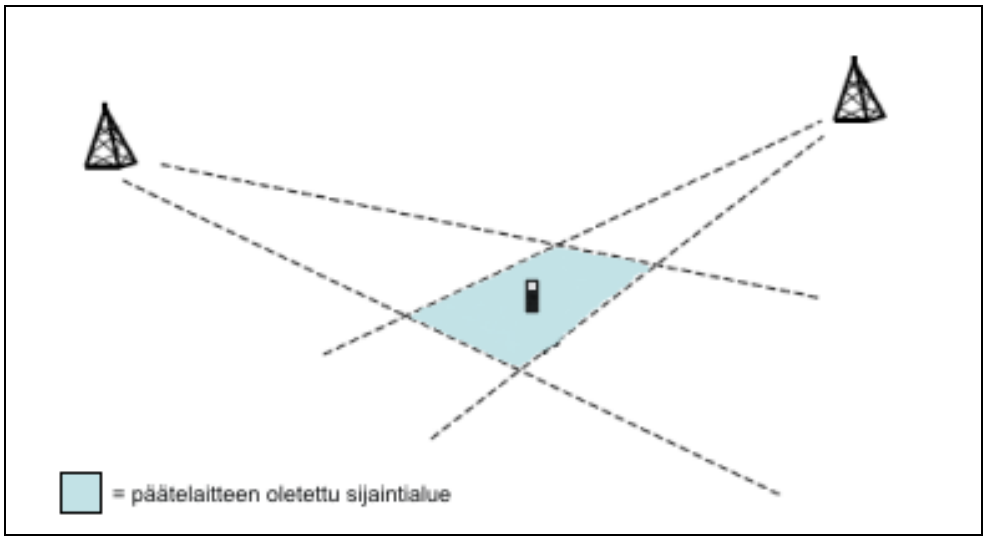
Päätelaitteiden ja tukiasemien lähettämät signaalit pääsevät vain harvoin etenemään esteittä. Käytännössä signaalin voimakkuus käyttäytyykin varsin monimutkaisesti signaalitiellä. Esimerkiksi monitieheijastus voi aiheuttaa kapeakaistaisen signaalin voimakkuuden vaihtelua jopa kymmenien desibelien verran vain aallonpituuden murto-osan matkalla. Paikan laskennassa käytetään apuna työkaluja, jotka mahdollistavat ympäristön muotojen ja esteiden mallintamisen. Signaalitiellä esiintyvistä esteitä johtuen myös tukiasemien muodostamat signaaliympyrät voivat muuttaa ympyräistä muotoaan. Lopullinen sijaintitieto määritellään ennustetun ja mitatun tuloksen yhteensopivuuden perusteella. (Hakolahti 2003, s. 12)

Signaalin voimakkuuden mittaamiseen perustuvan paikannusmenetelmän paikannustarkkuus on noin 150 metriä. Kaupunkialueilla menetelmän paikannustarkkuus on solupaikannuksen luokkaa, mutta maaseudulla signaalin voimakkuutta mittaamalla päästään solupaikannusta huomattavasti parempiin paikannustarkkuuksiin. Mittaustarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä mittaussarjoja ja mittaustulosten tasoitusta. Esimerkiksi matemaattiseen laskentaan perustuvan Kalman suodatuksen (Kalman Filtering) avulla keskimääräinen mittaustarkkuuden virhe on mahdollista saada vähennettyä 70 metrin luokkaan. (Hakolahti 2003, s. 12–13) Signaalin voimakkuuden mittaamiseen perustuvan paikannusmenetelmän yksi etu on, että GSM-järjestelmässä jokainen päätelaite mittaa automaattisesti signaalitason lähiympäristön tukiasemilta (Kummala et al. 2001, s. 21).

3.2.3 Signaalin saapumiskulmaan perustuva paikannus

Saapumiskulmapaikannus (Angle Of Arrival, AOA), toiselta nimeltään saapumissuuntapaikannus (Direction Of Arrival, DOA), perustuu nimensä mukaisesti signaalin saa-

pumiskulman/-suunnan mittaukseen. Mittaus tehdään tukiasemiin asennettujen suunta-antennien avulla. Matkapuhelimen sijainti voidaan selvittää kahdelta tai useammalta tukiasemalta saatujen signaalien saapumissuuntien avulla saapumiskulmajanojen risteämiskohdasta (kuva 3.10). Tekniikka vaatii tukiasemien välille koordinaatiota, minkä vuoksi järjestelmän kuormitus lisääntyy. Menetelmä ei kuitenkaan vaadi muutoksia päätelaitteisiin, vaan kaikki muutokset tapahtuvat verkossa. Laite- ja ohjelmistomuutosten takia saapumiskulman mittaukseen perustuva paikannusjärjestelmä on suhteellisen kallis rakentaa. Menetelmän edellyttämät suunta-antennit voivat myös olla kalliita. (Arokoski et al. 2002, s. 207)



Kuva 3.10. Saapumiskulmapaikannuksen toimintaperiaate. (Kummala et al. 2001, s. 23)

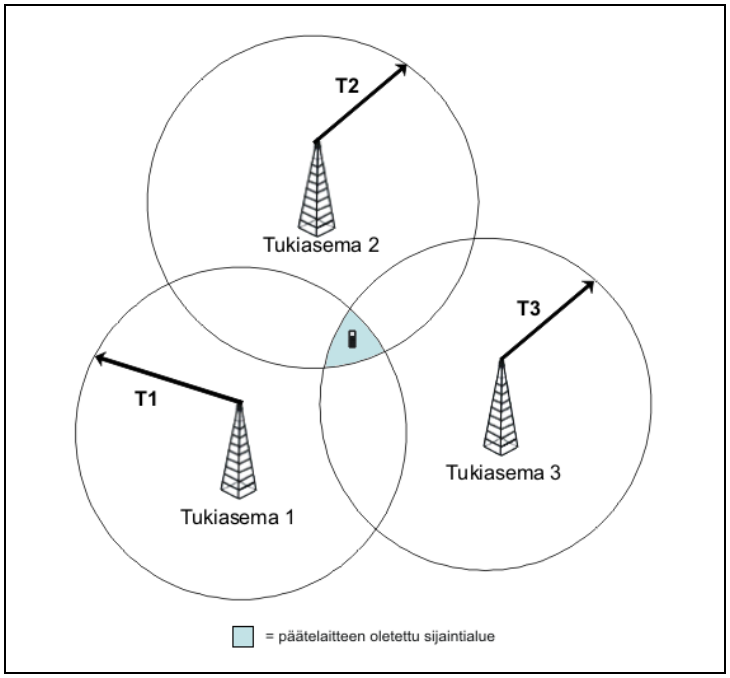
Saapumiskulmapaikannukseen perustuvalla järjestelmällä päästään hyvissä olosuhteissa tarkkoihin mittaustuloksiin. Menetelmä on kuitenkin hyvin herkkä virheille. Tulos on tarkka vain silloin, kun signaali tulee suoraan tukiasemalle. Signaali heijastuu usein siirtotiellä esimerkiksi rakennuksista, pilvistä tai tiheästä puustosta, minkä seurauksena mittaukseen tulee tavallisesti hyvinkin suuria virheitä. Mitä enemmän signaali heijastuu, vaimenee tai jollakin muulla tavalla vääristyy, sitä epätarkemmaksi paikannus tulee. Virhemarginaali kasvaa merkittävästi tukiaseman ja päätelaitteen välimatkan lisääntyessä. Suuremmilla etäisyyksillä pienikin virhe saapumiskulmassa saattaa siirtää mitattujen kulmien perusteella piirrettyjen janojen risteämiskohtaa aiheuttaen herkästi virheitä paikannukseen. (Arokoski et al. 2002, s. 207) Saapumiskulmapaikannuksen tarkkuus on tavallisesti noin 100–200 metrin luokkaa. Tukiasemien ja paikannettavan päätelaitteen välisellä etäisyydellä on oma vaikutuksensa paikannustarkkuuteen: mitä kauempana tukiasemasta paikannettava kohde on, sitä epätarkempaa on paikannus. (Potinkara 2004, s. 25)

Kaupunkiolosuhteet lukuisine signaalin kulkua rajoittavine rakennuksineen eivät anna kovin hyvää lähtökohtaa saapumiskulmapaikannukseen perustuvan järjestelmän hyödyntämiselle. Menetelmä sopiikin lähinnä esikaupunkialueille ja maaseudulle, kun saatavilla on ylipäätään vain kaksi tukiasemaa, jolloin aikaviivemittauksiin perustuvat algoritmit eivät toimi ollenkaan tai antavat huonoja tuloksia. Menetelmää voidaan käyttää myös jonkin toisen paikannusmenetelmän tukena sekä kolmannen sukupolven (3G)

matkapuhelinverkoissa, joissa saatetaan käyttää älykkäitä tukiasemia, joihin saapumiskulman mittauksessa tarvittava antennijärjestelmä on valmiiksi asennettuna. (Kummala et al. 2001, s. 22)

3.2.4 Signaalin saapumisaikaan perustuva paikannus

Saapumisaikapaikannuksen (Time Of Arrival, TOA ja Time Difference Of Arrival, TDOA) toimintaperiaate on samantapainen kuin satelliittipaikannuksessa. Saapumisaikapaikannus perustuu päätelaitteesta lähteneen signaalin saapumisajan mittaamisen matkapuhelinverkon eri paikoissa. Kahden tukiaseman vastaanottaman signaalin välisen aikaeron perusteella voidaan tukiasemien ympärille määrittää hyperbelit, joiden risteämäkohta määrittää päätelaitteen sijainnin (kuva 3.11). Yksiselitteisen paikka-arvion laskemiseen tarvitaan kolme hyperbeliä. (Arokoski et al. 2002, s. 208) Menetelmän tarkkuus on kaupunkioloissa noin 50–100 metriä ja esikaupunkialueilla noin 100 metriä. (Potinkara 2004, s. 25) Paikannustarkkuus heikkenee, jos tukiasemien tai matkaviestimien aikojen synkronoinnissa on ongelmia.



Kuva 3.11. Saapumisaikapaikannuksen toimintaperiaate.

Saapumisaikapaikannuksen käyttäminen ei vaadi muutoksia matkaviestimiin, vaan kaikki muutokset kohdistuvat verkkojärjestelmiin. Tekniikka vaatii verkon mittauslaitteille yhteisen kellon, jotta aikaerojen laskeminen on mahdollista. Tukiasemien välille tarvitaan myös koordinaatiota, mikä lisää verkon signaalikuormaa aiheuttaen kapasiteettiin rajoituksia. (Arokoski et al. 2004, s. 208) Yhtenä saapumisaikapaikannuksen rajoituksena on se, että paikannettavan päätelaitteen on oltava kolmen mittauspisteen kuuluvuusalueella. Tämän takia menetelmä ei välttämättä toimi harvaan asutuilla alueilla, joissa yksi tukiasema kattaa laajan alueen. (Granlund 2001, s. 155)

Aikaeropaikannukseen perustuvista menetelmästä on olemassa kolme erilaista variaatiota: GSM-verkoissa toimiva E-OTD-menetelmä, Yhdysvalloissa CDMA-verkoissa toimiva AFLT-menetelmä ja kolmannen sukupolven (3G) verkoissa toimiva OTDOA-IPDL-menetelmä. (Potinkara 2004, s. 26)

GSM-verkoissa toimiva E-OTD (Enhanced Observed Time Difference) -menetelmä tarkoittaa parannettua havaitun aikaeron mittausta. Yksinkertaistettuna E-OTD-menetelmä perustuu matkaviestimen tukiasemalta ja naapuritukiasemilta vastaanottamien purskeiden (tiettyyn aikaväliin sijoitettu sanoma) välisten aikaerojen mittaamiseen, minkä avulla voidaan laskea etäisyys molempiin tukiasemiin. Aikaerojen laskennassa tehdään korjauksia, joiden avulla voidaan korjata aikavirheitä paikanlaskennassa. Korjauksessa otetaan huomioon todellinen aikaero (RTD, Real Time Difference, tukiasemien lähetysaikojen ero) ja geometrinen aikaero (GTD, Geometric Time Difference, kulkuaika päätelaitteen ja tukiaseman välillä). Näiden tietojen perusteella paikanlaskenta voidaan tehdä sopivia laskentakaavoja hyödyntäen. Etäisyyden kuvaaja on hyperbeli, jonka nollakohta on tukiasema. Päätelaitteen oletettu sijainti on tukiasemien ympärille piirrettyjen hyperbelien leikkauskohdassa (ks. kuva 3.11). (Arokoski et al. 2002, s. 204–205) E-OTD-menetelmän tarkkuus on kutakuinkin edellä esitellyn saapumisaikaan perustuvan TOA-menetelmän luokkaa (noin 50–100 metriä), ja se on myös alttiina samoille ongelmille kuin TOA-tekniikka. (Potinkara 2004, s. 26) E-OTD-menetelmä ei tosin kuormita verkkoa niin paljon kuin TOA- tai AOA-menetelmä, koska E-OTD-järjestelmässä päätelaite toimii mittalaitteena. (Arokoski et al. 2002, s. 205–206)

Yhdysvalloissa CDMA-verkoissa toimivan AFLT (Advanced Forward Link Trilateration) -menetelmän toimintaperiaate on muuten sama kuin GSM-verkoissa toimivan E-OTD-menetelmän, mutta AFLT-järjestelmässä verkko on synkronoitu. AFLT-järjestelmä kärsii signaalin heikkenemis- ja heijastusongelmien lisäksi tukiaseman pilot-signaalin estämisestä, jossa lähin tukiasema estää kauempaa tulevan pilot-signaalin kuuluvuuden. Tämän vuoksi AFLT-menetelmä on jäänyt lähinnä kokeiluasteelle. (Potinkara 2004, s. 27)

Havaittu saapumisaikaero tyhjillä periodeilla, OTDOA-IPDL (Observed Time Difference Of Arrival – Idle Period Down Link), on puhtaasti kolmannen sukupolven UMTS-verkoissa toimiva tekniikka. Tekniikka perustuu samaan periaatteeseen kuin GSM-verkoissa hyödynnettävä E-OTD, mutta OTDOA-IPDL-järjestelmässä käytetään lisänä GSM-verkoista poikkeavaa tekniikkaa. Kolmannen sukupolven verkoissa tukiasemien lähetyksissä on tyhjiä jaksoja, joita matkaviestimet käyttävät muiden tukiasemien kuunteluun. Paikanlaskenta voidaan täten suorittaa mittaamalla tyhjien jaksojen välistä aikaa. (Arokoski et al. 2002, s. 209) OTDOA-IPDL on määritelty standardiksi UMTS-järjestelmän paikannusmenetelmäksi. Sen vaatimat laskutoimitukset on pystyttävä suorittamaan jokaisessa 3G-järjestelmän laitteessa, tosin operaattorilla on oikeus päättää menetelmän käyttämisestä. (Potinkara 2004, s. 27)

3.2.5 Korrelaatiopaikannus

Korrelaatiopaikannuksessa tietyn alueen signaaleista laaditaan signaalikartta. Paikannus perustuu käsitykseen, jonka mukaan eri paikoista lähetettävät signaalit ovat erilaisia, koska paikan ympäristötekijät ja signaalitiellä olevat esteet muokkaavat sitä. Käytön aikana saadun signaalin voimakkuuden taso mitataan, ja mitattua signaalihavaintoa verrataan laadittuun signaalikarttaan. Paikannuksen tarkkuus riippuu signaalikartan laadusta. Menetelmällä on päästy noin 30–50 metrin paikannustarkkuuksiin ennalta mitatuissa kaupunkiympäristöissä. Paras paikannustarkkuus saavutetaan tiheällä tukiasemaalueella. Tukiasemien harventuessa paikannustarkkuus heikkenee. Myös muutokset ympäristössä (esim. uudet rakennukset tai sähkölinjat) aiheuttavat paikannukseen epätarkkuutta muuttamalla signaalikarttaa. (Hurskainen 2005, s. 32; Potinkara 2004, s. 28; Rainio 2003, s. 7)

Korrelaatiopaikannuksen etuna verrattuna aika- ja saapumiskulmamittauksiin perustuviin paikannusmenetelmiin on sen tarkkuuden säilyminen monitieympäristöissä (esim. kaupunkien keskustat). Menetelmän ongelmana ovat puolestaan muun muassa tarve tietojen päivittämiselle ympäristömuutosten yhteydessä sekä menetelmässä aiheutuva viive ja sen seurauksena menetelmän sopimattomuus reaaliaikaiseen seurantaan. Korrelaatiopaikannus toimii pikemminkin pistepaikannusmenetelmänä. (Hurskainen 2005, s. 32; Potinkara 2004, s. 28)

3.3 Lähipaikannus

Paikannus sisätiloissa tai suurissa kaupungeissa satelliittipaikannuksella taikka matkapuhelinverkkoihin perustuvalla verkkopaikannuksella on haastavaa tai jopa mahdotonta. Satelliittipaikannuksessa signaalin tehokkuus ei useinkaan ole riittävä sisätiloissa tai suurissa kaupungeissa. Verkkopaikannuksen tarkkuus ei puolestaan ole riittävä kovinkaan moneen sovellukseen. Nämä ongelmat on ainakin osittain ratkaistavissa lähipaikannusmenetelmillä. Lähipaikannus toimii tietyllä rajatulla alueella perustuen lyhyen kantaman signaalien välitykseen. Lähipaikannus tapahtuu usein sisätiloissa (esim. toimistot, lentokentät ja sairaalat), jolloin puhutaan sisätilapaikannuksesta. Lähipaikannusmenetelmiä ovat muun muassa (Perälä 2007, s. 22, 36; Rainio 2003, s. 8):

- lähiverkkopaikannus
- infrapunapaikannus
- Bluetooth-paikannus
- viivakooditekniikkaan perustuva paikannus
- etätunnistinpaikannus
- ultraäänipaikannus.

Edellä luetelluista lähiverkkopaikannuksen menetelmistä lähiverkkopaikannus ja Bluetooth-paikannus sopivat kantomatkansa puolesta parhaiten varsinaiseen paikannukseen. Etätunnistin-, infrapuna- ja ultraäänipaikannuksen kantomatkat ovat korkeintaan muutaman metrin luokkaa. Lyhyen kantamansa takia nämä kolme paikannusmenetelmää eivät sovellu navigointiin, mutta niitä voidaan hyödyntää erilaisissa niin sanottua hot

spot -paikannusta vaativissa lyhyen kantomatkan sovelluksissa. (Perälä 2007, s. 36) Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu edellä lueteltuja lähipaikannusmenetelmiä ja niiden keskeisiä ominaisuuksia. Luvussa 4.2.3 on vertailtu lähipaikannusmenetelmien keskeisiä ominaisuuksia sekä pohdittu niiden soveltuvuutta satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurantaan.

3.3.1 Lähiverkkopaikannus

Lähiverkkopaikannuksen perustana ovat tukiasemista ja päätelaitteista muodostuvat langattomat lähiverkot (WLAN, Wireless Local Area Network). Langattomat lähiverkot toimivat vapailla 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuuksilla mahdollistaen nopean kaksisuuntaisen yhteyden. Tärkeimmät langattomat lähiverkkostandardit ovat IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b ja 802.11g, joiden tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat välillä 2–54 Mbit/s. Langattomiin lähiverkkostandardeihin on tehty myös laajennuksia, joilla on muun muassa parannettu langattomien verkkojen palvelutasoa, tietoturvaa ja suorituskykyä (esim. 802.11n-standardi kasvattaa teoreettisen tiedonsiirtonopeuden jopa 600 Mbit/s). Eri puolilla maailmaa on otettu viime vuosina käyttöön myös 802.16-standardin mukaisia WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) -lähiverkkoja, jotka toimivat samalla periaatteella kuin WLAN-verkot, mutta niiden toiminta-alue on merkittävästi WLAN-verkkoja suurempi. (Potinkara 2004, s. 28–30) Taulukossa 3.3 on vertailtu tärkeimpien langattomien lähiverkkostandardien keskeisiä ominaisuuksia.

Taulukko 3.3. Tärkeimmät langattomat lähiverkkostandardit ja niiden keskeiset ominaisuudet. (Potinkara 2004, s. 29)

Standardi	Taajuus	Kantama	Maksimi tiedonsiirtonopeus
802.11	2,4 GHz	150–300 m	≤ 2 Mbit/s
802.11b	2,4 GHz	150–300 m	11 Mbit/s
802.11g	2,4 GHz	100–150 m	54 Mbit/s
802.11a	5,0 GHz	50 m	54 Mbit/s
802.11h	5,0 GHz	50 m	54 Mbit/s
802.11j	5,0 GHz	50 m	> 20 Mbit/s
802.16	10–66 GHz	>50000 m	134 Mbit/s
802.16a	2–11 GHz	>50000 m	75 Mbit/s
802.16d	2–66 GHz	>50000 m	> 70 Mbit/s
802.16e	2–6 GHz	>50000 m	15 Mbit/s

Lähiverkkopaikannuksessa paikannus perustuu yleensä joko solun tunnistukseen, kolmiomittaukseen tai etukäteen mitatun kalibrointitiedon ja vastaanotettujen signaalien voimakkuuksien vertaamiseen. Paikannuksen tarkkuus riippuu oleellisesti kuuluvilla olevien tukiasemien määrästä. Hyvissä olosuhteissa lähiverkkopaikannuksen tarkkuus on parin metrin luokkaa. WLAN-paikannus on parhaimmillaan sisätiloissa, kun päätelaitteeseen on asennettu signaalien voimakkuuksia mittaava ohjelmisto ja sisätilan vaikutukset signaalin voimakkuuksiin on tarkoin tutkittu. Käyttämällä useampaa tukiasemaa ja huomioimalla sisätilojen vaikutuksen signaaliin voidaan lähiverkkopaikannuksella saavuttaa jopa alle metrin paikannustarkkuus. WLAN-yhteydet toimivat satelliittipaikannukseen nähden kuitenkin pienellä alueella, joten niistä ei ole suureksi satelliitti-

paikannustekniikan uhkaajaksi. Lähiverkkopaikannus paremminkin täydentää satelliittipaikannusta siellä, missä satelliittipaikannus toimii heikosti (esim. rakennusten sisällä). WLAN-paikannus tuleekin luultavasti yleistymään satelliittipaikannustekniikoiden rinnalla. Toistaiseksi lähiverkkopaikannuksen yleistymistä ja integrointia pieniin mobiililaitteisiin on rajoittanut tekniikan suuri virrankulutus ja korkea hinta. Lähiverkkopaikannuksessa on kokeiltu onnistuneesti myös muita paikannusmenetelmiä, kuten RADIUS- ja SNMP-solupaikannusmenetelmiä. (Potinkara 2004, s. 28–30; Rainio 2003, s. 8)

3.3.2 Infrapunapaikannus

Infrapuna on elektroniikka-alan yhtiöiden muodostaman IrDA-nimisen (Infrared Data Association) yhteisön vuodesta 1993 lähtien kehittämä lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtotekniikka. Infrapunatekniikan (IrDA) perusideana on mahdollistaa kahden laitteen välinen kaksisuuntainen kommunikointi langattomasti. IrDA on hyvin samankaltainen tekniikka kuin Bluetooth. Infrapunatekniikassa tiedonsiirto perustuu infrapunasäteilyyn, joka on sähkömagneettista säteilyä ollen aallonpituudeltaan (700 nm…1 mm) näkyvää valoa suurempi. Infrapunajärjestelmän toimintaetäisyys on noin 0–1 metriä ja tiedonsiirto nopeus 9600 bit/s…16 Mbit/s. Infrapunalähetyksen suuntaus on melko kapea, noin 30 astetta. Infrapunaa hyödynnetään erityisesti liikuteltavissa laitteissa, kuten matkapuhelimissa, kannettavissa tietokoneissa, kämmentietokoneissa, kameroissa ja videokameroissa sekä kaukosäätimissä. IrDA-laite muodostuu lähetin-vastaanotinmoduulista, joka sisältää IR-ledistä muodostuvan lähettimen, PIN-diodista muodostuvan vastaanottimen ja lähetys-vastaanottopiiristä: lähettimen IR-led lähettää infrapunasignaalia, jonka vastaanottimen PIN-diodi vastaanottaa ja lähetys-vastaanottopiiri käsittelee. Infrapunaverkkoon kuuluvien laitteiden on siis tuettava infrapunayhteyttä. (Infrared Data Association 2009; Suvak 2000) Infrapunatekniikka on kokeiltu myös paikannuskäytössä, jolloin infrapunalinkki siirtää sijaintitiedon päätelaitteeseen, samaan tapaan kuin Bluetooth-linkki (ks. luku 3.3.3). (Rainio 2004, s. 8)

IrDA-tekniikan tärkeimpiä vahvuuksia ovat tekniikan vähäinen virrankulutus ja kohtuullisen nopeiden tiedonsiirtoyhteyksien muodostaminen pienillä etäisyyksillä. Vähäinen virrankulutus mahdollistaa tekniikan käytön akku- ja patterikäyttöisissä laitteissa, kuten matkapuhelimissa, kämmentietokoneissa ja kannettavissa tietokoneissa. IrDA-laitteet ovat myös pienikokoisia, edullisia ja helposti asennettavissa erilaisiin laitteisiin. IrDA-tekniikan alhainen hinta on mahdollistanut tekniikan hyödyntämisen myös halvemman hintatason laitteissa, kuten matkapuhelimissa ja tulostimissa. Infrapunatekniikalla on niin ikään hyvin laaja laitteisto- sekä ohjelmistotuki. IrDA ei ole sidottu mihinkään ohjelmistoon, käyttöjärjestelmään tai laitteistoon, mikä on edesauttanut tekniikan leviämistä useisiin erilaisiin laitteisiin ja sovelluksiin. Laajan levinneisyyden ansiosta IrDA-tekniikalla on laaja tuki monilta eri yrityksiltä, niin ohjelmisto- kuin laitekehittäjiltäkin, minkä myötä uusia infrapunatekniikkaa hyödyntäviä laitteita tulee jatkuvasti markkinoille. IrDA on melko turvallinen langaton tiedonsiirtotekniikka. IrDA:n käyttämää infrapunasignaalia on vaikea kaapata, mikä johtuu etupäässä lyhyistä etäisyyksistä ja laitteiden vaatimasta melko suorasta kohdistuksesta. Infrapunatekniikalla voi olla käyttökohteesta tai -tilanteesta riippuen olla joitain muitakin etuja muihin langattomiin tiedonsiirtotekniikoihin verrattuna. Esimerkiksi IrDA-tekniikalla voidaan vaihtaa tietoa

määrätyn laitteen kanssa heti, toisin kuin Bluetoothilla, jossa laitteiden etsintä ja paritus vie oman aikansa. (Gupta 2009; Infrared Data Association 2009; Suvak 2000)

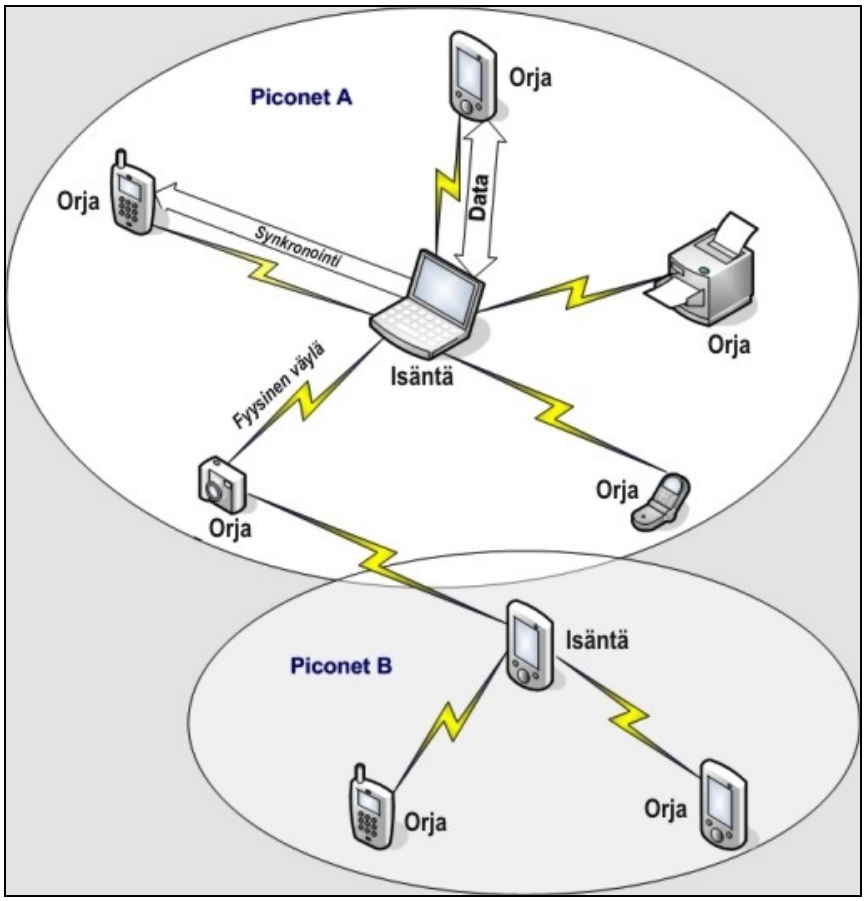
IrDA-tekniikan heikkoudet liittyvät lähinnä teknologian rajoittuneisuuteen. IrDA vaatii toimiakseen suoran näköyhteyden lähettimen ja vastaanottimen välille. Käytännössä laitteiden ei tarvitse olla täysin suoraan kohdistettuna, mutta siirtotiellä ei saa olla tiedonsiirtoa häiritseviä esteitä. Suorasta näköyhteysvaatimuksesta johtuen IrDA-tekniikan voidaan sanoa olevan melko ”paikallaan pysyvää”, vaikka infrapunatekniikkaa yleensä käytetäänkin etupäässä mobiililaitteissa. Infrapunatekniikan heikkoutena on myös sen toiminta point-to-point-periaatteella, minkä vuoksi IrDA-laitteilla voi muodostaa yhteyden ainoastaan yhteen laitteeseen kerrallaan. Tämä heikentää oleellisesti IrDA-tekniikan suorituskykyä. Lisäksi auringon, joidenkin keinovalojen ja mahdollisesti muiden infrapunalaitteiden lähettämä infrapunasäteily saattaa aiheuttaa IrDA-yhteyksiin interferenssiä ja häiritä signaalin tulkitsemista. Viime vuosina IrDA-tekniikan haastajaksi on noussut Bluetooth-tekniikka (ks. tarkemmin luku 3.3.3), joka onkin yleistynyt kovaa vauhtia erilaisissa mobiiliratkaisuissa. Bluetooth-teknologian käyttämät radioaallot eivät vaadi näköyhteyttä, voivat läpäistä kiinteitä esteitä ja tarjoavat parhaimmillaan jopa noin 100 metrin kantaman. Nykypäivänä IrDA-tekniikkaa voidaan pitää eräänlaisena kompromissiratkaisuna, jota voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun Bluetooth-tekniikka ei syystä tai toisesta ole käytettävissä. (Gupta 2009; Infrared Data Association 2009; Suvak 2000)

3.3.3 Bluetooth-paikannus

Bluetooth on lyhyen kantaman tiedonsiirtotekniikka, jolla erilaiset elektroniset laitteet voivat viestiä keskenään langattomasti radioaaltojen avulla. Bluetooth onkin alun perin tarkoitettu korvaamaan kaapelit erilaisten laitteiden, kuten matkapuhelinten ja kämmentietokoneiden välillä. Tekniikan suunnittelun lähtökohtana on ollut alhainen tehonkulutus, huokea hinta, yksinkertainen rakenne ja ympäristöolojen hyvä sietokyky. Bluetooth toimii 2,4 GHz:n vapaalla taajuuskaistalla. Tämä kaista on käytössä koko maailmassa tietyin tehorajoituksin. Ainoastaan Yhdysvalloissa, Espanjassa, Ranskassa ja Japanissa kaistan määrittelyt poikkeavat hiukan yleisestä linjasta. (Arokoski et al. 2002, s. 67, 71–72; Karasti 2000, s. 66)

Bluetooth-tekniikan tiedonsiirto perustuu radiolinkkiin kahden tai useamman laitteen välillä. Bluetooth-siru voi olla integroituna esimerkiksi matkapuhelimeen, kannettavaan tietokoneeseen tai johonkin kodinkoneeseen. Jokaisessa Bluetooth-laitteessa on antenni, joka lähettää (lähetin) ja vastaanottaa (vastaanotin) radioaaltoja. Koska Bluetooth-järjestelmä käyttää radioyhteyttä, keskenään keskustelevat Bluetooth-laitteet eivät tarvitse fyysistä näkyvää yhteyttä toisiinsa eli laitteiden välinen kommunikointi voi tapahtua esimerkiksi seinän läpi. Myöskään antennien suuntauksia ei yleensä tarvita ennen tiedonsiirron aktivointia, ellei tarkoituksena ole erityisesti rajoittaa peittoaluetta. (Arokoski et al. 2002, s. 71) Bluetooth-järjestelmä muodostaa tiedonsiirtoverkkoja asiakaskohtaisesti (ad hoc) itsenäisesti, jolloin käyttäjän ei tarvitse huolehtia verkon hallinnasta. Yhdessä pikoverkossa (piconet) voi olla seitsemän orjalaitetta ja yksi isäntälaite. Kahden tai useamman pikoverkon muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan Scatternet- eli

hajaverkoksi. (Karasti 2000, s. 66–67) Kuvassa 3.12 on havainnollistettu Bluetooth-järjestelmän verkkotopologiaa.



Kuva 3.12. Bluetooth-järjestelmän verkkotopologia. (mukaillen Tuntematon 2009)

Bluetooth on tarkoitettu pääasiassa lyhyille, noin 0–10 metrin kantomatkoille. Lähetystehoa kasvattamalla kantama voidaan kasvattaa aina 100 metriin saakka. Mitä pidemmälle signaalin halutaan kantava, sitä suurempi tulee lähetystehon olla, ja sen myötä myös Bluetooth-sirun koko ja hinta sekä laitteen aiheuttamat häiriöt ympäristölle kasvavat. Bluetooth-järjestelmässä signaalin lähetykseen käytettävä virta voi olla mukautuva, jolloin lähetystehon voimakkuutta voidaan säätää tarpeen mukaan. Pyrittäessä suurempiin kantamiin myös antennien suuntauksilla on enemmän merkitystä ja jopa näköyhteyden tarve tulee ottaa huomioon. Tavoiteltu toimintasäteen saavuttamiseksi voidaan siis joutua tekemään useita kompromisseja. (Arokoski et al. 2002, s. 73)

Bluetooth-paikannus on toimintaperiaatteeltaan samankaltainen kuin langattomiin lähiverkkoihin perustuva WLAN-paikannus. Bluetooth-paikannuksessa voidaan käyttää periaatteessa samoja paikannusmenetelmiä kuin minkä tahansa muun radiotekniikan kanssa. Kotanen et al. (2003, s. 2) luettelevat Bluetooth-paikannusta käsittelevässä tutkimusraportissaan seuraavat paikannusmenetelmät, joita voidaan käyttää Bluetooth-paikannuksessa (menetelmistä on kerrottu tarkemmin verkkopaikannusmenetelmien yhteydessä luvussa 3.1):

- *Signaalin saapumiskulmaan (Angle of Arrival, AOA)* perustuvassa tekniikassa mitataan mobiililaitteelta saapuvan signaalin tulokulmaa. Kiinteä laite, jonka sijainti on tiedossa, mittaa mobiililaitteen lähettämän signaalin tulokulmaa. Mobiililaitteen sijainti voidaan laskea trigonometrisesti, kun tiedetään kahden kiinteän laitteen mittaustulokset. Koska menetelmä vaatii erityisten antenniryhmien käyttöä kiinteissä laitteissa, se soveltuu huonosti Bluetooth-paikannukseen vakiokomponenteilla.

- *Solupaikannus (Cell Identification, Cell ID)* perustuu verkon jakautumiseen kiinteiden laitteiden peittoalueiden mukaisiin soluihin. Kiinteän laitteen kanssa kommunikoiva mobiililaite kuuluu kiinteän laitteen määrittämään soluun. Bluetooth-verkon solu on säteeltään noin 10 metrin kokoinen käytettäessä tyypillistä lähetysteholuokkaa. Solupaikannusta voidaan tarkentaa limittämällä soluja ja kolmiomittaamalla usean solun suhteen. Solupaikannus toimii hyvin Bluetooth-tekniikan yhteydessä.

- *Signaalin saapumisaikaan (Time of Arrival, TOA)* perustuvassa paikannuksessa mitataan mobiililaitteen ja kiinteän laitteen (jonka sijainti tiedetään) välillä kulkevan signaalin kulkuaikaa, jonka perusteella voidaan laskea mobiililaitteen ja kiinteän laitteen välinen etäisyys. Sijainnin määrittämistä varten tarvitaan etäisyys ainakin kolmeen kiinteään laitteeseen, joiden ympärille määritettyjen hyperbelien risteämäkohta määrittää mobiililaitteen sijainnin. TOA-paikannus vaatii todella tarkan ja synkronoidun kellon, sillä pienikin virhe ajan mittauksessa aiheuttaa suuren virheen paikannukseen. Radiosignaali kulkee tyhjiössä yhden mikrosekunnin aikana noin 300 metrin matkan. Bluetooth-spesifikaatio sallii mikrosekunnin hajonnan pakettien lähetysajassa, joten TOA-menetelmä on liian epätarkka Bluetooth-paikannukseen.

- *Signaalin saapumisaikojen erotukseen (Time Difference of Arrival, TDOA)* perustuva menetelmä on kehitetty poistamaan TOA-menetelmän tiukka synkronointivaatimus, mutta se silti tarvitsee tarkkoja kelloja toimiakseen asianmukaisesti. Aikaerojen mittauksen epätarkkuuden ei pitäisi olla suurempi kuin 10 nanosekuntia. TDOA-menetelmää voidaan hyödyntää Bluetooth-paikannuksessa vain siinä tapauksessa, jos Bluetooth-laitteissa on tarkemmat kellot kuin spesifikaatiossa on vaadittu.

- *Vastaanotetun signaalin tasoon (Rx-level, ts. Signal level)* perustuva menetelmä muistuttaa TOA-menetelmää, mutta siinä etäisyys kiinteään laitteeseen lasketaan vastaanotettujen signaalien voimakkuuksien mukaan. Sijainnin määrittämistä varten tarvitaan ainakin kolme kiinteää laitetta, joiden ympärille määritettyjen hyperbelien risteämäkohta määrittää mobiililaitteen sijainnin. Hyperbelien säteet lasketaan vastaanotettujen signaalien voimakkuuksien perusteella. Signaalin etenemismalli ennustaa voimakkuustason ja etäisyyden yhteyttä. Bluetoothin laiterajapinta (Host Controller Interface, HCI) sisältää komennon RSSI-parametrin (Received Signal Strength Indication) lukemiseksi, mikä tekee signaalin tasoon perustuvasta paikannusmenetelmästä erityisen sopivan käytettäväksi Bluetooth-paikannuksessa.

Edellä luetelluista paikannusmenetelmistä siis lähinnä vain solupaikannus ja signaalitasoihin perustuva paikannusmenetelmä tulevat kyseeseen Bluetooth-paikannuksen kanssa. Kotanen et al. (2003, s. 2) tekemässä tutkimuksessa signaalitasoihin perustuvalla menetelmällä päästiin noin 4 metrin paikannustarkkuuteen, jota olisi tutkimuksen mukaan mahdollista parantaa, jos Bluetooth-laitteet kykenisivät mittaamaan vastaanotettujen signaalien tasoja tarkemmin. Parhaimmillaan Bluetooth-paikannustekniikalla voidaan päästä noin 1 metrin paikannustarkkuuteen (Behzadan et al. 2008, s. 738).

Ennen Bluetooth-tekniikkaa laitteiden välisiä kaapeleita on korvattu infrapunayhteyksillä (ks. luku 3.3.2). Suurin ero infrapuna- ja radioyhteyksien välillä on niiden kantama. Infrapunalinkki vaatii näköyhteyden laitteiden välille ja soveltuu käytännössä ainoastaan kahden laitteen väliseen tiedonsiirtoon. Radiolinkin kantavuus ulottuu jopa seinän läpi ja mahdollistaa tiedonsiirron usealle vastaanottajalle samanaikaisesti. Radiolinkkien huonona puolena on se, että lähetys kantautuu myös muille kuin halutuille vastaanottajille. Lisäksi Bluetoothin käyttämä 2,4 GHz:n taajuuskaista on vapaasti kaikkien radiolaitteiden käytössä, minkä seurauksena eri järjestelmät saattavat häiritä toisiaan. Esimerkiksi mikroaaltouunit ja osa WLAN-standardeista käyttävät samaa taajuutta kuin Bluetooth. Bluetooth-tekniikan suunnittelussa on otettu nämä asiat huomioon muun muassa salaamalla radioliikenne ja pienentämällä häiriöiden vaikutusta taajuushyppelyllä. (Arokoski et al. 2002, s. 72; Potinkara 2004, s. 30–31; Pönkkänen et al. 1999)

Bluetooth-tekniikan yhtenä suurimpana haasteena voidaan monien muiden kannettavien laitteiden tapaan pitää virrankulutusta, joka muodostuukin helposti pullonkaulaksi monille ratkaisuille. Bluetooth-tekniikka on suunniteltu sopimaan nimenomaan kannettaviin laitteisiin, joiden pääasiallisena voimanlähteenä toimivat akut. Esimerkiksi matkapuhelimen virrankulutus on huomattavasti suurempi Bluetooth-yhteyttä käytettäessä kuin valmiustilassa. Laitteissa käytettävien akkujen kapasiteettia lisäämällä saadaan lisää toiminta-aikaa, mutta samalla laitteen koko ja paino kasvavat, mikä saattaa käyttötarkoituksesta riippuen heikentää laitteen käytettävyyttä. (Rainio 2004, s. 16) Bluetooth-sirun käytöstä aiheutuvan lisääntyneen virrankulutuksen vuoksi monet laitteet on suunniteltu siten, että yhteyden muodostamiseen vaadittu radiolaitteisto aktivoidaan vain sen käytön ajaksi. Tämä voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi sellaisissa sovelluksissa, joiden käyttö edellyttää jatkuvaa Bluetooth-yhteyden ylläpitämistä. Muita Bluetooth-tekniikan ongelmia ovat muun muassa hidas laitehaku ja standardin käytön kirjavuus. (Koponen 2004, s. 31) Lisäksi Bluetooth-tekniikassa on havaittu tietoturvaongelmia, jotka voivat rajoittaa tekniikan käyttöä arkaluontoisissa sovelluksissa (YLE Uutiset 2009).

Teollisuuden näkökulmasta Bluetooth-tekniikan houkuttelevimpia ominaisuuksia ovat yleiskäyttöisyys, halpuus ja pieni koko. Teollisuudessa vaativat ja vaihtelevat toimintaympäristöt tuovat kuitenkin mukanaan joitakin sellaisia ongelmia, joita ei ilmaannu normaalissa kuluttajakäytössä. Esimerkiksi lämpö, kosteus ja tärinä ovat hyvin usein läsnä teollisuudessa ja usein vielä samanaikaisesti. Nämä aiheuttavat Bluetooth-laitteille samanlaisia ongelmia kuin muillekin elektroniikkaa sisältäville laitteille. Lisäksi Bluetooth-tekniikan käyttämän 2,4 GHz:n taajuuden ongelmana on sen herkkä absorboituminen veteen. Jos ilmassa esiintyy vettä, osa radiosäteilystä saattaa absorboitua matkalla, mikä voi heikentää tiedonsiirron toimivuutta. Ympäristöolosuhteiden lisäksi kantama, yhteydenmuodostumisaika ja laajat verkot tuovat mukanaan haasteita lyhyen kan-

taman radiolinkeille. Bluetooth-järjestelmän kantama on vapaassa tilassa suurimmalla mahdollisella lähetysteholla yli sata metriä, mikä on riittävä kantomatka useisiin teollisuussovelluksiin. Kantomatkaa kuitenkin rajoittavat metallirakenteet ja muut signaalitiellä olevat esteet, jotka heikentävät Bluetooth-yhteyden muodostamista tai estävät sen jopa kokonaan. (Karasti 2000, s. 67–68)

3.3.4 Viivakoodi

Viivakoodi on informaation esitysmuoto, jossa tietoa koodataan visuaaliseen koneellisesti luettavaan muotoon. Viivakoodit sisältävät merkkijonoja, joissa jokainen merkki (esim. kirjain tai numero) on koodattu viivoja käyttäen. Kutakin merkkiä vastaa aina tietty yhdistelmä ohuita ja paksuja viivoja sekä niiden välejä. Kun tällaisia viivayhdistelmiä liitetään peräkkäin, saadaan halutut merkkijonot koodattua viivakoodein. Maailmassa on olemassa yli 400 viivakoodityyppiä, mutta yleisessä käytössä niistä on vain noin 10. Osa viivakoodityypeistä sisältää esimerkiksi vain numeroita, toisilla viivakoodityypeillä on taas kiinteä pituus, osa viivakoodityypeistä voi puolestaan sisältää sekä numeroita että kirjaimia ja lisäksi jotkut viivakoodityypit mahdollistavat suuren tietomäärän koodaamisen pieneen tilaan. Oikean viivakoodin valinta koetaan usein vaikeaksi tehtäväksi. Viivakoodin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa viivakoodin käyttötarve, viivakoodille varatun fyysisen tilan koko, koodattavan tiedon sisältö ja olosuhteet, joissa viivakoodeja luetaan. (Pouri 1997, s. 212–214; Worth Data 2004, s. 1–5)

Viivakoodeja luetaan lukijalaitteella, joka muuttaa koodin tietojärjestelmän ymmärtämään muotoon. Viivakoodin lukeminen lukijalaitteella perustuu tummien viivojen ja valkoisten välien erilaiseen valon heijastavuuteen (valkoinen väri heijastaa paremmin valoa kuin tumma väri). Lukijalaitteen valon säteen kulkiessa viivakoodin ylitse saadaan takaisin heijastuneesta valosta tieto, joka vastaa viivojen ja välien leveyttä. Tämä tieto muunnetaan valovastaanottimen avulla sähköiseksi signaaliksi, joka voidaan vahvistuksen, suodatuksen ja digitalisoinnin jälkeen tulkita viivakoodin lopullisena tietosisältönä. Viivakoodi voidaan lukea sekä etu- että takaperin. (Pouri 1997, s. 212–213; Worth Data 2004, s. 1–2)

Viivakoodinlukijat voidaan jakaa kiinteisiin, kannettaviin ja radiotaajuuksilla toimiviin kannettaviin lukijoihin. *Kiinteät viivakoodinlukijat* ovat jatkuvasti liitettyinä isäntäkoneeseen tai -sovellukseen, ja ne lähettävät viivakoodin yksi kerrallaan lukutapahtuman jälkeen. Kiinteitä lukijalaitteita käytetään esimerkiksi kauppojen kassapisteissä. *Kannettavat lukijalaitteet* ovat akkukäyttöisiä, ja ne tallentavat laitteen omaan muistiin luettua tietoa, joka lähetetään myöhemmin isäntäkoneella olevaan tietojärjestelmään. Osa kehittyneemmistä kannettavista lukijalaitteista voi toimia samaan aikaan myös isäntäkoneina, jolloin erilliselle isäntäkoneelle ei ole tarvetta. Kannettavia lukijalaitteita käytetään esimerkiksi varastojen hallinnassa kuljetuslavoihin laitettujen viivakooditunnisteiden lukemiseen. *Radiotaajuuksilla toimivat kannettavat lukijalaitteet (RF-lukijat)* ovat akkukäyttöisiä, ja ne lähettävät tietoa tietojärjestelmään reaaliaikaisesti radioteitse, mikä mahdollistaa lukijalaitteen ja tietojärjestelmän jatkuvan keskinäisen kommunikoinnin. RF-lukijat ovat kaikkein kehittyneimpiä viivakoodinlukijoita, ja niitä voidaankin hyö-

dyntää hyvin monipuolisesti erilaisissa sovelluksissa. (Pouri 2007, s. 225–228; Worth Data 2004, s. 7)

Viivakoodi on hyvä apuväline tietojen tehokkaaseen tallennukseen ja erilaisten kohteiden yksilölliseen tunnistamiseen. Viivakoodin avulla tapahtuva tiedonsyöttö on nopeaa verrattuna käsin tapahtuvaan tietojen syöttöön. Viivakoodien käyttäminen vähentää myös tiedonsyötössä tapahtuvien virheiden määrää. Viivakoodi on standardoitu ja edullinen tekniikka, mikä on edesauttanut viivakoodin laajentumista globaaliksi tekniikaksi. Viivakooditekniikalla voidaan lisätä useiden erilaisten prosessien tuottavuutta. Viivakooditekniikka on monelle tuttu esimerkiksi kauppojen kassoilta tai kirjastoista, mutta tekniikkaa hyödynnetään myös erilaisilla teollisuuden aloilla. Logistiikassa viivakooditekniikkaa voidaan hyödyntää muun muassa tavaratoimitusten seurannassa, varastojen hallinnassa ja tavarankäsittelyssä. Viivakoodi luetaan usein manuaalisesti käsilukijalaitteella, mutta viivakoodin lukutapahtuman automatisointi on myös mahdollista (esim. lukijalaite asennettuna tuotantolaitoksen liukuhihnalle). Tämän ansiosta viivakooditekniikalla voidaan toteuttaa myös erilaisia automatisoituja prosesseja. (Pouri 2007, s. 212–213; Worth Data 2004)

Viivakooditekniikan heikkoutena on sen vaatima näköyhteys lukijalaitteen ja viivakoodin välillä, mikä rajoittaa viivakooditekniikan hyödyntämistä vaativimmissa sovelluksissa ja käyttöympäristöissä. Viivakooditekniikan vaatiman näköyhteyden ja lyhyen kantaman takia lukutapahtuma edellyttää useimmissa tapauksissa manuaalista lukemista, mikä hankaloittaa viivakooditekniikan käyttämistä toimintojen automatisoinnissa. Toisaalta manuaalinen lukutapahtuma takaa käytännössä 100 % lukutarkkuuden. Viivakooditunnisteen tietosisältö on rajoitettu tyypillisesti enintään muutamiin kymmeniin merkkeihin, eikä tunnisteeseen täten voi tallentaa tarkempaa tuotetietoa. Viivakooditunniste on myös herkkä kulutukselle ja lialle, minkä takia viivakoodi voi muuttua lukukelvottomaksi ajan ja käytön myötä. Viivakooditekniikan useimmat ongelmat ovat ratkaistavissa radiotaajuuksilla toimivalla RFID-etätunnistintekniikalla (ks. luku 3.3.5), josta onkin vähitellen kehittymässä toisaalta viivakooditekniikan kanssa kilpaileva ja toisaalta sitä täydentävä tunnistustekniikka. (Tapper 2006)

3.3.5 Etätunnistinpaikannus

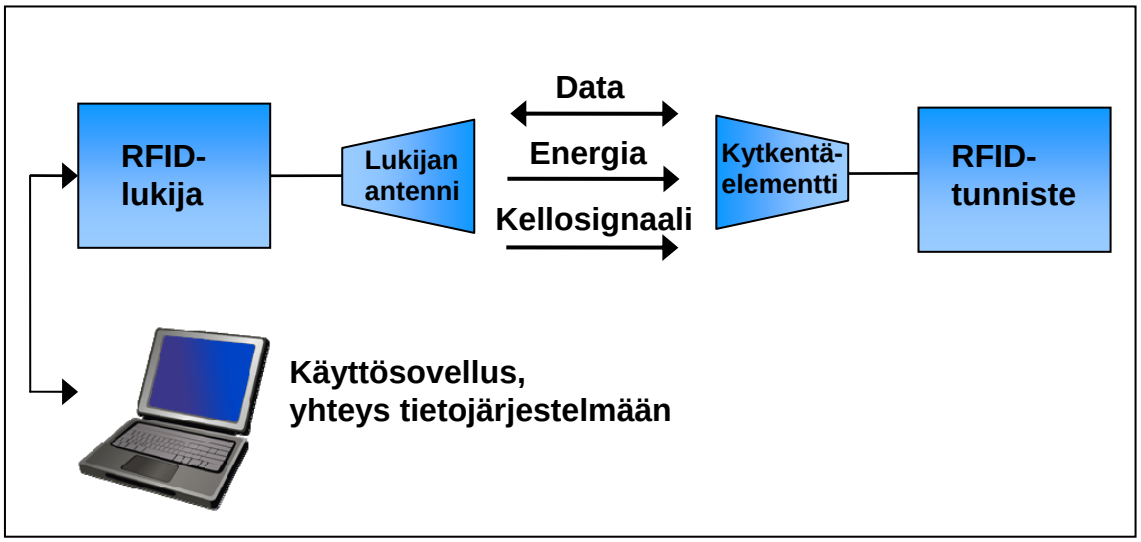
Radiotaajuuksilla toimivista etätunnistintekniikoista käytetään yleisnimitystä RFID (Radio Frequency Identification) eli radiotaajuinen etätunnistus. RFID on elektromagneettisen säteilyn avulla toimiva langaton tunnistusjärjestelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi ihmisiä ja esineitä. Tunnistettavaan kohteeseen kiinnitetään tunniste, joka voidaan lukea langattomasti tietyn etäisyyden päästä. Tieto tunnisteen ja lukijalaitteen välillä voidaan siirtää ilman näköyhteyttä. Jokainen tunniste on yksilöllinen ja uudelleen ohjelmoitavissa. Tunniste voi sisältää tietoa esimerkiksi tuotteen valmistusprosessista ja -ajankohdasta. RFID-tunnistustekniikalla voidaan automatisoida erilaisia toimintoja ja sen myötä tehostaa liiketoimintaprosesseja ja muita vastaavia aktiviteetteja. RFID-tekniikkaa hyödynnetään muun muassa logistiikan, teollisuuden ja kaupan aloilla, sairaaloissa ja lääketieteessä, kirjastoissa sekä yleisessä kulunvalvonnassa. (Asif & Mandviwalla 2005, s. 2–3; Kärkkäinen 2006, s. 5)

RFID-järjestelmä koostuu tunnisteista, lukijalaitteista antenneineen, näiden ohjauslogiikasta sekä käyttösovelluksesta (kuva 3.13). Seuraavassa on kuvattu näiden RFID-järjestelmän pääkomponenttien keskeisiä ominaisuuksia ja merkitystä RFID-järjestelmän toiminnan kannalta (Finkenzeller 2004, s. 7–9, Kärkkäinen 2006, s. 6):

- *RFID-tunniste*, josta käytetään myös nimityksiä inletti, saattomuisti, tag/tagi/tägi, transponderi ja älytarra, on RFID-järjestelmässä se osa, johon luettava tieto on tallennettu/tallennetaan. Tunniste voidaan sisällyttää tunnistettavaan objektiin (esim. älykortti, tavarankuljetuskontti tai yksittäinen tuotepaketti) valmistusvaiheessa tai jälkikäteen liimattavalla tarralla. Tunnisteet sisältävät antennin sekä muisti-/mikrosirun tiedon säilyttämistä ja mahdollista käsittelemistä varten. Tunnisteen muistiin on tallennettu sirun tunnistekoodi. Tunniste voi olla joko aktiivinen (sisältää virtalähteen), passiivinen (saa virtansa RFID-lukijan lukukentästä) tai semi-/puolipassiivinen (saa osan virrasta virtalähteestä ja osan lukijan lukukentästä). RFID-tunnisteista kerrotaan tarkemmin tässä alaluvussa myöhemmin.

- *RFID-lukijan* tehtävänä on kommunikoida tunnisteen kanssa antennin/antennien välityksellä, ottaa vastaan ja laitteesta riippuen prosessoida tunnisteen lähettämää tietoa, toimittaa vastaanotettua tietoa eteenpäin käyttösovellukselle sekä tuottaa sähkömagneettisella kentällään passiiviselle tai puolipassiiviselle tunnisteelle tiedon lähettämiseen tarvittava energia. Lukulaitteisto koostuu lukemista hallitsevasta keskusyksiköstä (varsinainen lukija) ja yhdestä tai useammasta antennista. Lukijaa ohjaava logiikka voi olla ohjelmoituna joko suoraan lukijaan tai johonkin ulkoiseen järjestelmään. RFID-lukija voi olla esimerkiksi kannettava käsipääte tai kiinteä portti, jonka läpi tunnistettavat tavarat, kuljetusyksiköt tai vastaavat tunnistusta tarvitsevat objektit kulkevat.

- *Käyttösovellus* valvoo RFID-laitteita, tallentaa ja käsittelee RFID-tunnisteelta saatua tietoa sekä linkittää RFID-järjestelmän osaksi yrityksen operatiivisia tietojärjestelmiä, jotta kertyvää tietoa voidaan hyödyntää yrityksen toiminnassa.



Kuva 3.13. RFID-järjestelmän peruskomponentit. (Finkenzeller 2004, s. 7)

Lukijan ja tunnisteen välinen kommunikointi alkaa, kun tunniste saapuu lukijan lukukenttään. Tässä kommunikoinnissa tunniste kertoo oman tunnistekoodinsa lukijalle. Tunniste välittää lukijalle myös mahdolliset muut muistiinsa ohjelmoidut tiedot. Kun RFID-lukija on lukenut tunnisteen sisältämät tiedot, luettu tietosisältö välitetään käyttösovellukselle, joka tallentaa ja käsittelee tietoa, jotta sitä voidaan hyödyntää yrityksen operatiivisissa tietojärjestelmissä. Tunnisteen sisältämien tietojen lukemisen jälkeen tunnisteen tietosisältö voidaan monissa järjestelmissä päivittää. (Kärkkäinen 2006, s. 6)

RFID-tekniikoita on monenlaisia, ja ne poikkeavat toisistaan merkittävästi. Yksi RFID-tekniikoita ja etenkin tunnisteita erotteleva tekijä on tunnisteiden virransyöttö. Virransyötön perusteella RFID-tunnisteet voidaan jakaa niin sanottuihin aktiivisiin, passiivisiin ja puolipassiivisiin tunnisteisiin. *Aktiiviset tunnisteet* sisältävät oman virtalähteen (esim. akku tai paristo), joka syöttää tunnisteen mikrosirulle virtaa. Aktiiviset tunnisteet ja lukijat toimivat yleensä joko UHF- (Ultra High Frequency) tai mikroaaltotaajuuksilla (MF, Microwave Frequency). Aktiivisten tunnisteiden etuja ovat pitkät luku- ja kirjoitusetäisyydet (jopa noin 30 metriä) sekä passiivia tunnisteita suurempi tiedonsiirtonopeus (noin 10–120 kbit/s). Aktiivisten tunnisteiden heikkouksia ovat puolestaan korkea hinta, suuri tehonkulutus ja kunnossapitokustannukset (esim. tunnisteiden virtalähteenä käytettävien paristojen elinikä on rajallinen ja ne edellyttävät elinkaarensa päätyttyä vaihtoa uuteen).

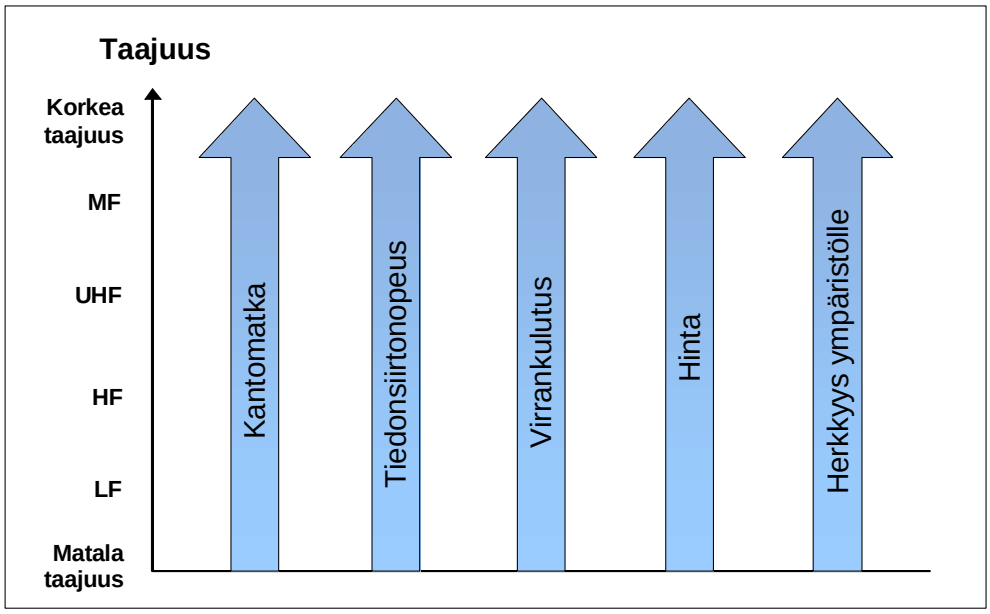
Passiivissa tunnisteissa ei ole lainkaan virtalähdettä, vaan ne keräävät kaiken tarvitsemansa energian lukijan lukukentästä. Passiiviset tunnisteet toimivat yleensä joko matalalla taajuudella (LF, Low Frequency) tai korkealla taajuudella (HF, High Frequency), mutta myös UHF- ja mikroaaltotaajuuksia (MF, Microwave Frequency) käyttäviä passiivisia tunnisteita on olemassa. Passiivisten tunnisteiden etuja ovat alhainen virrankulutus, edullinen hinta, pieni koko ja vähäiset kunnossapitokustannukset. Passiivisten tunnisteiden heikkouksia ovet puolestaan lyhyet luku- ja kirjoitusetäisyydet (noin 0–4 metriä) sekä alhainen tiedonsiirtonopeus (noin 1–20 kbit/s). RFID-tunniste voi olla myös *semi-/puolipassiivinen*, jolloin tunniste saa valmiustilatoiminnoissa tarvitsemansa virran paristosta ja aktiivisessa kommunikointiyhteydessä tarvitsemansa virran lukijalaitteelta. (Asif & Mandviwalla 2005, s. 7; Kärkkäinen 2006, s. 7) Taulukossa 3.4 on vertailtu passiivisten ja aktiivisten RFID-tunnisteiden keskeisiä ominaisuuksia.

Taulukko 3.4. Passiivisten ja aktiivisten RFID-tunnisteiden keskeisiä ominaisuuksia. (Asif & Mandviwalla 2005, s. 9)

Tunnisteen taajuus	Tunnisteen tyyppi	Toiminta-alue	Tiedonsiirto-nopeus	Tehon-kulutus	Hinta
LF	Passiivinen	< 1 m	1–2 kbit/s	20 µW	0,2–1,0 $
HF		1,5 m	10–20 kbit/s	200 µW	1–10 $
UHF, MF	Aktiivinen	10–100 m	40–120 kbit/s	0,25–1,0 W	10–30 $

Kuten edellä kävi ilmi, erityyppiset RFID-tunnisteet eroavat toisistaan virransyötön lisäksi myös käytetyn radiotaajuuden perusteella. Jokaisella taajuudella on omat erityispiirteensä, jotka vaikuttavat muun muassa lukuetäisyyteen ja läpäisykykyyn. Korkeataajuiset aallot absorboituvat helpommin ja ovat siten alttiimpia vaimentumiselle, minkä seurauksena ne eivät läpäise eri materiaaleja niin hyvin kuin matalataajuiset aallot. Tä-

män vuoksi matalataajuiset RFID-tunnisteet ovat sopivampia muun muassa korkean vesipitoisuuden sisältäville tuotteille (esim. hedelmät) ja metalliin pakatuille tuotteille (esim. säilyketölkit). Korkeataajuiset aallot ovat myös enemmän suunnattuja ja vaativat näin ollen yleensä matalataajuisia aaltoja esteettömämmän reitin tunnisteen ja lukijalaitteen välille. Toisaalta, korkeita taajuuksia käyttämällä tiedonsiirtonopeudet tunnisteen ja lukijalaitteen välillä yleensä kasvavat. Lisäksi taajuusalueen kasvaessa tavallisesti myös järjestelmän lukuetäisyys kasvaa. (Asif & Mandviwalla 2005, s. 9; Kärkkäinen 2006, s. 7–10) Kuvassa 3.14 on havainnollistettu yleisellä tasolla, millainen vaikutus taajuudella on RFID-tekniikan keskeisiin ominaisuuksiin.



Kuva 3.14. Taajuuden vaikutus RFID-tunnisteiden keskeisiin ominaisuuksiin. (mukaillen Asif & Mandviwalla 2005, s. 9; Tajima 2007, s. 263)

Nykyään käytetään yleisesti neljänlaisia RFID-tunnisteita, jotka eroavat toisistaan käytetyn radiotaajuuden perusteella: matalan taajuuden (LF, Low Frequency) tunnisteet, korkean taajuuden (HF, High Frequency) tunnisteet, ultrakorkean taajuuden (UHF, Ultra High Frequency) tunnisteet ja mikroaaltotaajuuden (MF, Microwave Frequency) tunnisteet. Taulukossa 3.5 on vertailtu näiden RFID-järjestelmissä käytettyjen taajuusalueiden keskeisiä ominaisuuksia.

Taulukko 3.5. RFID-järjestelmissä yleisesti käytettävien taajuusalueiden keskeisiä ominaisuuksia. (Tajima 2007, s. 263)

	Matala taajuus (LF)	**Korkea taajuus (HF)**	**Ultrakorkea taajuus (UHF)**	**Mikroaalto-taajuus (MF)**
Taajuusalue	125–134 kHz	13,56 MHz	860–930 MHz	2,45 GHz
Tunnisteen tyyppi	Passiivinen	Yleensä passiivinen	Aktiivinen ja passiivinen	Aktiivinen ja passiivinen
Lukuetäisyys (pass. tunnisteet)	< 0,5 m	1,0 m	3,0 m	10 m
Tunnisteen koko (pass. tunnisteet)	Suurempi	Suurempi	Pienempi	Pienempi
Tiedonsiirtonopeus	Alhainen	Kohtalainen	Nopea	Nopein
Läpäisevyys/ ympäristösietoisuus	Paras	Parempi	Huono	Huonoin
Tunnisteen hinta	Korkea	LF-tunnisteita halvempi	Alhaisin	Korkea
Tyypilliset sovellusalueet	Karjan seuranta, avainkorttipohjainen kulunvalvonta, oluttynnyrien jäljittäminen, autojen varkaudenestolaitteet	Kirjojen jäljittäminen kirjastoissa ja kirjakaupoissa, lentolaukkujen ja vaatteiden jäljittäminen, kulunvalvonta, henkilötunnistus, kuormalavojen ja kuljetuslaatikoiden seuranta	Seuranta toimitusketjuissa (esim. kuljetusvälineiden ja -yksiköiden jäljittäminen), varaston hallinta	Elektroniset tullausjärjestelmät, rautateiden valvonta, suurten ja liikkuvien yksiköiden (esim. junanvaunut ja rekka-autot) tunnistaminen

Matalan taajuuden (LF) RFID-järjestelmät toimivat induktioperiaatteella. Tekniikalla päästään suhteellisen pitkiin toimintaetäisyyksiin (yleensä < 1 metri) melko edullisillakin tunnisteilla. LF-taajuuksilla toimivien tunnisteiden virrankulutus on pieni alhaisen kellotaajuuden takia. Matalilla taajuuksilla voidaan saavuttaa erittäin hyvä luettavuus tiheidenkin ei-metallisten aineiden ja veden läpi. Matalilla taajuuksilla toimivat RFID-järjestelmät ovat yleisiä muun muassa autojen varkaudenestolaitteissa, kotieläinten tunnistuksessa, oluttynnyrien jäljittämisessä ja joissakin kulunvalvontasovelluksissa. Taajuusalueen tekniikat ovat harvinaisia logistisissa sovelluksissa. (Kärkkäinen 2006, s. 7–8)

Korkean taajuuden (HF) RFID-järjestelmät perustuvat virran indusointiin tunnisteelle, mutta eroavat toiminnallisuuksiltaan matalien taajuuksien järjestelmistä. Korkean taajuuden RFID-järjestelmissä käytetty 13,56 MHz:n taajuus on maailmanlaajuinen ISM-taajuusalue, joka on varattu teollisuuden, tieteen ja lääketieteen käyttöön. HF-järjestelmissä tiedonsiirto on suhteellisen nopeaa (tyypillisesti 106 kbit/s), lukuetäisyyden ollessa noin metrin luokkaa. HF-taajuudella toimivissa RFID-tunnisteissa on usein ohjelmoitavaa muistia. Korkea kellotaajuus mahdollistaa myös tiedon salauksen ja mikroprosessorien liittämisen tunnisteisiin. Korkean taajuuden RFID-tunnisteita käytetään muun muassa kirjakaupoissa ja kirjastoissa kirjojen jäljittämiseen, lentolaukkujen ja vaatteiden jäljittämiseen, rakennusten kulunvalvontaan, henkilöiden tunnistukseen sekä tuotteiden alkuperämerkintöihin. 13,56 MHz:n taajuudella on toteutettu myös logistisia sovelluksia (esim. kuormalavojen ja kuljetuslaatikoiden seuranta). HF-taajuuden RFID-järjestelmien yhtenä merkittävä heikkoutena on rajoittunut lukuetäisyys, mikä hanka-

loittaa tekniikan tehokasta hyödyntämistä monissa sovelluskohteissa. (Kärkkäinen 2006, s. 8)

Erittäin korkean taajuuden (UHF) RFID-järjestelmillä päästään pitkiin, noin 2–4 metrin lukuetäisyyksiin. Optimoiduilla RFID-tunnisteilla voidaan päästä jopa 10 metrin toimintaetäisyyksiin. UHF-taajuusalueen tunnisteissa on yleensä myös ohjelmoitavaa muistia. UHF-järjestelmien heikkoutena on kansainvälisen yhtenäisen taajuusalueen puuttuminen (Yhdysvalloissa on käytössä 913 MHz:n taajuus ja Euroopassa 868 MHz:n taajuus) sekä herkkyys toimintaympäristön häiriöille, joka tuo rajoituksia muun muassa tunnisteiden kiinnityspaikoille ja lähialueella käytettäville materiaaleille. UHF-taajuuksilla toimivat RFID-järjestelmät tarjoavat hyvän suorituskyvyn erityisesti logistisia sovelluksia ajatellen. UHF-järjestelmiä käytetään muun muassa kuljetusvälineiden (esim. henkilö- ja rekka-autot) ja kuljetusyksiköiden (esim. perävaunut, kuormalavat ja kontit) jäljitykseen rajatuilla alueilla. Esimerkiksi satamiin voidaan rakentaa UHF-taajuuksia hyödyntäen lukijaportteja, joilla voidaan tunnistaa portin läpi meneviä kohteita. (Kärkkäinen 2006, s. 8–9)

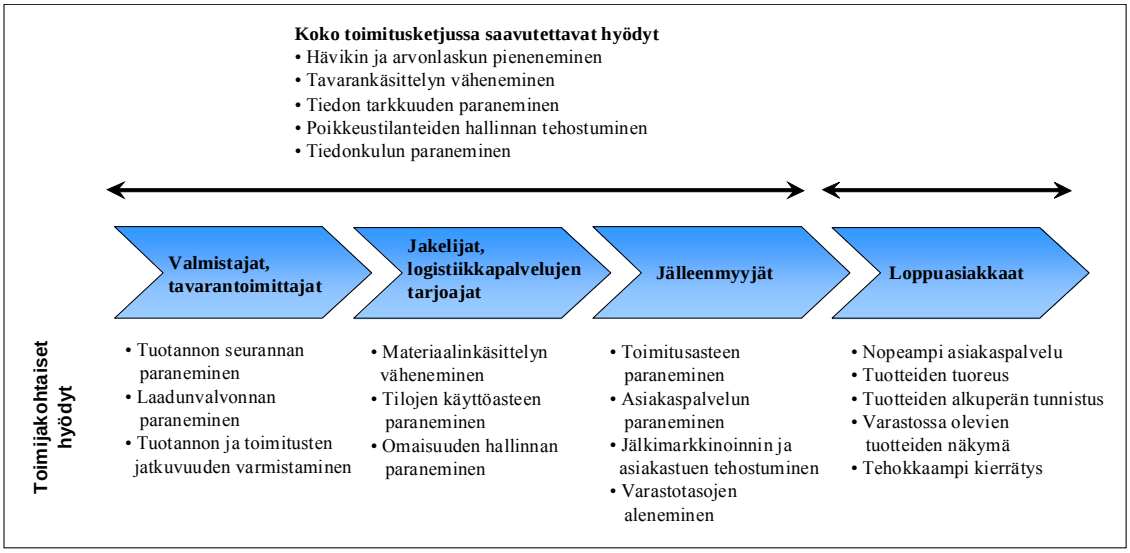
Mikroaaltotaajuuksilla (MF) toimivat RFID-järjestelmät käyttävät 2,45 GHz:n kansainvälistä ISM-taajuusaluetta, jota käytetään laajasti myös esimerkiksi telemetriassa ja langattomissa lähiverkoissa. Mikroaaltotaajuuksia käyttävillä RFID-järjestelmillä päästään suuriin tiedonsiirtonopeuksiin (passiivisilla tunnistella 10–50 kbit/s ja aktiivisilla tunnisteilla jopa 1 Mbit/s). Mikroaaltotaajuuksilla toteutettujen järjestelmien lukuetäisyydet ovat passiivisilla tunnisteilla 0,5–12 metriä ja aktiivisilla tunnisteilla parhaimmillaan yli 30 metriä. RFID-tunnisteen ja lukijalaitteen välisessä tiedonsiirrossa voidaan käyttää eritasoisia suojauksia. Mikroaaltotaajuuksien heikkoutena on niiden huono läpäisevyys: mikroaallot vaimenevat ja heijastuvat vettä tai elävää kudosta sisältävistä materiaaleista sekä heijastuvat metallisista esineistä. Mikroaallot läpäisevät kuitenkin paperia, pahvia, kuivaa puuta, tekstiilejä, maalia sekä muita huokoisia ja vähän heijastavia materiaaleja. Logistisissa sovelluksissa mikroaaltotaajuuksien RFID-järjestelmät ovat omiaan suurten ja toisinaan kovallakin vauhdilla liikkuvien yksiköiden (esim. junanvaunut, rekka-autot, perävaunut tai kontit) tunnistamisessa. Tällaiset sovellukset ovat tavallisesti hyvin kalliitta toteuttaa, mutta toisaalta ne tarjoavat yleensä hyvän lukutarkkuuden suurillakin tunnistettavan objektin nopeuksilla (erityisesti aktiivitunnisteita käytettäessä) ja mahdollistavat suuren tiedonsäilytyskyvyn (tunnisteeseen voidaan esimerkiksi ohjelmoida yksikön sisältämän lastin tietoja). (Kärkkäinen 2006, s. 9–10)

Kuten edellä on käynyt ilmi, RFID-tekniikan sovellusalueet vaihtelevat suuresti käytetyn taajuusalueen mukaan. RFID-järjestelmän suunnittelu täytyykin aina tehdä haluttu sovelluskohde ja toiminnallisuus huomioiden. Eri taajuusalueiden tekniikat soveltuvat kuitenkin pääsääntöisesti tietynlaisiin käyttökohteisiin. Taulukossa 3.6 on esitetty tyypillisiä RFID-tekniikan logistisia sovellusalueita eri taajuusalueilla.

Taulukko 3.6. RFID-tekniikan logistisia sovellusalueita eri taajuusalueilla. (Kärkkäinen 2006, s. 10)

	LF	HF	UHF	MF
Teollisuuslaitosten sisäinen reititys	X	X	(x)	
Lyhyen kantaman logistiset sovellukset		X	X	
Keskipitkän kantaman logistiset sovellukset (esim. jakelukeskuksen tunnistuksen automatisointi)			X	
Konttien, ajoneuvojen ja vaunujen tunnistus, tarvittaessa myös vauhdissa (esim. sataman portti)				X

RFID-tekniikan tarjoamat hyödyt ovat eri käyttökohteissa hyvin erilaisia. RFID-tekniikan avulla voidaan muun muassa tehostaa kulunvalvontaa, helpottaa maksusuoritusten tekemistä (esim. mobiilimaksaminen) ja parantaa maanjäristysten tarkkailua etätiedonkeruun avulla. Logistiikassa RFID mahdollistaa helpon tiedon keräämisen ja jakamisen eri osapuolten kesken, mikä tuo läpinäkyvyyttä toimitusketjuihin. Toimitusketjun läpinäkyvyyden avulla voidaan muun muassa lyhentää läpimeno- ja toimitusaikoja, pienentää varastoja toimitusketjun eri osissa, tehostaa resurssien hallintaa sekä parantaa poikkeamatilanteiden hallintaa. Suurimmat hyödyt RFID tarjoaa sellaisissa tilanteissa, joissa perinteisen viivakooditekniikan rajoitukset tulevat vastaan. RFID mahdollistaa tunnisteiden lukemisen huonoissakin olosuhteissa ilman näköyhteyttä parhaimmillaan jopa kymmenien metrien etäisyydeltä, tiedon tallentamisen ja päivittämisen tunnisteeseen, tunnisteiden lukemisen helpon automatisoinnin sekä hyvän tietoturvan arkaluontoisille sovelluksille. Viivakooditekniikalla ei ole mahdollista saavuttaa vastaavia ominaisuuksia. (Kärkkäinen 2006) RFID- ja viivakooditekniikan eroista on kerrottu tarkemmin luvussa 4.2.3. Kuvassa 3.15 on esitetty RFID-tekniikan tarjoamia hyötyjä tilaus-toimitus-ketjuissa.



Kuva 3.15. Esimerkkejä RFID-tekniikan tarjoamista hyödyistä tilaus-toimitus-ketjuissa. (mukaillen Punakivi 2004; Tajima 2007, s. 265–267)

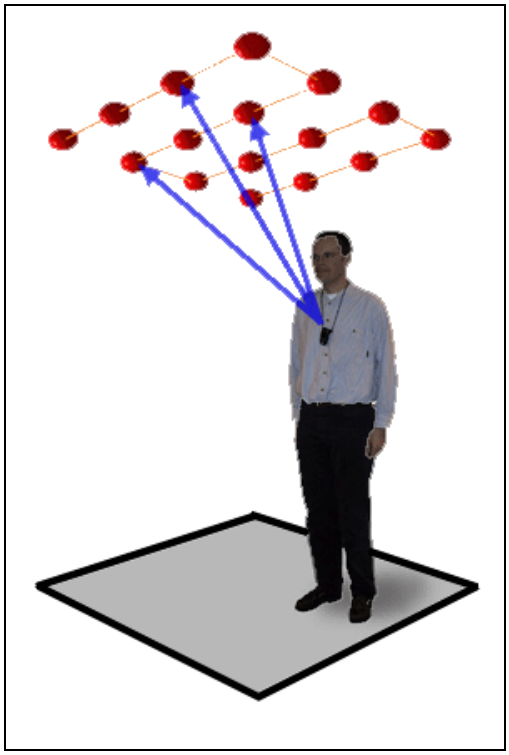
RFID-tekniikalla on sen lukuisista hyvistä ominaisuuksista huolimatta myös monia tekniikan yleistymistä hidastavia haasteita. RFID-tekniikan yleistymistä ovat erityisesti hidastaneet tekniikan korkea hinta, joissakin sovelluksissa lukutapahtuman epävarmuus, kokemuksen puute käytännön sovelluksissa sekä tekniikan integroinnin haasteellisuus

yrityksen tietojärjestelmiin ja eri toimijoiden välisiin rajapintoihin. Hyödynnettäessä RFID-tekniikkaa koko toimitusketjun matkalla haasteeksi muodostuu erityisesti se, miten kustannukset ja hyödyt jaetaan oikeudenmukaisesti eri toimijoiden kesken. Yhtenä haasteena on myös se, että RFID lisää yrityksen järjestelmiin tallentuvan tiedon määrää, jolloin järjestelmät saattavat ylikuormittua ja samalla olennaisen tiedon löytäminen saattaa vaikeutua. Lisäksi RFID-tekniikkaa vaatii vielä vuosien tuotekehitystä, jotta RFID-tekniikasta tulisi hinnaltaan ja luotettavuudeltaan moneen eri käyttötarkoitukseen sopiva yleiskäyttöinen tunnistustekniikka. (Permala et al. 2006, s. 34–36)

3.3.6 Ultraäänipaikannus

Ultraääni on ääntä, jonka taajuus on ihmisen korvan kuuloalueen yläpuolella (> 20 kHz). Ultraääneen perustuvaa paikannusta on kehitetty lähinnä teollisuus- ja studioympäristöihin. Ultraäänipaikannus perustuu signaalien kulkuaikojen kolmiomittaukseen. Ultraäänipaikannus muistuttaa pseudoliittipaikannusta, mutta ultraäänipaikannuksessa moduloidaan radiolähetteen sijaan ultraääneen koodaus. Ultraäänisignaali vastaanotetaan mikrofonilla ja analysoidaan laskennallisesti samaan tapaan kuin satelliittipaikannuksessa. Tehtävään soveltuvat tavanomaiset kaiuttimet ja mikrofonit. Esimerkiksi matkapuhelin tai jonkin muu mobiililaite on mahdollista paikantaa laitteen oman mikrofonin avulla, mikäli paikannettavassa laitteessa on asennettuna sijainnin laskentaan soveltuva ohjelmisto. Ultraäänipaikannuksella voidaan ääniaaltojen hitaasta etenemisestä johtuen päästä aina sentti- ja millimetritarkkuuksiin. Ultraäänipaikannuksen asianmukainen toiminta edellyttää kuitenkin sitä, että äänisignaalin eteneminen äänilähteestä eli kaiuttimesta äänisignaalin vastaanottavaan mikrofoniin on esteetöntä. (Hazas & Ward 2002, s. 264; Rainio 2004, s. 9)

Ward et al. (2002) kehittämä Active Bats -paikannusjärjestelmä on esimerkki ultraäänipaikannuksesta. Paikannettavaan henkilöön tai esineeseen kiinnitetty lähetin (bat) lähettää lyhyitä ultraäänipulsseja, joiden kulkuaika kattoon kiinnitettyihin vastaanottimiin mitataan. Äänen nopeus tunnetaan, minkä avulla lähettimen ja jokaisen vastaanottimen välinen etäisyys voidaan laskea. Kolmiulotteisen paikan laskeminen edellyttää vähintään kolmen etäisyyden tuntemista. Jos paikannettavaan kohteeseen on kiinnitetty kaksi lähetintä, myös kohteen suuntautuneisuus saadaan selville. Järjestelmän avulla on niin ikään mahdollista saada tietoa ihmisen kasvojen suunnasta. Tällaista ultraäänijärjestelmää voidaan hyödyntää esimerkiksi videoneuvottelujärjestelmissä. Järjestelmällä päästään noin 3 senttimetrin paikannustarkkuuteen kolmessa dimensiossa. Kuvassa 3.16 on havainnollistettu kyseisen ultraäänipaikannusjärjestelmän perustoimintaperiaatetta.



Kuva 3.16. Active Bats -ultraäänipaikannusjärjestelmän toimintaperiaate. (Ward et al. 2002)

3.4 Muita tuoteseurannassa hyödynnettäviä tekniikoita

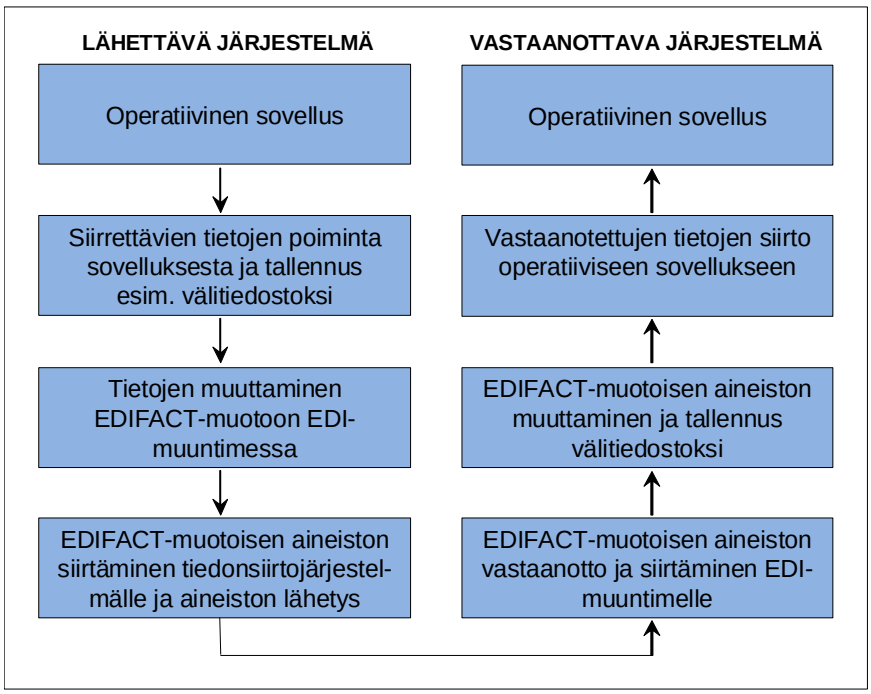
Seuraavissa alaluvuissa esitellään joitakin muita tekniikoita, joita on mahdollista hyödyntää satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa. Tarkasteltaviksi tekniikoiksi on valittu organisaatioiden väliseen sanomien välittämiseen tarkoitettu EDI, kansallisia merenkulun sidosryhmiä palveleva meriliikenteen tietojärjestelmä PortNet, automaattinen meriliikenteen alusten tunnistusjärjestelmä AIS ja seurantatiedon jakamisen mahdollistava Internet.

3.4.1 EDI

EDI (Electronic Data Interchange) on sähköinen tiedonsiirtotapa, joka on tarkoitettu organisaatioiden väliseen määrämuotoisen liiketoimintatiedon välitykseen kahden organisaation tietojärjestelmien välillä. EDI-termistä käytetään Suomessa myös lyhennettä OVT eli Organisaatioiden Välinen Tiedonsiirto. EDI-tekniikka sai alkunsa vuonna 1987, jolloin kansainvälinen standardointiorganisaatio ISO hyväksyi EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport) -standardin (Auvinen et al. 1994, s. 2). EDIFACT-kielioppi on YK:n Euroopan Talouskomission alaisen UN/CEFACT:n (Centre for Trade Facilitation and Electronic Business) kehittämä rakenteinen tiedon esitystapa, joka luotiin yhdenmukaistamaan yritysten välistä tiedonsiirtoa niiden välittäessä kauppatapahtuman asiakirjoja keskenään elektronisesti. EDIFACT-kielioppi koostuu sanomakuvauksista eli sanomista, jotka sisältävät ohjeet siitä, miten tietyn kauppatapahtuman asiakirjojen tiedot tulee esittää siirrettäessä niitä sähköi-

sesti. Alun perin EDIFACT-sanomia käytettiin ainoastaan kaupan, teollisuuden ja kuljetuksen alueella, mutta nykyisin sanomia voivat hyödyntää monet muutkin alat, kuten pankki, tullaus, matkailuala ja terveydenhuolto.

Elektroninen tiedonsiirto on ollut käytössä Suomessa kotimaan tilaus- ja laskutustoiminnassa useita vuosia. Ensimmäisinä EDI-tiedonsiirtoa alkoivat käyttää suuret tukkuliikkeet. Myös kuljetus- ja huolinta-alalla EDI:n käyttö on aloitettu varhain. (Suomen kuljetusopas 2009b) Esimerkkinä EDI-tiedonsiirrosta voidaan mainita erilaisten asiakirjojen, kuten tilausten, laskujen, poikkeamasanomien, tullausasiakirjojen ja hinnastojen välittäminen sähköisesti vastaanottavaan yritykseen, jossa ne puretaan automaattisesti suoraan tietojärjestelmään (Kim & Lee 2008). Kuvassa 3.17 on esitetty tiedonkulun perusperiaate EDI-tiedonsiirtoa käytettäessä. Kuljetusten seurannassa ja ohjaamisessa EDI:n avulla on mahdollista korvata paperiset kuljetusasiakirjat (esim. rahtikirja ja konossementti) sähköisesti siirrettävillä sanomilla. Ulkomaanliikenteessä käytetään nykyään kuitenkin pääasiassa paperiasiakirjoja, koska niiden avulla voidaan sekä ohjata tavaran kulkua että vahvistaa kuljetussopimuksia. Kuljetusvälineiden, kuljetusyksiköiden ja yksittäisten tuotteiden seurannassa voidaan käyttää GPS-satelliittipaikannusjärjestelmää, joka yhdistettynä EDI-järjestelmään mahdollistaa tietojen muokkauksen EDI-järjestelmän standardityökaluilla. (Suomen kuljetusopas 2009b)



Kuva 3.17. Tiedonkulku EDI-sanomien välityksessä. (Hakala 2007, s. 12)

Kirjallisuudesta on löydettävissä useita tutkimuksia, joissa tulee esille EDI-pohjaisen liiketoiminnan avulla saavutettavia hyötyjä verrattuna manuaalisesti hoidettuihin prosesseihin. EDI:n keskeinen hyöty on sen tuoma transaktiovirran automatisointi. EDI-tiedonsiirtoon pohjautuva toimintatapa nopeuttaa yrityksen prosesseja vähentäen samalla virheiden määrää ja kustannuksia. Käyttämällä elektronista tiedonsiirtoa voidaan saavuttaa merkittävää hyötyä esimerkiksi tuontitullauksen yhteydessä: paperiasiakirjoja ei enää tarvita, ja lisäksi tulli käsittelee EDI-tullausilmoituksen yleensä täysin automaatti-

sesti. Yritykset käyttävät EDI-tiedonsiirtoa usein kuitenkin vain muutamien liiketoimintakumppaneidensa kanssa ja vain muutaman erilaisen tiedon välittämiseen. (Nurmilaakso 2008) Suurimmat hyödyt EDI-sanomien käytöllä saavutetaan kuitenkin vasta, kun tieto kulkee elektronisesti koko toimitusketjun läpi. EDI-järjestelmää ei tule jättää irralliseksi tietojärjestelmämoduuliksi, josta ei ole toimivia yhteyksiä yrityksen muihin tietojärjestelmiin. EDI:n käyttö ei hyödytä yritystä, jos saapuva tieto tulostetaan paperille ja syötetään operatiivisiin sovelluksiin tai jos lähtevä tieto tulostetaan sovelluksista paperille ja syötetään käsin EDI-järjestelmään elektronista tiedonsiirtoa varten. (Pelkonen 1997, s. 20)

Perustelluinta EDI:n käyttö on silloin, kun yritysten välillä kuljetetaan suuria tavaravirtoja ja yritykset ovat vakioyhteistyökumppaneita. Pienimpien yritysten ei usein ole mielekästä käyttää EDI-tekniikkaa, sillä organisaatioiden välisten EDI-yhteyksien rakentaminen on kallista, ja tavaravolyymien tulee olla melko suuria, jotta järjestelmä maksaisi itsensä takaisin. EDI:n käyttö onkin tästä syystä keskittynyt suuriin yrityksiin. Taloudellisten resurssien lisäksi pk-yrityksiltä puuttuu tarvittava organisationaalinen valmius EDI-järjestelmän käyttöönottoon, ja eivätkä ne koe hyötyjä tarpeeksi suuriksi. EDI:ä käyttävät yritykset ovat yleensä asiakassuuntautuneita, pitkäikäisiä ja isoja yrityksiä, jotka tunnistavat sekä EDI:n strategiset että operationaaliset hyödyt. (Nurmilaakso 2008, s. 372)

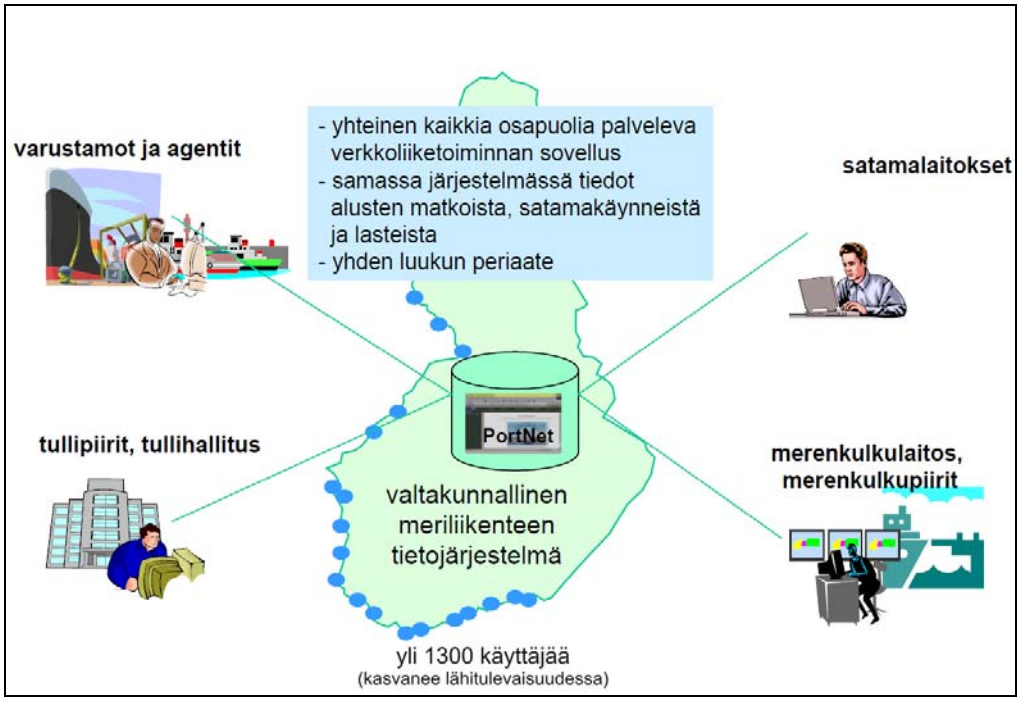
Eräs EDI-tekniikan käyttöön liittyvä ongelma on standardien moninaisuus. On esimerkiksi mahdollista, että yritys joutuu käyttämään erimuotoisia EDI-sanomia eri asiakkaidensa kanssa asiakasvaatimusten takia. Oman haasteensa tuo myös isojen ja pienten yritysten välinen kuilu EDI:n käytössä. Vaarana on, että yritykset (usein pk-yritykset), joilla ei ole käytössä EDI-yhteyksiä, eivät pääse osaksi toimitusketjua, jos ne eivät integroi logistiikkaprosessejaan EDI-yhteyksien avulla isompien kumppaniensa tavoin. (Stefansson 2002, s. 136) EDI-järjestelmän käyttöönottoa voivat jarruttaa lisäksi seuraavat tekijät (Pelkonen 1997, s. 43):

- kustannukset (esim. räätälöinti)
- käyttöönoton monimutkaisuus
- EDI:n hyötyjä ei ymmärretä
- joissain tapauksissa vain toinen osapuoli hyötyy EDI:n käytöstä
- sanomaliikenteen valvontaa ei ole aina automatisoitu, joten EDI edellyttää käyttäjien aktiivisuutta.

3.4.2 PortNet

PortNet on kansallinen merenkulun sidosryhmiä palveleva meriliikenteen tietojärjestelmä, joka kattaa sekä satamatoiminnot että alusliikenteen ohjaukseen, valvontaan ja luotsaukseen liittyvät toiminnot ja palvelut. Järjestelmästä saadaan tietoja muun muassa alusten aikatauluista, lasteista ja lastien sisältämistä vaarallisista aineista. PortNet-yhteisö aloitti toimintansa vuonna 1992, kun Suomen suurimmat satamat, Merenkulkulaitos ja Tulli alkoivat toimintojen tehostamiseksi kehittää merenkulun tavaraliikenteen eri toimijoiden välisiä toimintatapoja ja yhteistyömallia sekä kansallista meriliikenteen

tietojärjestelmää. PortNetin nykyinen Internet-pohjainen tietojärjestelmä kehitettiin vuosina 1998–2000. PortNet kattaa nykyään koko maan meriliikenteen ja on merkittävä osa meriliikenteen telematiikan informaatioinfrastruktuuria. Järjestelmän ydin muodostuu satamalaitoksille ja muille viranomaisille välitettävistä meriliikenteeseen liittyvistä tiedoista ja vastaavasti näiden organisaatioiden tarjoamista meriliikenteen tietopalveluista sekä järjestelmän tarjoamista toimintojen tehostamishyödyistä (kuva 3.18). PortNetin käyttäjäkunta on laajentunut kattamaan viranomaisten ja satamien lisäksi myös yksityisiä toimijoita. PortNet-järjestelmällä lasketaan olevan yli 1300 käyttäjää, mutta Tullin toimintojen sähköistäminen saattaa lähivuosina kasvattaa käyttäjäkunnan moninkertaiseksi. PortNet-konseptia voidaan pitää kansainvälisestikin tarkasteltuna edistyksellisenä. (Hautala et al. 2003, s. 13; Rautiainen & Rinta-Keturi 2005, s. 13)

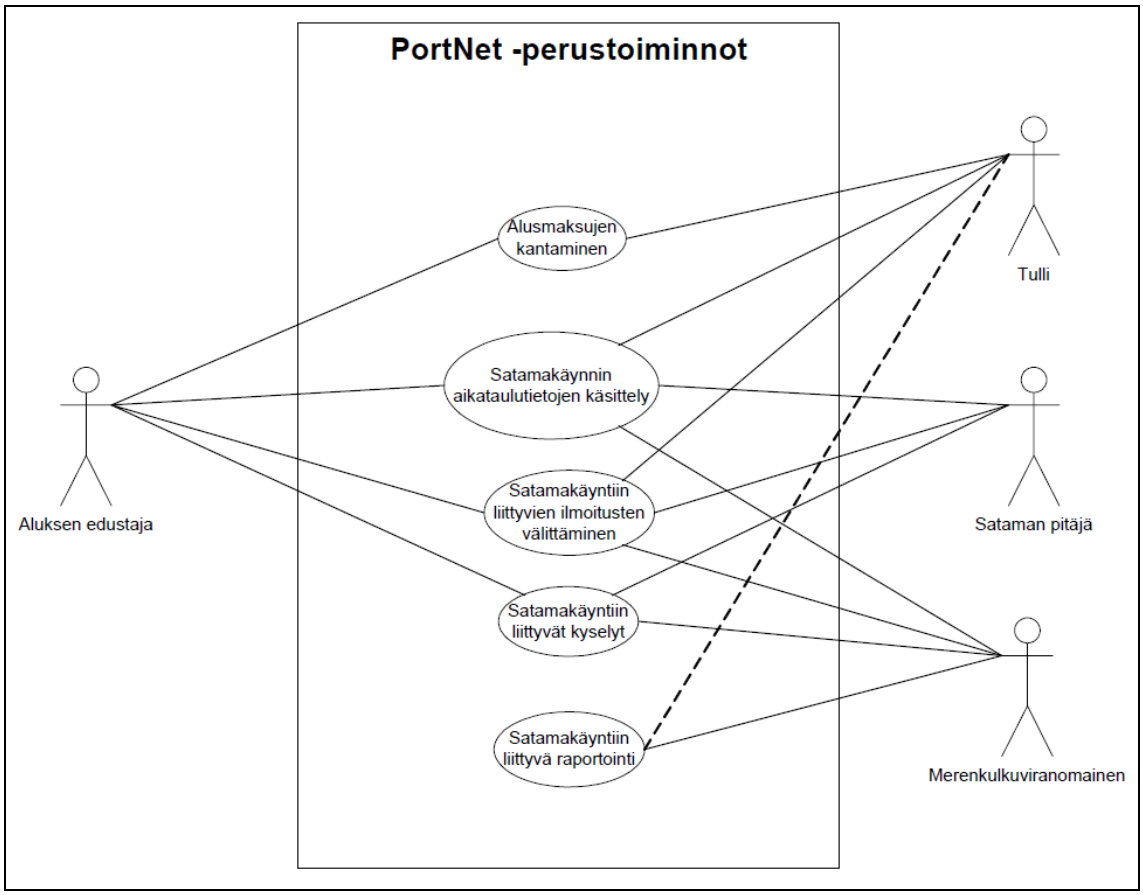


Kuva 3.18. PortNet-palvelun peruskonsepti. (mukaillen Hautala et al. 2003, s. 17)

PortNet-yhteisön jäsenorganisaatiot ovat Merenkulkulaitos (nykyinen isäntäorganisaatio), Tullihallitus sekä 20 satamaa (Hamina, Hanko, Helsinki, Inkoo, Kaskinen, Kemi, Kokkola, Kristiinankaupunki, Kotka, Loviisa, Naantali, Oulu, Pietarsaari, Pori, Porvoo, Rauma, Tornio, Turku, Uusikaupunki ja Vaasa). Nämä kolme jäsenorganisaatiota vastaavat myös PortNet-järjestelmän kehittämisestä ja ylläpitämisestä. PortNetin muita keskeisiä sidosryhmiä ovat liikenne- ja viestintäministeriö (PortNet-johtoryhmän puheenjohtajuus), Suomen Laivameklariliitto, Suomen Satamaliitto, varustamot ja muut tahot (esim. tietotekniikkatoimittajat ja asiantuntijat). (Hautala et al. 2003, s. 18)

Nykyisen PortNet-palvelun (http://www.portnet.fi) ydin muodostuu aluksen satamakäyntiin liittyvien tietojen välittämisestä aluksen edustajan, Tullin, satamanpitäjän ja merenkulkuviranomaisen välillä (kuva 3.19). Aluksen edustaja tuottaa tietoa, jota muut osapuolet hyödyntävät. PortNetin avulla voidaan yhdellä ilmoituksella jakaa tietoa usealle ilmoituksia edellyttävälle osapuolelle, mikä helpottaa oleellisesti ilmoittajan työtä. PortNetin pääasialliset toimijat ovat (Merenkulkulaitos 2009):

- laivameklarit (tallentavat kaikki ilmoitustiedot)
- tulliviranomaiset (tarkistavat kaikki ilmoitustiedot)
- satamat (käyttävät tietoa laskutuksessa, tilastoinnissa ja vaarallisten aineiden kuljetusten seurannassa)
- merenkulkuviranomaiset (käyttävät tietoja liikenteen seurantaan)
- merivartiosto (käyttää tietoja alusliikenteen valvontaan)
- huolintaliikkeet ja satamaoperaattorit (kyselevät alusten aikataulutietoja).



Kuva 3.19. Nykyisen PortNet-palvelun perustoiminnot. (Rautiainen & Rinta-Keturi 2005, s. 15)

PortNet-järjestelmään syötetään kaikista Suomen satamiin kohdistuvista aluskäynneistä alusilmoitukset, lasti-ilmoitukset, vaarallisen lastin ilmoitukset sekä alusjäteilmoitus tai tieto alusjätepoikkeusluvasta. Tullin luvan saaneet alukset voivat toimittaa nämä ilmoitukset sähköisesti PortNetiin joko web-ilmoituksena tai EDIFACT-sanomana. PortNet antaa kullekin satamakäynnille tulonumeron, jota käytetään yleisilmoituksesta lähtien koko tullausketjun perustana. Tiedot ovat PortNetin avulla eri sidosryhmien hyödynnettävissä. (Merenkulkulaitos 2009) Taulukkoon 3.7 on koottu PortNet-järjestelmällä ilmoitettavia perustietoja.

Taulukko 3.7. PortNet-järjestelmän perustiedot. (Rautiainen & Rinta-Keturi 2005, s. 16)

Perustiedot
- Alusrekisteri
- Alusten edustajat ja omistajat
- Merenkulkumaksutaulukot
- Satamat, satamanosat ja laiturit
- Tullitoimipaikat

Satamakäynnin tiedot
- Luettelo satamakäynneistä
- Palvelupyynnöt satamalle
- Satamakäynnin aikataulutiedot (ETA, ATA, ETD, ATD)
- Ajantasatiedot VTS/AIS-järjestelmistä (ETP, ATP)

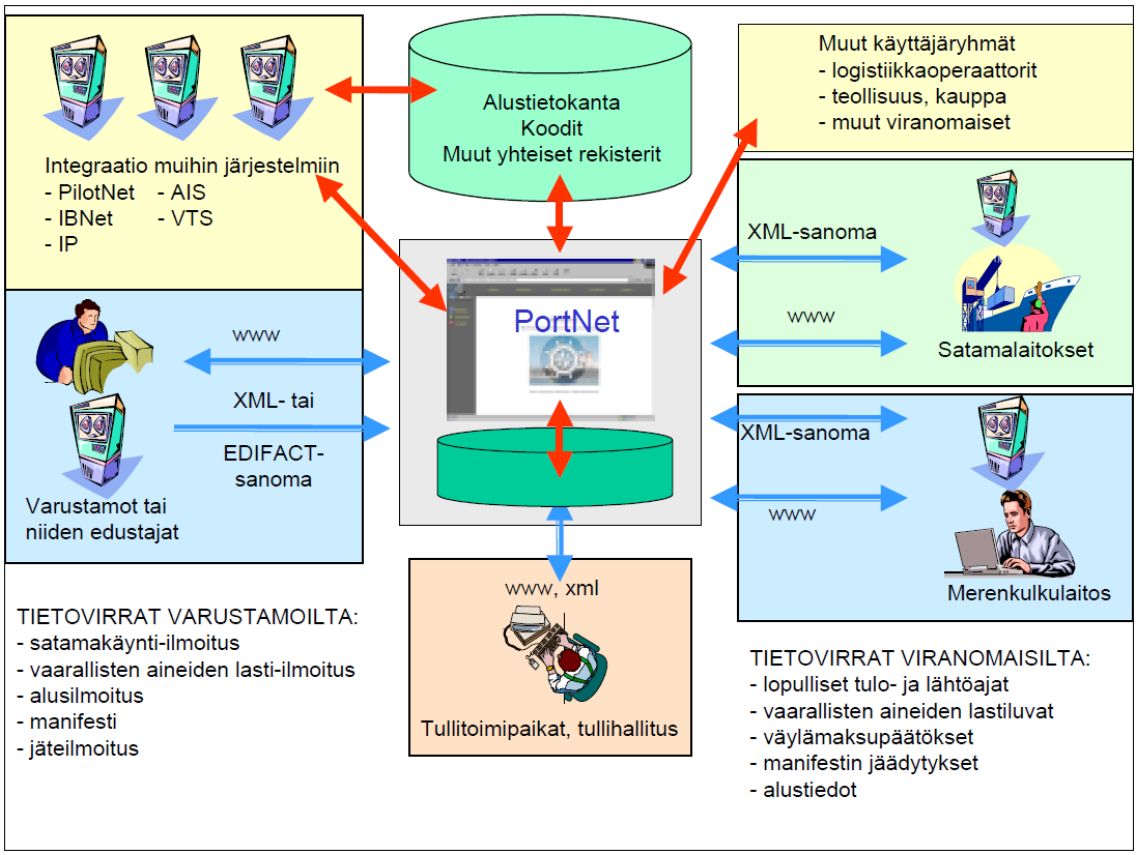
Satamakäyntiin liittyvät ilmoitukset
- Tullin alusilmoitus
- Vaarallisen lastin ilmoitus
- Lasti-ilmoitus (lastimanifesti)
- Lasti-ilmoitus (tilastoilmoitus)
- Alusjäteilmoitus tai tieto alusjätepoikkeusluvasta
- IMO-FAL-ilmoitukset
- Turvatoimi-ilmoitus (IMO ISPS:n edellyttämä turvailmoitus)

Alusmaksut
- Vuosiväylämaksu
- Lastimaksu
- Ulkomaanliikenteen kertamaksu
- Virhemaksu tai maksunkorotus

Satamakäyntiin liittyvät kyselyt
- Aikataulut
- Lastitilastot ja manifesti
- Vaarallisten lastien raportit
- Alusjäteilmoitukset tai tiedot alusjätepoikkeusluvista
- Palvelupyynnöt satamalle
- Vaarallisten aineiden kuljetusluvat

Satamakäyntiin liittyvät raportit
- Aikataulut
- Lastitilastot ja manifesti
- Vaarallisten lastien raportit

Kuvassa 3.20 on havainnollistettu PortNetin sidosryhmiä sekä tiedonkulkua PortNet-järjestelmän ja sidosryhmien järjestelmien välillä. PortNet-yhteisössä on sovittu, miten eri toimijat syöttävät tietoa PortNet-järjestelmään. Eri osapuolilla on mahdollisuus saada tietoa sovituin käyttöoikeuksin yhteisestä tietopankista omiin tarpeisiinsa erilaisina raportteina tai kyselyinä. Tiedon välitys tapahtuu joko suoraan Internetin kautta tai XML- ja EDI-sanomina. Palvelun käyttäminen edellyttää yhteisön käyttäjiltä sitoutumista sovittuihin prosesseihin ja aikatauluihin tietojen syötössä sekä tiedon oikeellisuuden varmistamisessa.



Kuva 3.20. PortNet-järjestelmän sidosryhmät ja tiedonkulku järjestelmien välillä. (Hautala et al. 2003, s. 19)

PortNet on ollut meriliikenteen eri sidosryhmien käytössä jo lähes 10 vuotta ja näyttääkin siltä, että se on vakiinnuttanut asemansa keskeisenä merenkulun tietojärjestelmänä. PortNet on tuonut mukanaan lukuisia hyötyjä, joiden on todettu ylittävän selvästi järjestelmän kehittämisestä ja ylläpitämisestä aiheutuneet/aiheutuvat kustannukset. Järjestelmän mukanaan tuomia hyötyjä ovat muun muassa taloudelliset säästöt (etupäässä työaikasäästöjen muodossa) ja kannattavuuden paraneminen, toimintatapojen yhdenmukaistuminen, tietojen saatavuuden paraneminen (yksi yhteinen tietovarasto), toimintojen automatisoituminen, tiedon luotettavuuden paraneminen ja tietovirheiden väheneminen, tiedonkulun muuttuminen ajantasaisemmaksi, meri- ja satamaliikenteen tilastoinnin helpottuminen, nopeutuminen ja monipuolistuminen, meriturvallisuuden ja ympäristötekijöiden parantuminen sekä resurssien (esim. henkilöstö ja kalusto) käytön tehostuminen (Hautala et al. 2003). PortNetin hyödyistä ja muusta vaikuttavuudesta voi lukea enemmän Hautala et al. (2003) Liikenne- ja viestintäministeriön toimeksiannosta tekemästä selvityksestä, jossa on käsitelty PortNetin vaikuttavuutta todella kattavasti.

PortNet-palvelun käyttäjämäärän lisääntymisen ja kansainvälisten turvamääräysten tiukentumisen vuoksi PortNet-järjestelmää on alettu kehittää vastaamaan nykypäivän vaatimuksia. Uusi PortNet 2 -järjestelmä muun muassa lisää ja parantaa sähköistä ilmoittamista sekä palvelee aiempaa järjestelmää suurempaa käyttäjäryhmää. PortNet 2 -sovelluksen koekäyttö on aloitettu kesäkuussa 2009 ja sen on tarkoitus olla tuotantokäytössä lokakuusta 2009 lähtien. (PortNet 2009)

3.4.3 AIS

AIS (Automatic Identification System) on automaattinen merenkulun alusten tunnistusjärjestelmä, joka mahdollistaa alusten seurannan ja tunnistamisen alusten kesken. Lisäksi AIS-järjestelmän avulla alusliikenne- eli VTS-palvelun (Vessel Traffic Service) meriliikennevalvojat pystyvät valvomaan ja ohjaamaan meriliikennettä. AIS-järjestelmä on pakollinen kaikille aluksille, joiden bruttovetoisuus on yli 300 tonnia. AIS toimii radiotaajuudella ja antaa yksityiskohtaista tietoa vesialueen liikennetilanteesta kuuluvuusalueella. Järjestelmän keskeinen osa on alukseen asennettava laite, joka lähettää ja vastaanottaa automaattisesti muutaman sekunnin välein aluksen tunnistus- ja sijaintitietoja. AIS-laite koostuu satelliittipaikantimesta, prosessorista ja VHF-radiosta. Laite kerää dynaamista tietoa (esim. aluksen sijainti, nopeus ja määränpää) aluksen muista elektronisista navigointijärjestelmistä. Staattiset tiedot, kuten aluksen nimi ja koko, syötetään laitteeseen sitä asennettaessa alukseen. (Høy 2003)

Aluksen AIS-laite lähettää viestejä muille aluksille, VTS-palveluun ja meripelastuskeskukseen sekä ottaa vastaan näiden lähettämiä viestejä. Kun radioviesti saapuu AIS-laitteeseen, se muuttuu digitaaliseksi signaaliksi ja siirtyy välittömästi aluksen tutkaan tai digitaaliseen merikarttaan. Muuttuvat tiedot, kuten paikkatieto, suunta ja nopeus, lähetetään 2–10 sekunnin jaksoissa. Aluksen tiedot, kuten koko, kuorman tyyppi ja määränpää, lähetetään harvemmin. Viestin lähettäneen aluksen kuva ilmestyy aluksen navigointinäytölle. Myös muut aluksen tunnistustiedot on luettavissa näytöltä. AIS käyttää vuorottain kahta meri-VHF-kanavaa, jotka ovat 87 ja 88, eli 161,975 ja 162,025 MHz. Näillä kanavilla tiedot lähetetään lyhyinä datapurskeina hyvin määritellyissä ja synkronoiduissa ajanjaksoissa. Viimeksi lähetetty sanoma on aina ajankohtaisin, riippumatta kanavasta. Viesti lähetetään 9,6 kbit/s tiedonsiirtonopeudella, ja lähetyksessä käytetään GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) -modulaatiota. Tiedonsiirrossa käytetään joko 25 kHz:n tai 12,5 kHz:n kaistanleveyttä. (Høy 2003)

AIS-järjestelmä mahdollistaa viestin lähettämisen sekä kaikille kuuluvuusalueella oleville aluksille että yhdelle alukselle kerrallaan. AIS:n kautta on mahdollista kohdistaa esimerkiksi kääntymiskehotus tietylle laivalle ilman, että radiosanoman kuullut toinen alus ryhtyy tarpeettomiin toimenpiteisiin. AIS-laite vähentää myös keskustelun tarvetta silloin, kun komentosillalla työskentelevillä on muutoinkin paljon tekemistä. Tämä pienentää inhimillisen virheen riskiä. AIS:n avulla voidaan tiedottaa esimerkiksi, että laiva kuljettaa vaarallista rahtia, ui tavallista syvemmällä tai käyttää poikkeuksellista väylää. (Høy 2003)

AIS-järjestelmän ja perinteisen tutkan keskeisin ero on se, että tutka vastaanottaa signaaleja, joita se on itse lähettänyt ja jotka ovat heijastuneet takaisin kohteesta. AIS-järjestelmässä vastaanotin rekisteröi toisista AIS-laitteista peräisin olevia radiotaajuudella välitettyjä tietoja. Tutkassa syntyy viive, joka voi vääristää käsitystä muiden alusten nopeudesta ja suunnasta. Koska laskentatapa on suhteellinen eli aluksen omaa vauhtia ja kulkusuuntaa ei oteta huomioon, tutkalta kuluu aina jonkin verran aikaa esimerkiksi toisen aluksen kääntymisen havaitsemiseen. AIS-järjestelmän etuihin kuuluu myös se, että huono sää ja kova merenkäynti eivät vaikuta radioaaltoihin. Sen sijaan tutka ei aina havaitse pieniä aluksia ja poijuja meren myrskytessä. Lisäksi esimerkiksi saaren tai

niemen takana olevasta aluksesta on mahdotonta saada tutkahavaintoa, koska tutkasignaalit eivät läpäise kiinteää estettä, kun taas AIS-järjestelmässä tieto sen sijainnista ja kurssista välittyy luotettavasti. AIS vaatii kuitenkin riittävän tiheän tukiasemaverkon, jotta ei synny vaarallisia katvealueita. (Høy 2003)

AIS-järjestelmää ei varsinaisesti käytetä tuoteseurantaan, vaan sen avulla voidaan seurata alusten liikkeitä meri- ja sisävesialueilla (Saimaan syväväylät). AIS-järjestelmällä voidaan kuitenkin periaatteessa seurata tavaratoimitusten etenemistä lähes reaaliaikaisesti esimerkiksi WWW-selaimen kautta, jos tiedetään, mihin alukseen seurattava tavaratoimitus on lastattu. Tällaiselle seurantatiedolle ei kuitenkaan ole yleensä tarvetta, koska useimmissa tapauksissa tavaratoimitusten seuraamiseksi vesikuljetuksen aikana riittää aluksen arvioitu saapumisaika (ETA) satamaan.

3.4.4 Seuranta Internetissä

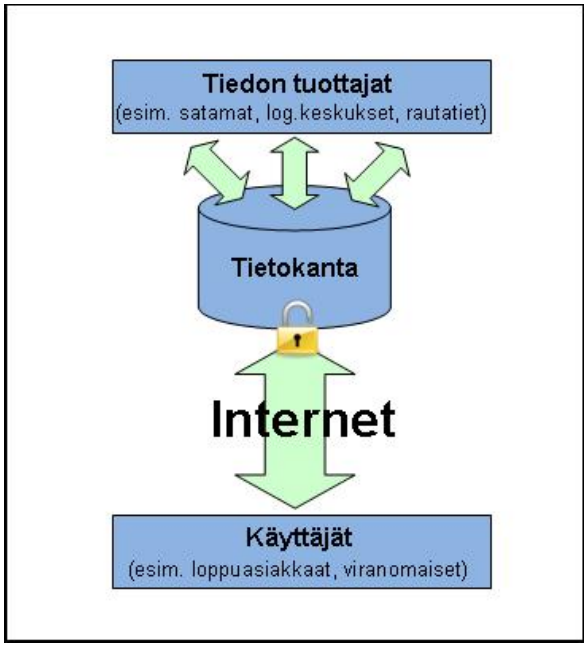
Internet on maailmanlaajuinen tietoverkko, joka yhdistää lukuisia lokaaleja tietoverkkoja toisiinsa (kuva 3.21). Internetin runko muodostuu ympäri maailmaa sijaitsevista palvelimista eli servereistä, joihin on tallennettu Internetissä esitetty tieto ja kaikki käyttäjälle tarjottavat palvelut. Palvelimet on yhdistetty toisiinsa erilaisilla tietoliikennetekniisillä ratkaisuilla. Palvelimet ovat usein osa jotakin lähiverkkoa, joka koostuu esimerkiksi yrityksen tai muun yhteisön lähiverkoksi liitetyistä asiakastietokoneista. Kun käyttäjä muodostaa yhteyden Internetiin esimerkiksi sähköposti- tai selainohjelmalla, ottaa käyttäjän tietokoneelle asennettu ohjelma yhteyden palvelinkoneessa olevaan palvelinohjelmistoon. Käyttäjän tietokone lähettää palvelupyyntöjä palvelinkoneelle, joka vastaa pyyntöihin lähettämällä käyttäjän tietokoneelle pyyntöjä vastaavaa informaatiota, esimerkiksi käyttäjän haluaman WWW-sivun.

Kuva 3.21. Internetin perusrakenne ja toimintaperiaate. (Suomen Internetopas 2009)

Internet on avoinna kaikille, jotka haluavat liittyä siihen noudattamalla Internetin teknisiä viestintäsääntöjä eli protokollia. Internet koostuukin nykypäivänä miljoonista eri puolilla maailmaa sijaitsevista tietokoneista ja käsittää useita kymmeniä miljardeja WWW-sivuja. Yritysmaailma on yksi suurimmista Internetin hyödyntäjistä. Internet on helpottanut merkittävästi yritysten maailmanlaajuista verkostoitumista. Internetiä voidaankin pitää yhtenä globalisaation liikkeelle panevana voimana. Internetin avulla sekä yritykset että niiden asiakkaat voivat helposti kommunikoida ja vaihtaa erilaista toimintaansa kuuluvaa tietoa keskenään sähköistä tiedonsiirtoa hyödyntämällä.

Tuoteseurannan kannalta Internet ei yksistään ole varsinainen tuoteseurantatekniikka, vaan se mahdollistaa helpon tavan jakaa seurantatietoa verkostoon kuuluvien osapuolien kesken. Internetin kautta verkostoon kuuluvat yritykset ja asiakkaat voivat esimerkiksi seurata tavaratoimituksia WWW-selaimen kautta ajasta tai paikasta riippumatta. Internet-pohjaisten tuoteseurantasovellusten etuna on myös se, että niiden käyttäminen ei vaadi erillisten kalliiden tietoliikenneyhteyksien ja tietojärjestelmien rakentamista, joten sovellukset ovat helposti myös pienten yritysten käytettävissä. Lisäksi Internet-tuoteseurantasovellukset mahdollistavat tiedon yksinkertaisen jakamisen usean osapuolen kesken samanaikaisesti.

Tyypillisiä Internet-pohjaisia seurantatietoa tarjoavia sovelluksia ovat muun muassa merikuljetuksista tietoa tarjoava PortNet (ks. tarkemmin luku 3.4.2) ja junavaunujen seuraamiseen tarkoitettu RailTrace (ks. tarkemmin luku 2.4). Nämä sovellukset ovat extranetin tapaisia järjestelmiä, joiden välityksellä tietoa voidaan jakaa yhteistyökumppanien kesken käyttäjäkohtaisesti määriteltyjen käyttöoikeuksien mukaan. Esimerkiksi PortNet- ja RailTrace-järjestelmiin käyttöoikeuden saaneet käyttäjät voivat seurata tavaratoimitusten kulkua kaikkialla, missä on käytössä Internet-yhteys. Kuvassa 3.22 on esitetty Internet-pohjaisen tuoteseurantasovelluksen toimintaperiaate.



Kuva 3.22. Internet-pohjaisten tuoteseurantasovellusten toimintaperiaate.

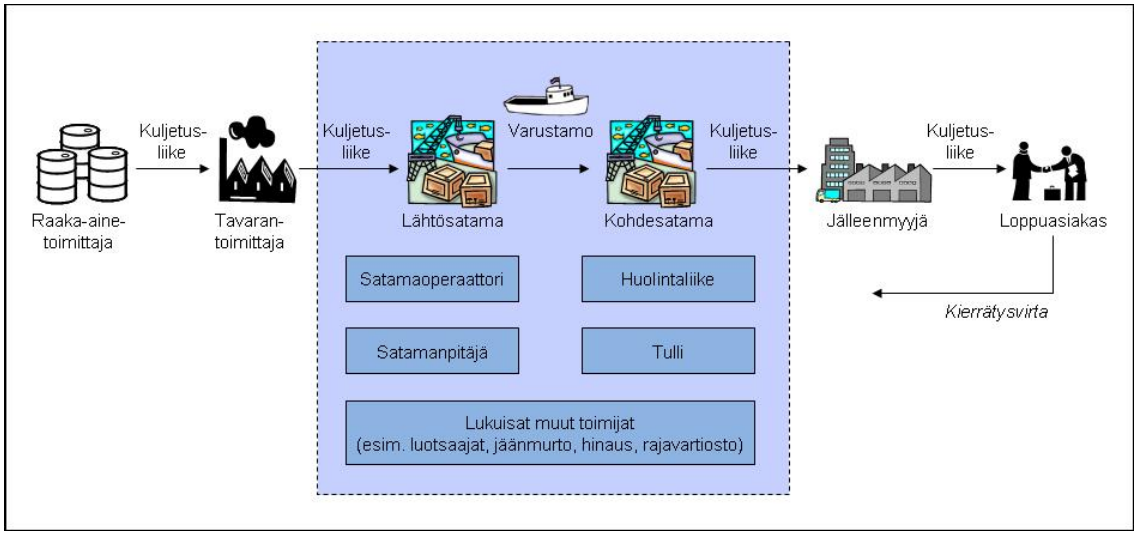
4 TUOTESEURANTA SATAMASIDONNAISESSA KULJETUSKETJUSSA

Tässä luvussa luodaan katsaus satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytilaan, tarkastellaan eri tunnistus- ja paikannusmenetelmien soveltuvuutta tuoteseurantaan sekä vertaillaan erilaisten tavaratoimitusten asettamia vaatimuksia tuoteseurantaan. Luvun alussa on kuvattu satamasidonnaisen kuljetusketjun perusrakenne ja ketjuun kuuluvien toimijoiden tyypillinen toimenkuva, mikä toimii oleellisena taustatietona satamasidonnaisen kuljetusketjun tuoteseurannan tarkastelulle. Luvun lopussa kuvataan, miten tuoteseuranta satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa toimisi ideaalitilanteessa. Luvussa esitetyt tiedot pohjautuvat kirjallisuuden, haastattelujen ja satamatoimintoihin tutustumisen perusteella tehtyihin havaintoihin ja oletuksiin.

4.1 Satamasidonnainen kuljetusketju

Satamasidonnainen kuljetusketju toimii perusperiaatteiltaan samalla tavalla kuin mikä tahansa muukin toimitusketju, mutta ketjussa on mukana tärkeänä osana eri kuljetusmuotoja ja erilaisia tavaratoimituksia yhdistävä satama tai useampi satama, mikä tuo huomattavasti lisää monimutkaisuutta toimitusketjuun. Sataman sisällä toimii lukuisia eri toimialan yrityksiä ja viranomaisia, joita ei pelkästään maakuljetuksiin perustuvissa toimitusketjuissa ole yleensä mukana. Satamien monitahoisuudesta johtuen kuljetusketjuissa liikkuu monenlaisia ja monenmuotoisia tavaratoimituksia ja tietovirtoja, joiden hallinta on todella haasteellista.

Tyypillisen suomalaisen satamasidonnaisen kuljetusketjun voidaan ajatella alkavan raaka-ainetoimittajalta ja päättyvän loppuasiakkaan kulutuksen kautta tuotteen elinkaaren lopussa tapahtuvaan kierrätykseen. Kuljetusketjun alku- ja loppupisteen välissä olevien toimijoiden määrä vaihtelee toimitusketjuittain, mutta tavallisesti muita satamasidonnaisten toimitusketjujen toimijoita ovat muun muassa varustamot, kuljetusliikkeet, huolinta- ja varastointialan yritykset, satamaoperaattorit, satamapitäjät, tulli sekä jälleenmyyjät. Kuvassa 4.1 on havainnollistettu yleisellä tasolla satamasidonnaisen kuljetusketjun rakennetta ja sen tyypillisiä toimijoita. Seuraavissa alaluvuissa kuvataan satamasidonnaisen kuljetusketjun eri toimijoiden tavanomaiset toimenkuvat ja esitetään satamasidonnaisen kuljetusketjun prosessikuvaus sataman näkökulmasta.



Kuva 4.1. Satamasidonnainen kuljetusketju ja sen tyypilliset toimijat.

4.1.1 Satamasidonnaisen kuljetusketjun tyypilliset toimijat ja niiden toimenkuva

Tässä alaluvussa on kuvattu satamasidonnaisen kuljetusketjun tyypilliset toimijat ja niiden keskeinen toimenkuva. Satamasidonnaisen kuljetusketjun eri osapuolten tavanomaisten tehtävien kuvaaminen toimii pohjana luvussa 4.1.2 esitetylle prosessikuvaukselle.

Raaka-ainetoimittaja on toimitusketjun alkupiste, joka tuottaa ja tarvittaessa jalostaa raaka-aineita, joista tavarantoimittaja valmistaa valmiita lopputuotteita.

Tavarantoimittajalla tarkoitetaan tässä yhteydessä lopputuotteiden valmistajaa, joka jalostaa raaka-ainetoimittajalta saaduista materiaaleista valmiita, toimitusketjussa eteenpäin kuljetettavia lopputuotteita.

Kuljetusliike on yritys, jolla on käytettävissään sekä kuljetuskalustoa että työvoimaa maakuljetusten suorittamiseen. Kuljetusliikkeet voivat tarjota sekä maantie- että rautatiekuljetuksia. Suomessa keskikokoisella maantiekuljetuksia hoitavalla kuljetusliikkeellä on käytössään 3–10 ajoneuvoa ja suurella kuljetusliikkeellä yli 10 ajoneuvoa. Oman kaluston ja työvoiman ohella kuljetusyritykset käyttävät kuljetustehtävissä myös ulkopuolisia alihankkijoita. Suomessa rautatiekuljetuksia hallinnoi VR, joka tarjoaa sekä vaunujen veto- että vuokrauspalveluja. Kuljetusyrityksillä voi olla käytettävissään myös omia vaunuja.

Varustamon pääasiallisena tehtävänä on hoitaa tavaratoimitusten merikuljetus satamasta toiseen. Luotettavat ja nopeat merikuljetukset ovat varustamojen toiminnan perusedellytyksiä, minkä vuoksi laivaston jatkuva rakentaminen ja kehittäminen on varustamoille olennaisen tärkeää. Joillakin maailmanlaajuisilla varustamoilla on käytössään logistiikkataloja, jotka voivat tarjota asiakkaille merikuljetusten lisäksi myös satamatoimintoja ja jatkokuljetuksia, mutta tyypillisesti varustamot keskittyvät ydintoimintaansa merikuljetuksiin. Varustamot tekevät tiivistä yhteistyötä satamaoperaattoreiden kanssa. Huolin-

taliikkeisiin varustamoilla ei yleensä ole suoria asiakassuhteita. Huolintaliikkeet ovat kuitenkin tärkeitä varustamoiden toiminnan kannalta, sillä huolinnan tehottomuus heijastuu välittömästi varustamoiden toimintaan.

Satamanpitäjän tehtävänä on rakentaa satama-alueelle tehokas infrastruktuuri (esim. laiturit, varastoalueet, maantiet ja rautatiet), joka luo satamassa toimiville yrityksille hyvät edellytykset tuottaa asiakkailleen laadukkaita logistiikkapalveluja. Satamanpitäjällä tarkoitetaan useimmiten samaa kuin sataman haltijalla, joka on tyypillisesti kunta ja sen satamalaitos tai vaihtoehtoisesti yksityinen taikka julkinen yhtiö.

Satamaoperaattori on ahtaustoimintoihin erikoistunut logistiikkatoimija. Satamaoperaattorin tärkeimpiin tehtäviin kuuluu tavaroiden ja kuljetusyksiköiden lastaus aluksiin tai muihin kuljetusvälineisiin ja purkaus aluksista tai muista kuljetusvälineistä sekä muunlainen logistinen tavarankäsittely satama-alueen sisäpuolella. Satamaoperaattori muun muassa siirtää laivasta purkamansa kontit konttiterminaaliin, konttiterminaalista huolintaliikkeen tilauksesta huolintaliikkeen varastoon ja tyhjät kontit konttivarikolle (depot-toiminta). Satamissa on nykyään melko vähän ainoastaan satamaoperointiin erikoistuneita yrityksiä, sillä huolintaliikkeet vastaavat yhä useammin satamaoperoinnista. Tämän vuoksi satamaoperaattorin ja huolintaliikkeen toimenkuvat ovat usein osittain päällekkäiset.

Huolintaliikkeen toimenkuva on hyvin laaja. Sen tärkeimpiin tehtäviin kuuluu tavaroiden kuljettamisen, varastoinnin, tullauksen ja muunlaisen käsittelyn hoitaminen asiakkaan toimeksiannosta. Huolintaliike yhdistelee kuljetuksen eri vaiheita, valmistelee kuljetuksia asiakastilausten mukaisesti, laatii ja käsittelee kuljetusprosessiin liittyviä asiakirjoja sekä huolehtii siitä, että tavarat toimitetaan asiakkaalle oikeaan aikaan ja asianmukaisessa kunnossa kustannustehokkaasti. Huolintaliikkeillä on usein omia varastoja tai ne voivat käyttää yhteistyökumppaniensa tarjoamia varastointipalveluja. Huolintaliike voi tarjota perinteisten huolintapalvelujen ohessa myös esimerkiksi kuljetusliikkeen ja satamaoperaattorin toimialaan liittyviä palveluja. Huolintaliikkeen toiminta voi vaihdella yksittäisestä tulliselvitystehtävästä kokonaisvaltaisen kaupan toteuttamiseen.

Tullin päätehtävät muodostuvat veronkantoon ja ulkomaankauppaan kuuluvista tehtävistä sekä yhteiskunnan suojelemisesta. Veronkantotehtävät tulli hoitaa toimittamalla verot ja maksut Suomen valtiolle ja tullit Euroopan unionille sekä toimimalla näitä koskevien lakien valmistelussa. Ulkomaankauppaan liittyviä tehtäviä tulli hoitaa Euroopan unionin yhteisen kauppapolitiikan mukaisesti. Tulli suojaa yhteiskuntaa estämällä kiellettyjen tavaroiden ja aineiden viennin ja tuonnin sekä torjumalla yhdessä muiden viranomaisten kanssa kansallista ja kansainvälistä rikollisuutta. Suomen Tullilaitos on valtiovarainministeriön alaisena toimiva keskusvirasto, joka on jaettu alueellisesti seuraaviin viiteen tullipiiriin: Eteläinen, Itäinen, Läntinen ja Pohjoinen tullipiiri sekä Ahvenanmaan tullipiiri. Tullin toimipisteet voivat sijaita esimerkiksi satama-alueella, logistiikkakeskuksissa ja raja-asemilla.

Jälleenmyyjällä tarkoitetaan tässä yhteydessä toimijaa, joka ostaa valmistajalta tuotteita ja myy niitä eteenpäin kolmansille osapuolille. Jälleenmyyjät varmistavat tuotteiden alueellisen saatavuuden toiminta-alueellaan. Jälleenmyyjät ovat yleensä ulkoistaneet

kuljetukset, varastoinnin ja muita logistiikkatoimintoja logistiikkapalveluja tarjoaville yrityksille.

Loppuasiakkaalla eli -käyttäjällä tarkoitetaan toimitusketjuissa liikkuvien tuotteiden varsinaista käyttäjää eli kuluttajaa. Loppuasiakas on toimitusketjun päätepiste, josta tuote palaa elinkaarensa loputtua kierrätysvirtana takaisin toimitusketjussa ylöspäin, jopa aina materiaalitoimittajalle asti.

Muita satamasidonnaisen kuljetusketjun toimijoita satamassa ovat muun muassa merenkulku- ja ympäristöviranomaiset, rajavartiosto ja poliisi, luotsaus- ja jäänmurtopalveluiden tarjoajat, laivamuonittajat sekä polttoaine-, huolto- ja hinauspalveluiden tarjoajat.

4.1.2 Satamasidonnaisen kuljetusketjun prosessikuvaus

Tässä alaluvussa on esitetty satamasidonnaisen kuljetusketjun prosessikuvaus sataman näkökulmasta. Prosessin kuvauksen ulkopuolelle on jätetty toimitusketjun alkupäästä raaka-ainetoimittajan ja tavarantoimittajan toimenkuvaan liittyvät toiminnot, koska niiden toimenkuva on satamasidonnaisessa kuljetusketjussa hyvin samankaltainen kuin toimitusketjuissa yleensä. Samasta syystä myöskään toimitusketjun loppupäässä toimivien jälleenmyyjän ja asiakkaan toimintoja ei ole kuvattu. Prosessikuvauksessa siis keskitytään nimenomaan merikuljetuksiin ja sataman sisällä tapahtuviin prosesseihin. Esitetty prosessikuvaus havainnollistaa hyvin satamasidonnaiseen kuljetusketjuun liittyvien toimintojen monitahoisuutta ja monimutkaisuutta.

Merikuljetusprosessi lähtee liikkeelle tarpeesta kuljettaa tavaratoimitus tavaran lähettäjältä tavaran vastaanottajalle. Varustamon edustaja sopii kuljetuksesta laivaajan edustajan kanssa, joka voi olla esimerkiksi huolintaliike. Sopimuksen teon jälkeen varustamo varaa aluksen edustajalta ruumasta kuljetuskapasiteettia, jonka tarve voidaan tarkentaa myöhemmin. Varaus voi koskea esimerkiksi yksittäisen kontin toimitusta. Huolitsija hoitaa sopimusasiat kuntoon myös maapuolen kuljetusyrityksen kanssa sekä ilmoittaa aikataulutiedot kuljettajalle. Näin myös kuljetusyritys osaa olla oikeaan aikaan hakemassa konttia satamasta tai viemässä konttia satamaan.

Huolitsija tai muu laivaajan edustaja käynnistää kuljetuksen lähettämällä tavaran yksilöivän kuljetuksen buukkauksen eli varauksen rahdinkuljettajalle, joka vahvistaa sen varmistettuaan tarvittavan rahtitilan saatavuuden aluksen edustajalta. Rahdinkuljettaja lähettää tiedon buukkauksesta myös satamaoperaattorille, joka saamansa buukkaustiedon perusteella varautuu ottamaan tavaratoimituksen vastaan ja tekemään sille merikuljetuksen edellyttämät toimet. Jos tavaratilassa on vaarallisia aineita, laivaajan edustajan tulee hakea satamalta lupa niiden tuomiseksi satama-alueelle sekä laatia vaadittavat vaarallisten aineiden ilmoitukset eri osapuolille. Rahdinkuljettaja sisällyttää tiedot aikanaan vaarallisten aineiden manifestiin.

Laivaajan edustaja järjestää maakuljetuksen, asettaa tarvittaessa tavaratoimituksen tullimenettelyyn ja toimittaa sen vastaanottamisen edellyttämät tiedot satamaoperaattorille, joka raportoi tavaratoimituksen saapumisen laivaajan edustajalle. Tavaratoimitus ja sii-

hen liittyvät tiedot esitetään tullille, joka antaa luvan lastata tavaratoimituksen alukseen. Jos tavarat tulevat satamaan kuljetusyksikössä (esim. kontissa tai trailerissa), niiden esittämiseen käytetään yleensä terminaali-ilmoitusta, jonka tietosisältö vaihtelee sen mukaan, onko kysymys EU:n sisäisistä vai ulkopuolisista kuljetuksista. Tavaratoimitukseen kuuluvat tavarat voidaan pakata konttiin myös satamassa laivaajan edustajan antamien yksilöintiohjeiden mukaan. Kontteihin pakatusta tavarasta laaditaan tavaraluettelo laivaajan edustajalle.

Satamaan kertyneestä alukseen menossa olevasta lastista toimitetaan tietoa myös varustamolle, joka hallinnoi saamansa tiedon avulla buukkaustilannetta. Varustamo päättää siitä, mikä lasti lastataan alukseen, ja toimittaa tiedon satamaoperaattorille varustamon lastauslupana. Lupana voi toimia esimerkiksi olemassa oleva buukkaus tai kertyneestä lastista koostettu lastauslista.

Aluksen edustaja on vastuussa aluksesta ja päättää siitä, miten lasti sijoitetaan ruumaan. Tiedot välitetään satamaoperaattorille lastausohjeena, joka voi olla esimerkiksi hahmopiirros lastatusta ruumasta tai sitä vastaava tiedonsiirtosanoma. Sijoittelussa otetaan huomioon aluksen vakauteen, vaarallisiin aineisiin ja ruumakapasiteetin optimointiin liittyvät seikat. Satamaoperaattori käyttää lastausohjetta omien toimiensa suunnitteluun ja lastaa aluksen ohjeiden mukaisesti. Toteutuneesta lastauksesta lähetetään rahdinkuljettajalle ja tullille lastausraportti, joka sisältää tiedot alukseen lastatusta tavarasta. Rahdinkuljettaja laatii lastausraportin pohjalta manifestin ja toimittaa sen tullille valvontaa varten sekä satamanpitäjälle aluskäyntiin liittyvää laskutusta varten. Luonnollisesti myös aluksella on tieto lastista, jota se kuljettaa.

Satamaoperaattori toimittaa aluksen edustajalle myös lastin sijoittelua kuvaavan cargo planin (ts. bayplan), jonka perusteella aluksen edustaja tarkastaa ennen merelle lähtöä, että lastaus on toteutettu vakauslaskelmien mukaisesti. Tiedot lastin sijoittelusta lähetetään myös määräsataman satamaoperaattorille, joka voi alkaa saamiensa tietojen perusteella suunnitella aluksen purkamista.

Ennen aluksen saapumista satamaan, aluksen edustajan täytyy tehdä alusilmoitus tullille sekä satamanpitäjälle, joka osoittaa alukselle laituripaikan. Varustamo lähettää tarvittaessa vaarallisista aineista erillistiedot, joiden perusteella satamanpitäjä joko antaa luvan purkaa vaaralliset aineet satamaan, asettaa purkamiselle erillisehtoja tai kieltää lastin purkamisen kokonaan. Varustamo tekee tullille myös yleisilmoituksen, jonka saatuaan tulli antaa luvan aluksen purkamisen aloittamiselle. Aluksen edustajalta satamaoperaattori saa kuvauksen lastin sijoittelusta sekä purkamiseen ja ruuman järjestelyyn liittyviä erityisohjeita, joita kaikkia hyödynnetään purkaustoimien suunnittelussa ja ohjaamisessa.

Purkauksen jälkeen satamaoperaattori laatii varustamolle ja tullille purkausraportin, josta ilmenevät mahdolliset manifestissa ilmoitetun ja saapuneeksi todetun lastin väliset eroavuudet. Laivausasiakirjat korjataan vastaamaan purkausraporttia.

Satamaoperaattori hallinnoi tavaraa siihen asti, kunnes se saa toimeksiannon luovuttaa tavaran eteenpäin kuljetusketjun seuraavalle osapuolelle. Luovuttaminen edellyttää, että

siihen tarvittavat velvoitteet on hoidettu niiden tahojen kanssa, joiden lukuun satamaoperaattori toimii (tulli, varustamo ja satamanpitäjä). Tulli antaa luovutusluvan, kun tavara on asetettu tullimenettelyyn ja kun sille määrätyt tarkastukset on tehty. Varustamon luovutuslupa edellyttää, että tavaratoimitukseen liittyvät rahdit on maksettu. Luovutuslupien tarkistusta voidaan kutsua myös ”pilkutukseksi”. Kun luovutuksen edellytykset ovat kunnossa, laivaajan edustaja (yleensä huolitsija) järjestää jatkokuljetuksen ja toimittaa satamaoperaattorille terminaali-ilmoituksen tai vastaavat tiedot sisältävän lomakkeen. Terminaali-ilmoituksen perusteella yksilöidään luovutettava lasti sekä varmistutaan siitä, että noutavalla ajoneuvolla on valtuus ottaa lasti kuljetettavakseen pois satamasta.

4.2 Tuoteseurannan nykytila satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa

Toimijoiden laajasta kirjosta johtuen satamasidonnaisissa toimitusketjuissa on harvoin käytössä yhtenäistä koko toimitusketjun kattavaa tuoteseurantajärjestelmää. Näin laajan ja useita toimijoita sisältävän tuoteseurantajärjestelmän rajapintojen ja standardien integrointi on erittäin haastavaa tai jopa mahdotonta. Kullakin toimitusketjun toimijalla on yleensä käytössä omia sisäisiä järjestelmiä, joilla voidaan tietyiltä osin hallita tavaratoimitusten seurantaa kyseisen yrityksen näkökulmasta.

Satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa ei vielä hyödynnetä kovinkaan kattavasti erilaisten tunnistus- ja paikannustekniikoiden mukanaan tuomia mahdollisuuksia erilaisissa logistisissa sovelluksissa. Seuraavassa on lueteltu pääasialliset satamasidonnaisten kuljetusketjujen varsinaisessa tuoteseurannassa käytettävät seurantatavat:

- konttien status- eli tilatietoperusteinen seuranta konttinumeron perusteella
- viivakoodi- ja RFID-tekniikka tuotteiden tunnistuksessa ja statustietoperusteisessa paikannuksessa
- PortNet-järjestelmä alusten aikataulutietojen tarkkailussa.

Tavaratoimitusten seuranta satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa perustuu nykyisin lähinnä konttien seurantaan. Varustamot tarjoavat konttinumeroon perustuvaa status- eli tilatietoa tuottavaa konttien seurantapalvelua, joka on määrättyjen toimitusketjun osapuolien käytettävissä Internet-pohjaisen käyttösovelluksen kautta. Myös satama valvoo konttinumeron perusteella alueelleen saapuvia ja sieltä lähteviä konttikuljetuksia. Konttinumeroa hyödynnetään lisäksi muun muassa laivan lastaussuunnitelmien teossa sekä erilaisten varastotoimintojen suunnittelussa ja toteuttamisessa, mutta nämä eivät suoranaisesti liity tuoteseurantaan. Konttinumeroon perustuvan tuoteseurannan lisäksi satamasidonnaisissa toimitusketjuissa seurataan tuotteita nykyisin etupäässä viivakooditekniikalla. Logistiikka-alan yrityksissä voidaan esimerkiksi lukea konteista purettuihin kuljetuslavoihin kiinnitetyt viivakooditarrat, jolloin tieto saapuneista tavaralavoista siirtyy yrityksen tietojärjestelmään. Joissakin harvoissa yrityksissä viivakoodien rinnalla on käytössä RFID-tekniikka, jolla voidaan suorittaa samanlaisia toimintoja kuin viivakooditekniikalla mutta tehostetummin. Konttinumeroon perustuvan tunnistuksen tapaan myös RFID- ja viivakooditekniikat tarjoavat statustietoa tavaratoimituksista. Tavara-

toimitusten seurannassa käytetään myös satamaliikenteen tietojärjestelmää PortNetiä, joka mahdollistaa alusten aikataulutietojen jakamisen järjestelmän käyttäjille ja toimii täten eräänlaisena tavaratoimitusten seurantatapana.

Edellä esitettyjen satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa käytettävien varsinaisten tuoteseurantatapojen rinnalla on useissa yrityksissä käytössä myös EDI-tiedonsiirtotekniikka ja WWW-pohjaiset seurantasovellukset sekä sähköposti, puhelin ja faksi. EDI-tiedonsiirtotekniikkaa käytetään lähinnä suurissa logistiikkayrityksissä yritysten tietojärjestelmien väliseen tiedonvaihtoon, jonka avulla voidaan osapuolten kesken välittää lähinnä statustietoa tavaratoimituksista. WWW-pohjaiset seurantasovellukset tarjoavat alustan tuoteseurantatiedon välittämiseen, minkä avulla myös pienet yritykset voivat seurata tavaratoimituksiaan ilman kalliita ja monimutkaisia tuoteseurantaratkaisuja. PortNet ja RailTrace ovat esimerkkejä WWW-pohjaisista tuoteseurantasovelluksista, jotka ovat nykypäivänä laajasti eri toimijoiden käytössä. Valmiudet kehittyneiden tunnistus- ja paikannusmenetelmien hyödyntämiseen ovat olemassa, mutta siitä huolimatta yrityksissä käytetään yhä yleisesti sähköpostia, puhelinta ja faksia tavaratoimitusten tilaan liittyvän tiedon välittämiseen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että nykyisin satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseuranta perustuu lähinnä status- eli tilatietoon ja sitä tarjoaviin tunnistustekniikoihin (etupäässä konttinumeroon perustuva seuranta sekä viivakooditekniikka). Tämä johtuu pääasiassa siitä, ettei satamasidonnaisissa toimitusketjuissa useinkaan tarvita statustietoa tarkempaa tietoa, vaan yleensä pelkkä ETA-tieto riittää. Esimerkiksi reaaliaikaista paikkatietoa tarjoavaa satelliittipaikannustekniikkaa hyödynnetään satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa nykyään lähinnä navigoinnissa ja reittisuunnittelussa, mutta vain harvoin reaaliaikaisessa tuoteseurannassa. Matkapuhelinverkkoihin perustuva paikannus ei näyttäisi olevan yleisessä käytössä satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa.

4.3 Tunnistus- ja paikannusmenetelmien vertailu ja soveltuvuus tuoteseurantaan

Paikannusteknologiaa valittaessa on otettava huomioon monia tekijöitä sovelluksen ja sovellusalueen vaatimusten mukaan. Seuraavassa on koottuna tärkeimpiä tuoteseurannassa käytettävän paikannusmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä:

- käyttötarkoitus
- paikannustarkkuus
- tekniikan luotettavuus
- herkkyys ympäristölle ja olosuhteille
- peittoalue
- operaattoririippuvuus
- laitteisto- ja ohjelmistovaatimukset
- eri tekniikoiden ja standardien yhteensopivuus sekä yhden yrityksen sisällä että eri maiden ja yritysten välillä
- tietoturva
- tekniikan soveltamisesta aiheutuvat kustannukset.

Paikannusteknologiaa valittaessa tulee ensimmäisenä pohtia, minkälaiseen käyttötarkoitukseen paikannusmenetelmää halutaan soveltaa. Käyttötarkoitus asettaa raja-arvot muun muassa paikannustarkkuudelle, peittoalueelle ja tekniikan luotettavuudelle. Paikannustarkkuus voi vaihdella käytetystä tekniikasta riippuen muutamista senttimetreistä aina useisiin kilometreihin, peittoalueen vaihdellessa näköyhteystasolta jopa maailmanlaajuiseksi. Tekniikan luotettavuus pitää sisällään muun muassa tiedon oikeellisuuden, ajantasaisuuden ja yleisen toimintavarmuuden. Tärkeää on myös huomioida, millaisessa käyttöympäristössä tekniikkaa aiotaan soveltaa. Esimerkiksi tehdasympäristö asettaa täysin erilaiset vaatimukset paikannustekniikalle kuin avomeriympäristö. Paikkatiedon hyödyntäminen edellyttää, että paikannussovellus saadaan integroitua osaksi yrityksen tietojärjestelmiä ja muuta infrastruktuuria. Joissakin tapauksissa voi olla myös tärkeää pystyä laajentamaan paikannustekniikka yli yritys- ja maarajojen, mikä edellyttää tekniikoiden ja standardien yhteensopivuutta eri yritysten ja maiden välillä. Globaalien toimitusketjujen maailmassa tietoturva luo omat haasteensa valittavalle paikannustekniikalle. Lisäksi paikannusmenetelmän hankinnassa, kuten kaikessa muussakin liiketoiminnassa, kustannukset ohjaavat yrityksen valintoja.

Seuraavissa alaluvuissa pohditaan eri tunnistus- ja paikannustekniikoiden soveltuvuutta tuoteseurantaan. Tekniikat on jaettu luvun 3 tapaan satelliittipaikannus-, verkkopaikannus- ja lähipaikannusmenetelmiin. Alaluvuissa on myös vertailtu eri tunnistus- ja paikannustekniikoiden keskeisiä ominaisuuksia. Alaluvut toimivat samalla eräänlaisina eri tunnistus- ja paikannusmenetelmien kuvausten yhteenvetoina.

4.3.1 Satelliittipaikannuksen soveltuvuus tuoteseurantaan

Satelliittipaikannus perustuu maapalloa kiertävien paikannussatelliittien lähettämien ratatieto- ja aikamerkkisignaalien vastaanottoon ja vastaanottimen sijainnin laskemiseen satelliittien etäisyyksien perusteella. Satelliittipaikannuksen tarkkuus on tavallisesti noin kymmenen metriä, mutta erilaiset esteet (esim. rakennukset) saattavat heikentää tarkkuutta useilla kymmenillä metreillä tai voivat jopa estää järjestelmän käytön kokonaan. Satelliittipaikannuksen vallitseva ja ainoa täydessä operatiivisessa käytössä oleva menetelmä on GPS, mutta myös muita satelliittijärjestelmiä on olemassa ja ollaan kehittämässä (GLONASS, Galileo ja Beidou). Näistä ainoastaan kehityksen alla oleva eurooppalainen Galileo on riippumaton ja etupäässä siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä. Muut satelliittipaikannusjärjestelmät ovat alun perin sotilaskäyttöön tarkoitettuja, eikä niiden toiminnasta ja jatkuvuudesta siviilikäytössä ole täyttä varmuutta. Järjestelmien hallinnasta vastaa sotilasviranomaiset, ja järjestelmiin liittyvät päätökset (esim. paikannuspalvelujen saatavuus) tehdään Euroopan ulkopuolisesta näkökulmasta.

Taulukkoon 4.1 on koottu satelliittipaikannusmenetelmien keskeisiä ominaisuuksia. Vertailussa ovat mukana satelliittipaikannusjärjestelmät GPS, GLONASS, Galileo ja Beidou, perusasemien avulla parannetut satelliittipaikannusjärjestelmät A-GPS (avusteinen GPS), DGPS (differentiaali GPS) ja RTK-GPS (reaaliaikainen kinemaattinen GPS), satelliittipohjainen tarkennusjärjestelmä EGNOS sekä Internet-ympäristössä toimiva satelliittipohjainen SISNeT-tekniikka. Eri menetelmien paikannustarkkuutta tar-

kasteltaessa voidaan havaita, että GPS-, GLONASS-, Galileo- ja Beidou-tekniikoilla voidaan päästä ilman järjestelmän laajennuksia tarkimmillaan muutaman metrin paikannustarkkuuteen. Tämä riittää useisiin logistiikan sovelluksiin, kuten ajoneuvojen tai kuljetusyksiköiden reaaliaikaiseen seurantaan läpi toimitusketjun. Jos tarvitaan tarkempaa paikannustietoa (esim. tuotteen tarkan sijainnin määrittäminen satama-alueella), joudutaan satelliittipaikannus toteuttamaan käyttämällä erilaisia järjestelmän laajennuksia. Esimerkiksi DGPS- ja RTK-GPS-menetelmillä päästään parhaimmillaan jopa senttimetrien paikannustarkkuuksiin. Tosin RTK-GPS vaatii näköyhteyden päätelaitteesta perusasemaan, tai muuten sen mittaustarkkuus heikkenee merkittävästi. RTK-GPS-menetelmän hyödyntäminen edellyttää myös mobiililaitteita suurempien ja arvokkaampien lisälaitteiden hankintaa.

Satelliittipaikannusmenetelmät ja -laajennukset toimivat laajalla alueella, RTK-GPS- ja DGPS-tekniikoita lukuun ottamatta. EGNOS- ja SISNeT-tekniikat tarjoavat suhteellisen lyhyen vasteajan, kun taas muiden menetelmien vasteaika saattaa huonoimmillaan olla jopa minuutin luokkaa. Nykyisiltä toimintavalmiuksiltaan parhaimpia järjestelmiä ovat GPS, DGPS ja RTK-GPS, sillä niitä on käytetty jo useiden vuosien ajan ja tekniikoita tukevia vastaanottimia on laajasti tarjolla. Galileo-, Beidou- ja A-GPS-tekniikat ovat vielä kehitysvaiheessa. Galileo-järjestelmän on arvioitu olevan täydellisessä toimintakunnossa vuonna 2013 ja Beidou-järjestelmän vuoteen 2020 mennessä. GLONASS-järjestelmän täydellinen konstellaatio sisältää 21 satelliittia ja kolme varasatelliittia, ja niistä täydessä toiminnassa on tällä hetkellä 16 satelliittia. GLONASS-järjestelmän on arvioitu olevan täysin valmis vuoteen 2011 mennessä.

Taulukko 4.1. Satelliittipaikannusmenetelmien ja -laajennusten keskeisten ominaisuuksien vertailu.

Tekniikka	Riippuvuudet	Kantama	Siviili-tarkkuus	Vasteaika	Satelliittien tarve	Lisälaitetarve
GPS	USA	Globaali	n. 10 m	n. 20–60 s	> 3–4	Ei
GLONASS	Venäjä	Globaali	n. 57–70 m	n. 20–60 s	> 3–4	Ei
Galileo	Eurooppa	Globaali	n. 4–15 m	N/A	> 3–4	Ei
Beidou	Kiina	Globaali	n. 10 m	N/A	> 3–4	N/A
A-GPS	Matkapuh. verkko	Matkapuh. verkko	n. 20 m	N/A	> 3–4	Ei
DGPS	Perusasema, hinta	n. 200 km	n. 0,01–5 m	n. 20–60 s	> 3–4 + perusasema	On / Ei (huonompi tarkkuus)
RTK-GPS	Perusasema	n. 6 km	n. 0,001–1 m	n. 60 s	> 4–5 + perusasema	On
EGNOS	Ei	Eurooppa	n. 1–2 m	n. 6 s	3 GEO-satelliittia	Ei
SISNeT	Internet-yhteys	Eurooppa	n. 1–2 m	n. 6 s	Ei	On / Ei (vaatii Internet-yhteyden)

Tuoteseurannan kannalta satelliittipaikannus on käytännössä ainoa reaaliaikaisen maailmanlaajuisen tuoteseurannan mahdollistava menetelmä. Reaaliaikaisuuden ansiosta tavaratoimituksia voidaan seurata hyvinkin tarkasti, ja mahdollisiin poikkeamiin voidaan puuttua pienellä viiveellä. Satelliittipaikannuksen tarkkuus on tyypillisesti kymmenestä metristä muutamiin kymmeniin metreihin, mutta tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa erilaisilla menetelmillä ja laajennuksilla, joiden avulla paikannustarkkuudessa voidaan päästä jopa senttimetritasolle. Tuoteseuranta satelliittipaikannuksen avulla edellyttää käyttäjältä satelliittivastaanotinlaitteen hankkimista. Eri käyttötarkoitukseen sopivia satelliittivastaanottimia ovat muun muassa kannettavat satelliittipaikan-

timet, autonavigaattorit, vesillä käytettävät karttaplotterit sekä kartoilla ja satelliittivastaanottimella varustetut tietokoneet (yleensä kannettavat tietokoneet) ja matkapuhelimet. Satelliittivastaanottimet voivat tukea joko yhtä tai useampaa satelliittipaikannusjärjestelmää samanaikaisesti (hybridilaitteet). Satelliittivastaanottimien hinnat vaihtelevat muutamista kymmenistä euroista tuhansiin euroihin. Lisäksi satelliittipaikannuksen hyödyntäminen tuoteseurannassa vaatii yrityksiltä usein huomattavia investointeja muun muassa taustajärjestelmiin.

4.3.2 Verkkopaikannuksen soveltuvuus tuoteseurantaan

Verkkopaikannuksella tarkoitetaan matkapuhelinverkkoihin perustuvaa paikannusta. Verkkopaikannuksen tarkkuus vaihtelee toimintaympäristöstä riippuen noin sadasta metristä (esim. kaupunkien keskustat) useisiin kilometreihin (esim. maaseutu). Tällainen tarkkuus riittää monenlaiseen tiedonhakuun ja henkilöiden paikantamiseen, mutta esimerkiksi tiettyyn kohteeseen opastamisessa tarvitaan parempaa tarkkuutta. Verkkopaikannuksen hyödyntäminen edellyttää, että käyttäjällä on käytössään päätelaite, joista yleisin on perinteinen matkapuhelin. Verkkopaikannuksen tärkein etu onkin matkapuhelinten suuri levinneisyys, minkä ansiosta verkkopaikannuspalveluiden käyttöönotto ei vaadi käyttäjältä suurta taloudellista panostusta. Verkkopaikannuksen suurin heikkous liittyy puolestaan kapasiteetin rajallisuuteen, koska paikannuspalvelun edellyttämä matkapuhelimen jatkuva seuranta vaatii merkittävästi resursseja.

Taulukossa 4.2 on esitetty yleisimpien verkkopaikannusmenetelmien paikannustarkkuuksia ja joitakin menetelmien tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä eri menetelmien etuja ja haittoja. Solupaikannus (Cell ID) on yksinkertaisin matkapuhelinverkkoon perustuva paikannusmenetelmä. Se toimii kaikilla puhelimilla, eikä se vaadi muutoksia verkkoon tai päätelaitteisiin, minkä ansiosta tekniikka on helposti hyödynnettävissä. Solupaikannuksen tarkkuus riippuu solukoosta, minkä seurauksena tarkkuus kaupunkialueilla on yleensä huomattavasti parempi kuin maaseudulla. Solupaikannusta voidaan tarkentaa ajastusennakon (TA) ja suuntaavien antennien avulla, jolloin päätelaitteen oletetun sijaintialueen koko voidaan rajata merkittävästi pienemmäksi. Solupaikannusta voidaan tarkentaa myös signaalin voimakkuuden mittaamiseen perustuvalla Rx-menetelmällä, jonka avulla voidaan päästä noin 150 metrin paikannustarkkuuteen.

Signaalin saapumiskulmaan perustuvalla paikannuksella (AOA) on mahdollista saavuttaa hyvissä olosuhteissa melko hyvä paikannustarkkuus. Saapumiskulmapaikannus vaatii kuitenkin suoran näköyhteyden tukiasemalle eikä täten sovellu kaupunkiympäristöön. Saapumisaikaa mittaava TOA-paikannus vaatii tarkkaa ajan synkronointia, jotta päästäisiin tekniikan mahdollistamaan optimaaliseen noin 200 metrin paikannustarkkuuteen. E-OTD-menetelmä tarkoittaa parannettua havaitun aikaeron mittausta. E-OTD vaatii muutoksia sekä verkkoon että päätelaitteeseen, mikä tekee tekniikasta vaikeammin toteutettavan. Toisaalta E-OTD-menetelmällä päästään muihin verkkopaikannustekniikoihin verrattuna hyviin paikannustarkkuuksiin (50–100 m). OTDOA-IPDL on puhtaasti kolmannen sukupolven UMTS-verkoissa toimiva tekniikka, joka on määritelty UMTS-järjestelmän paikannusmenetelmästandardiksi. Tekniikka perustuu samaan periaatteeseen kuin GSM-verkoissa hyödynnettävä E-OTD, mutta OTDOA-IPDL-järjestelmässä

käytetään lisänä GSM-verkoista poikkeavaa tekniikkaa. OTDOA-IPDL-tekniikka on hyvissä olosuhteissa kaikkein tarkin verkkopaikannusmenetelmä. OTDOA-IPDL-tekniikan paikannustarkkuus vaihtelee olosuhteista riippuen 9–217 metrin välillä.

Taulukko 4.2. Yleisimpien verkkopaikannusmenetelmien paikannustarkkuuksia.

Tekniikka	Paikannustarkkuus		Edut	Haitat
Cell ID	0,2–35 km	Riippuu solukoosta: taajamassa pienet solut ja maaseudulla suuret solut.	Ei vaadi muutoksia verkkoon tai päätelaitteisiin. Toimii kaikilla puhelimilla.	Paikannustarkkuus vaihtelee solukoosta riippuen.
Cell ID + TA	0,2–10 km	Etäisyys tukiasemaan saadaan 550 metrin tarkkuudella, mutta suurissa soluissa virheen suuruus kasvaa.	Tarkentaa solupaikannusta. Ei vaadi muutoksia verkkoon tai päätelaitteisiin.	Paikannustarkkuus vaihtelee solukoosta riippuen.
Rx-level	n. 150 m	Tarkempi maaseudulla kuin kaupunkialueella.	Melko hyvä tarkkuus sopivassa ympäristössä.	Vaatii 3 tukiasemaa. Herkkä virheille.
AOA	100–1000 m	Vaihtelee riippuen heijastusten määrästä.	2 tukiasemaa riittää. Tarkkuus hyvissä olosuhteissa melko hyvä. Ei vaadi muutoksia päätelaitteisiin.	Vaatii suoran näköyhteyden tukiasemaan, ja on herkkä virheille. Ei sovellu kaupunkialueille. Vaatii muutoksia verkkoon. Kuormittaa verkkoa.
TOA	200–1000 m	Saapumisaika voi vaihdella riippuen heijastumisesta.	Ei vaadi muutoksia päätelaitteeseen.	Vaatii muutoksia verkkoon. Vaatii 3 tukiasemaa. Edellyttää tarkkaa ajan synkronointia. Kuormittaa verkkoa.
E-OTD	50–100 m	–	Melko hyvä tarkkuus. Ei kuormita verkkoa yhtä paljon kuin TOA ja AOA.	Vaatii muutoksia verkkoon ja päätelaitteisiin. Vaatii 3 tukiasemaa. Edellyttää tarkkaa ajan synkronointia.
OTDOA-IPDL	9–217 m	Maaseudulla tarkempi, kaupungissa huonompi tarkkuus.	3G-verkoissa toimiva tulevaisuuden tekniikka.	Edellyttää 3 tukiasemaa ja 3G-päätelaitetta.

Tuoteseurannan näkökulmasta nykyiset verkkopaikannusmenetelmät eivät yksistään sovellu ehdotonta tarkkuutta vaativiin paikannussovelluksiin. Verkkopaikannustekniikan paikannustarkkuus vaihtelee käytetystä tekniikasta ja ympäristöstä riippuen kymmenistä metreistä aina kymmeniin kilometreihin. Matkapuhelinverkoissa tapahtuva paikannus vie suhteellisen paljon verkon resursseja, minkä takia jatkuvan ja reaaliaikaisen kaupallisen paikannuspalvelun toteuttaminen verkkopaikannusmenetelmillä on käytännössä mahdotonta. Verkkopaikannusta voidaankin hyödyntää lähinnä yksittäisiä paikkapyyntöjä toteuttavana menetelmänä. Melko alhaisen paikannustarkkuuden ja reaaliaikaisuuden puutteen takia verkkopaikannus soveltuu toimitusketjuissa lähinnä tavaratoimitusten karkean tason seurantaan. Verkkopaikannus tapahtuu operaattoriverkoissa, mistä johtuen verkkopaikannuksen kehittyminen riippuu hyvin paljon operaattoreista. Jos operaattorit saavat riittävästi tuottoja tai muuta merkittävää hyötyä matkapuhelinverkkoperusteisista paikannuspalveluista, niin palveluiden voidaan olettaa jatkavan kehitystään tulevaisuudessa. Koska matkapuhelinverkkoihin perustuvan paikannuksen

tarkkuus vaihtelee hyvinkin suuresti toimintaympäristön mukaan, verkkopaikannus soveltuu nykyään lähinnä satelliittipaikannusta tukevaksi menetelmäksi.

4.3.3 Lähipaikannuksen soveltuvuus tuoteseurantaan

Lähipaikannus toimii tietyllä rajatulla alueella perustuen lyhyen kantaman signaalien välitykseen. Lähipaikannus tapahtuu usein sisätiloissa (esim. toimistot, lentokentät ja sairaalat), jolloin puhutaan sisätilapaikannuksesta. Paikannus sisätiloissa tai suurissa kaupungeissa satelliittipaikannuksella taikka matkapuhelinverkkoihin perustuvalla verkkopaikannuksella on haastavaa tai jopa mahdotonta. Satelliittipaikannuksessa signaalin tehokkuus ei useinkaan ole riittävä sisätiloissa tai suurissa kaupungeissa. Verkkopaikannuksen tarkkuus ei puolestaan ole riittävä kovinkaan moneen sovellukseen. Nämä ongelmat on ainakin osittain ratkaistavissa lähipaikannusmenetelmillä. Lähipaikannuksen avulla voidaan saavuttaa sisätiloissa muutaman metrin tai parhaimmillaan jopa senttimetrien paikannustarkkuus.

Tuoteseurannan näkökulmasta lähipaikannus sopii parhaiten tekniikasta riippuen tunnistukseen tai sisätilapaikannukseen. Tunnistusmenetelmät soveltuvat parhaiten prosesseihin, joissa status- eli tilatietoperusteinen tiedonvälitys on riittävä eikä reaaliaikaiselle tiedonvälitykselle ole tarvetta. Tunnistus perustuu tunnistusta vaativaan objektiin (esim. kuljetusväline, kuljetusyksikkö tai tuote) liitettyyn tunnisteeseen ja sen sisältämän tiedon lukemiseen lukijalaitteella. Tietoa sisältävä tunniste voi olla integroitu valmiiseen tuotteeseen tai pakkauslaatikkoon taikka se voidaan lisätä jälkikäteen seurattavaan objektiin esimerkiksi tarrakiinnityksellä. Tunnisteen lukemiseen voidaan sovelluksesta riippuen käyttää muun muassa erillistä lukijalaitetta, porttilukijaa tai matkapuhelimeen integroitua lukijaa.

Tunnistuksessa voidaan käyttää lähinnä viivakoodi- ja RFID-tekniikkaa. Viivakooditekniikkaa on käytetty tunnistamisessa jo useita vuosia. Viivakooditekniikka on laajasti käytössä ja sitä pystytään hyödyntämään useissa sovelluksissa yleensä ilman suurempia ongelmia. Lisäksi viivakooditekniikka on suhteellisen edullinen tekniikka verrattuna esimerkiksi RFID-tekniikkaan. Viivakooditekniikan heikkoutena on sen vaatima näköyhteys viivakoodilukijan ja tunnisteen välillä, mikä rajoittaa viivakooditekniikan hyödyntämistä vaativimmissa sovelluksissa ja käyttöympäristöissä. Viivakooditekniikan vaatiman näköyhteyden ja lyhyen kantaman takia lukutapahtuma edellyttää useimmissa tapauksissa manuaalista lukemista. Tästä johtuen viivakooditekniikan käyttäminen toimintojen automatisoinnissa on usein hankalaa. Toisaalta manuaalinen lukutapahtuma takaa käytännössä 100 % lukutarkkuuden. Viivakooditunnisteen tietosisältö on tyypillisesti rajoitettu enintään muutamiin kymmeniin merkkeihin, eikä tunnisteeseen täten voida tallentaa tarkempaa tuotetietoa. Viivakooditunniste on myös herkkä kulutukselle ja lialle, minkä takia tunniste voi muuttua lukukelvottomaksi seurattavan tuotteen kulkiessa läpi toimitusketjun.

RFID-tekniikka on toimintaperiaatteeltaan samantapainen kuin viivakooditekniikka. RFID toimii viivakooditekniikasta poiketen radiotaajuuksilla, mikä mahdollistaa tunnisteiden lukemisen pidemmiltä etäisyyksiltä ilman näköyhteyttä. RFID-järjestelmillä voi-

daan tekniikasta ja toimintaympäristöstä riippuen saavuttaa noin 0–100 metrin lukuetäisyys. RFID-tunnisteita voidaan lukea myös erilaisten esteiden läpi. RFID-tekniikalla on mahdollista automatisoida erilaisten tuotteiden tunnistus (esim. porttilukijoiden avulla), minkä ansiosta voidaan luoda automatisoituja prosesseja tehostamaan erilaisia toimintoja. RFID-tunnisteen tietosisältö voi olla useita tuhansia merkkejä, mikä mahdollistaa yksityiskohtaisten tuotteeseen liittyvien tietojen tallentamisen tunnisteeseen. Lisäksi RFID-tunniste on uudelleen kirjoitettavissa, minkä ansiosta tunnisteen tietosisältöä voidaan päivittää esimerkiksi lukutapahtuman jälkeen. RFID-tekniikka on käytetty jo useiden vuosikymmenien ajan, mutta se ei ole vielä lukuisista hyödyistään huolimatta levinnyt kovinkaan laajaan käyttöön. RFID-tekniikan alhaiseen levinneisyyteen on vaikuttanut etupäässä pitkäaikaisen ja laaja-alaisen kokemuksen puute, RFID-järjestelmien rakentamisen korkeat kustannukset, tekniikan laaja kirjo sekä tekniikan tuomien hyötyjen osoittamisen vaikeus. Taulukossa 4.3 on esitetty yhteenveto viivakoodi- ja RFID-tekniikan eroavaisuuksista.

Taulukko 4.3. RFID- ja viivakooditunnistustekniikan vertailua.

	Viivakoodi	RFID
Tarkkuus	Käytännössä 100 %.	Sovelluksesta riippuen 50–100 %.
Lukuetäisyys	Tyypillisesti alle 1 metri.	Yleensä muutama metri, parhaimmillaan jopa 100 metriä.
Luettavuus	Vaatii näköyhteyden.	Ei vaadi näköyhteyttä, toimii esteiden läpi.
Lukunopeus	Alhainen, vain yksi tunniste kerrallaan manuaalisesti.	Suuri, jopa yli 100 tunnistetta samanaikaisesti, automaattinen luku mahdollista.
Tietosisältö	Rajoitettu tyypillisesti enintään muutamiin kymmeniin merkkeihin.	Useita tuhansia merkkejä, helposti uudelleen kirjoitettavissa.
Tunnisteen kestävyys	Irtoaa, rikkoutuu ja likaantuu helposti. Kertakäyttöinen.	Ei niin herkkä ympäristön vaikutuksille, elinikä jopa useita vuosia. Uudelleen käytettävissä.
Turvallisuus	Helppo kopioida ja väärentää.	Vaikea kopioida ja väärentää.
Hinta	Edullinen.	Kallis.

Lähipaikannusmenetelmien avulla voidaan paikannus laajentaa sisätiloihin, joihin satelliittipaikannuksella ei tekniikan rajoittuneisuuden vuoksi päästä. Tuoteseurannan kannalta sisätilapaikannukseen parhaiten soveltuvia menetelmiä kirjallisuusselvityksen perusteella ovat lähiverkkopaikannus, Bluetooth-paikannus ja pseudoliittipaikannus. Seuraavassa on vertailtu näitä kolmea lähipaikannustekniikkaa. Taulukossa 4.4 on esitetty yhteenveto näiden lähipaikannustekniikoiden keskeisten ominaisuuksien vertailusta.

Lähiverkkopaikannus perustuu tukiasemien ja päätelaitteiden muodostamiin langattomiin lähiverkkoihin (WLAN, Wireless Local Area Network) ja niissä kulkevien signaalien voimakkuuksien mittaamiseen. Hyvissä olosuhteissa lähiverkkopaikannuksella voidaan päästä jopa alle metrin paikannustarkkuuteen. WLAN-yhteydet toimivat kuitenkin hyvin pienellä alueella, joten niistä ei ole suureksi maailmanlaajuisen kattavuuden tarjoavan satelliittipaikannustekniikan uhkaajaksi. Lähiverkkopaikannus paremminkin täydentää satelliittipaikannusta siellä, missä satelliittipaikannus toimii heikosti (esim. rakennusten sisällä). Toistaiseksi lähiverkkopaikannuksen yleistymistä ja integrointia pieniin mobiililaitteisiin on rajoittanut tekniikan suuri virrankulutus ja korkea hinta.

Bluetooth on lyhyen kantaman tiedonsiirtotekniikka, jolla erilaiset elektroniset laitteet voivat viestiä keskenään langattomasti radioaaltojen avulla. Bluetooth-siru voi olla in-

tegroituna esimerkiksi matkapuhelimeen, kannettavaan tietokoneeseen tai johonkin kodinkoneeseen. Bluetooth on tarkoitettu pääasiassa lyhyille, noin 0–10 metrin kantomatkoille, mutta lähetystehoa kasvattamalla kantama voidaan päästä aina 100 metrin kantomatkaan saakka. Mitä pidemmälle signaalin halutaan kantava, sitä suurempi tulee lähetystehon olla, ja sen myötä myös Bluetooth-sirun koko ja hinta sekä laitteen aiheuttamat häiriöt ympäristölle kasvavat. Pyrittäessä suurempiin kantamiin myös antennien suuntauksilla on enemmän merkitystä ja jopa näköyhteyden tarve tulee ottaa huomioon. Bluetooth-paikannus perustuu yleensä joko solupaikannukseen tai vastaanotettujen signaalien voimakkuuksien mittaamiseen. Bluetooth-paikannuksella päästään parhaimmillaan jopa noin metrin paikannustarkkuuteen. Bluetooth ei WLAN-paikannuksen tavoin ole kilpaileva paikannustekniikka satelliittipaikannuksen kanssa, vaan se pikemminkin täydentää satelliittipaikannusta, erityisesti sisätiloissa.

Pseudoliittipaikannus on eräänlainen GPS-paikannuksen laajennus, joka on määriteltävissä sekä satelliittipaikannus- että lähipaikannusmenetelmiin kuuluvaksi. Pseudoliittipaikannuksessa käytetään pseudoliitteja eli niin sanottuja valesatelliitteja, jotka lähettävät matalatehoista GPS-signaalin tapaista signaalia. Pseudoliittien GPS-kanavia tukeva GPS-vastaanotin voi vastaanottaa tätä pseudoliittien lähettämää signaalia, minkä avulla on mahdollista määrittää vastaanottimen etäisyys pseudoliitista. Riittävän paikannustarkkuuden takaamiseksi kaikkialla sisätiloissa tai kaupunkien keskusta-alueilla tarvitaan useita pseudoliitteja. Käytännössä pseudoliittipaikannuksessa käytettävät etäisyydet vaihtelevat muutamasta metristä muutamaan kilometriin. Pseudoliittipaikannuksen tarkkuus on sisätiloissa noin 5–10 metriä ja ulkona hyvissä olosuhteissa jopa alle yksi metri. Sisätiloissa pseudoliittipaikannuksen tarkkuutta rajoittaa signaalien heijastuminen seinistä ja katoista. Pseudoliitteja käyttämällä voidaan myös vähentää tarkkaan paikannukseen vaadittavien satelliittien määrää.

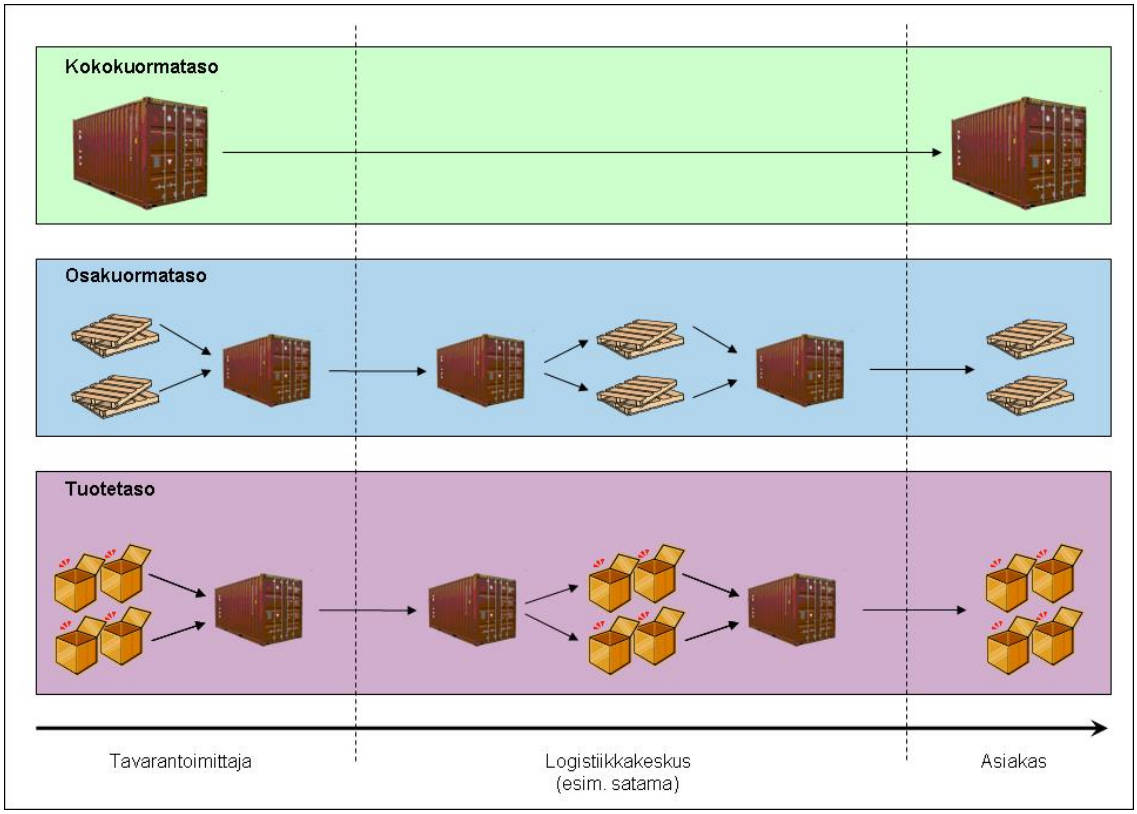
Taulukko 4.4. Lähipaikannusmenetelmien keskeisten ominaisuuksien vertailu.

	WLAN	Bluetooth	Pseudoliittipaikannus
Paikannustarkkuus	0,5–2 m Riippuu tukiasemien määrästä ja ympäristöstä. Usealla tukiasemalla voidaan päästä alle 1 m tarkkuuteen.	1–10 m Signaalin voimakkuuteen perustuvan paikannuksen tarkkuus suurempi kuin solupaikannuksen.	0,1–10 m Sisätiloissa n. 5–10 m, ulkona n. 1 m. Sisällä tarkkuutta heikentää signaalin heijastuminen seinistä.
Kantama	50 m…>50000 m Riippuu käytetystä WLAN-standardista ja ympäristöstä.	0–100 m Lähetystehoa kasvattamalla kantama pitenee, mutta samalla sirun koko ja hinta sekä laitteen aiheuttamat häiriöt kasvavat.	Metreistä muutamiin kilometreihin.
Edut	Suuri kantama ja tiedonsiirtonopeus, mahdollistaa yhteyden Internetiin. Soveltuu hyvin sisätilapaikannukseen.	Yleiskäyttöisyys, halpuus ja pieni koko. Usean laitteen välinen kommunikointi mahdollista. Ei vaadi näköyhteyttä (vrt. infrapunatekniikka).	Laajentaa satelliittipaikannuksen sisätiloihin.
Haitat	Korkea virrankulutus ja hinta. Integrointi pieniin päätelaitteisiin on vaikeaa.	Suuri virrankulutus, hidas laitehaku, standardin käytön kirjavuus, tietoturvaongelmat. Vapaalla 2,4 GHz:n taajuuskaistalla voi esiintyä häiriöitä.	Korkeat rakennuskustannukset.

Lähipaikannustekniikat ovat ainoita paikannusmenetelmiä, joilla voidaan päästä metritason tai jopa senttimetritason paikannustarkkuuksiin. Tällaiset paikannustarkkuudet mahdollistavat seurattavan tai tunnistettavan kohteen sijainnin tarkan määrittämisen. Lähipaikannusmenetelmät mahdollistavat paikantamisen myös sisätiloissa, mikä ei muilla paikannusmenetelmillä useimmissa tapauksissa ole mahdollista. Lähipaikannusmenetelmillä voidaan esimerkiksi paikantaa kontti, kuljetuslava tai parhaimmillaan yksittäinen tuote ulko- tai sisätiloissa olevasta varastosta. Kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden perusteella voidaan todeta, ettei lähipaikannusmenetelmiä vielä tänä päivänä juurikaan hyödynnetä logistiikassa. Tähän voi olla yhtenä syynä se, ettei logistiikassa ole viime kädessä tarvetta kovinkaan tarkalle paikannukselle. Lisäksi lähipaikannusjärjestelmän rakentamisesta aiheutuvat kustannukset koetaan usein saavutettuja hyötyjä suuremmiksi. Toimitusketjuissa riittää useimmiten statustietoon perustuva paikannus, jolloin RFID-tekniikka on yksi varteenotettava vaihtoehto toimitusketjujen tuoteseurantaa kehitettäessä. Myös lähipaikannustekniikoiden melko lyhyt kantama asettaa omat rajoituksensa tekniikan hyödyntämiselle. Lähipaikannustekniikat soveltuvat etupäässä rajatuille alueille, kuten satamiin tai vastaaviin logistiikkakeskuksiin. Yhdistämällä lähipaikannustekniikoilla toteutetut paikannussovellukset laaja-alaisemman peittoalueen tarjoaviin paikannustekniikoihin (esim. satelliittipaikannus), voidaan toimitusketjujen tuoteseurannan tarkkuutta vaihdella karkealta tasolta yksityiskohtaisemmalle tasolle.

4.4 Tuoteseuranta eri tasoilla

Tässä alaluvussa tarkastellaan, minkälaisia vaatimuksia erilaiset tavaratoimitukset asettavat tuoteseurannalle. Tavaratoimitukset on tässä yhteydessä jaettu kolmeen eri tasoon, joita ovat kokokuormataso, osakuormataso ja tuotetaso. *Kokokuormalla* tarkoitetaan tavaratoimitusta, jossa täysi kuljetusyksikkö kuljetetaan lähettäjältä yhdelle vastaanottajalle ilman välikäsittelyjä, jolloin voidaan puhua myös suorista tavaratoimituksista. Kokokuormakuljetuksissa yleisimmin käytettyjä kuljetusyksiköitä ovat kontti, perävaunu ja traileri tai näiden yhdistelmä. *Osakuormalla* tarkoitetaan tavaratoimitusta, jossa on useiden vastaanottajien lähetyksiä samassa kuljetusyksikössä (esim. kontti). Eri vastaanottajien tavarat on yleensä lastattu erillisiin kuljetuslavoihin, jotka yhdistellään terminaalissa jatkokuljetusta varten. *Tuotetasolla* tarkoitetaan yksittäisiä tuotteita, jotka voivat olla irrallisia tai pakattuina jonkinlaisiin pakkauksiin. Kuvassa 4.2 on havainnollistettu karkealla tasolla eri tasojen toimintaperiaatetta. On kuitenkin huomattava, että tavaratoimitukset voivat olla eri tasoilla toimitusketjun eri vaiheissa.



Kuva 4.2. Tavaratoimitusten eri tasojen toimintaperiaate.

Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu erilaisia tavaratoimitustasoja ja niiden asettamia vaatimuksia tuoteseurannalle. Luvun lopussa on esitetty raportin tekijöiden näkemys tuoteseurannan kannalta optimaalisesti toimivasta toimitusketjusta.

4.4.1 Kokokuormatason tuoteseuranta

Kokokuormatasoisten kuljetusten seuranta on perinteisesti perustunut konttien osalta yksilölliseen tunnistenumeroon sekä perävaunun ja trailerin osalta rekisterinumeroon. Jokaisella kontilla on yksilöllinen tunnistenumero, niin sanottu konttinumero, joka koostuu kirjaimista ja numeroista. Kontin tunnistenumero vastaa ihmisen yksilöivää sosiaaliturvatunnusta, joka erottaa kontin muista konteista. Konttinumero on luettavissa kunkin kontin sivu- ja takaosasta. Tämän konttinumeron avulla konttia on mahdollista seurata koko toimitusketjun matkalla. Kontin seuranta konttitunnisteella perustuu status- eli tilatietoon, jonka avulla tiedetään, minkä pisteiden välillä kontti sijaitsee. Kontit ovat pääosin varustamojen omistuksessa, ja niitä vuokrataan eri toimijoiden käyttöön. Varustamot tarjoavat konteilleen konttitunnisteeseen perustuvaa paikannusta, jonka avulla asiakkaat voivat seurata konttien liikkeitä esimerkiksi Internetin välityksellä WWW-sovelluksen kautta.

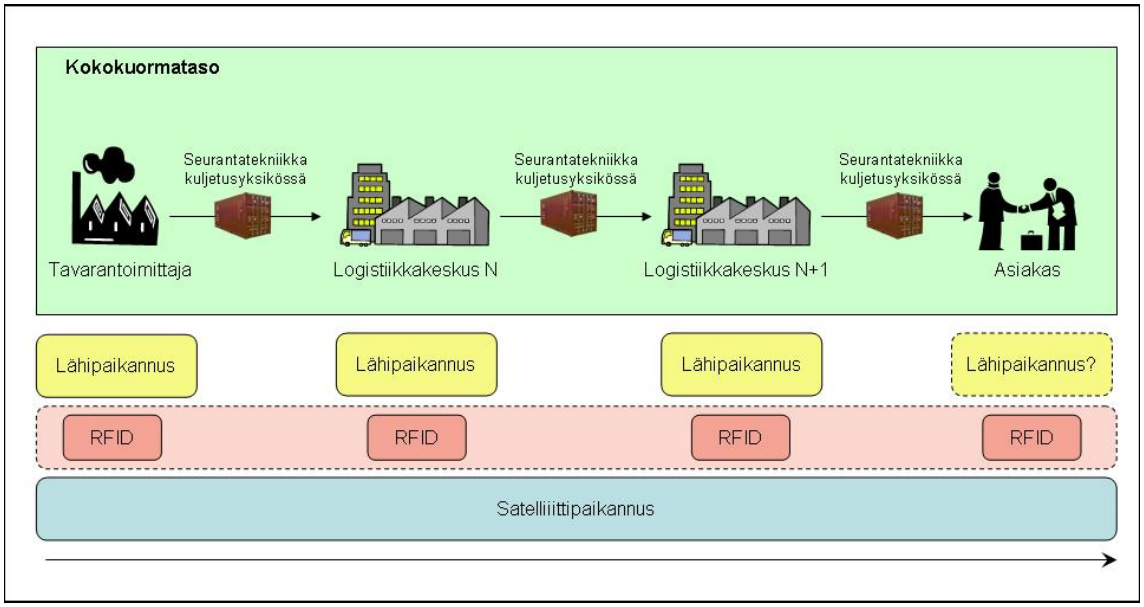
Kokokuormayksiköiden seurannassa voidaan hyödyntää erilaisia tunnistus- ja paikannustekniikoita, joista satelliittipaikannus ja RFID-tekniikka ovat useimmissa tapauksissa sopivimmat seurantaratkaisut. Satelliittipaikannustekniikan avulla kuljetusyksiköitä on

mahdollista seurata tarvittaessa jopa reaaliajassa koko toimitusketjun matkalla. Tämä kuitenkin edellyttää, että kuljetusyksikköön on asennettu satelliittivastaanotin, jonka vastaanottamat signaalit voidaan tulkita kuljetusyksikön sijaintitietona. Kuljetusyksikön sijaintitieto tulee tallentaa tietojärjestelmään, jotta tieto on toimitusketjun eri osapuolten hyödynnettävissä. Reaaliaikainen paikkatieto mahdollistaa nopean reagoinnin esimerkiksi muutostilanteissa.

Reaaliaikainen paikkatieto ei aina ole kuitenkaan välttämätöntä, vaan useimmissa tapauksissa riittää statustietoon perustuva paikannus, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi RFID-tekniikalla. Statustietoon perustuvan RFID-tekniikalla toteutetun paikannuksen suurimpana erona satelliittipaikannuksen tarjoamaan reaaliaikaiseen tietoon on se, että RFID:tä käytettäessä sijaintitieto päivittyy vain tietyissä toimitusketjun eri osissa sijaitsevissa lukupisteissä. RFID-tekniikkaa käytettäessä ei siis välttämättä tiedetä varmuudella, onko tavaratoimitus esimerkiksi vasta lähtenyt tavarantoimittajalta kohti satamaa vai onko se jo satamaportin lähettyvillä. RFID-tekniikan hyödyntäminen kokokuormatasolla edellyttää RFID-tunnisteiden asentamista jokaiseen seurattavaan kuljetusyksikköön ja tunnisteiden lukemiseen tarvittavien lukijalaitteiden asentamista haluttuihin toimitusketjun pisteisiin.

Kokokuormayksikön tarkan sijainnin määrittäminen (jopa desimetritarkkuudella) on mahdollista myös esimerkiksi logistiikkakeskuksen sisällä. Tämän avulla logistiikkayritys voi tehostaa varastotoimintojaan huomattavasti, kun esimerkiksi tietty kontti voidaan paikantaa helposti konttiterminaalista. Tällaista tarkkuutta vaativat paikannussovellukset voidaan toteuttaa etupäässä lähipaikannustekniikoilla (esim. pseudoliitti- tai DGPS-paikannus).

Kuvassa 4.3 on havainnollistettu karkealla tasolla kokokuormaseurannan periaatetta tavarantoimittajan ja asiakkaan välisessä toimitusketjussa. On huomattava, että jos kokokuormatasoisia tavaratoimituksia halutaan seurata koko toimitusketjun matkalla, on seurantatekniikka oltava asennettuna kuljetusyksikköön aina tavarantoimittajalta lähtien. Seurantatekniikka voidaan asentaa kuljetusyksikköön myös myöhemmissä toimitusketjun vaiheissa, mutta tällöin ei välttämättä pystytä hyödyntämään kaikkea tuoteseurannan mukanaan tuomaa potentiaalia.



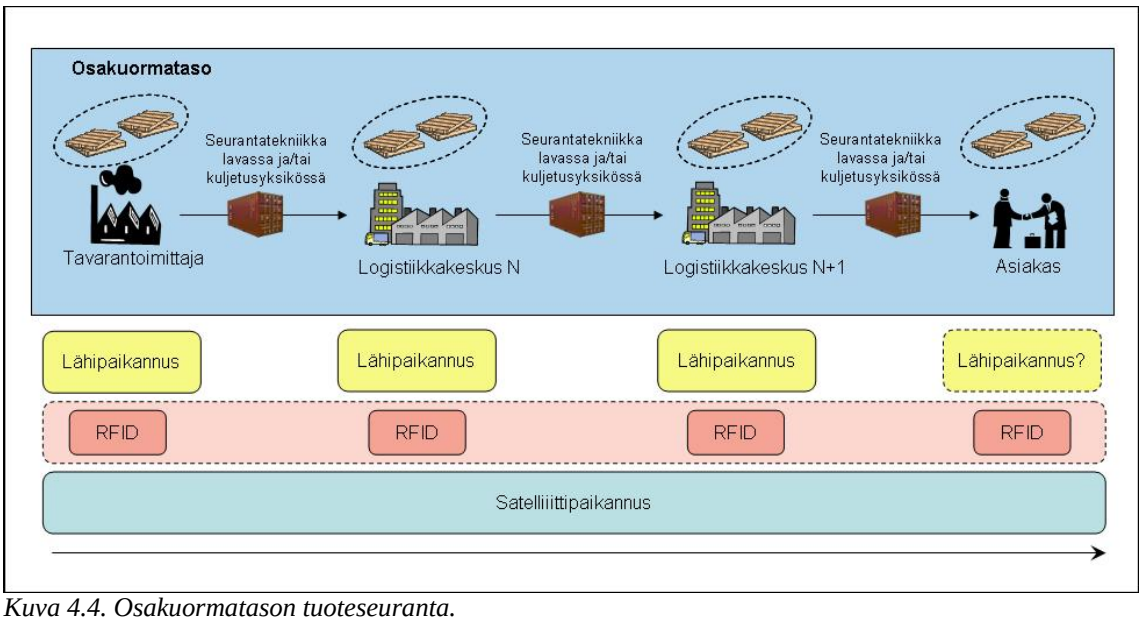
Kuva 4.3. Kokokuormatason tuoteseuranta.

4.4.2 Osakuormatason tuoteseuranta

Kokokuormatasolla riittää saman sijaintitiedon välittäminen kaikille toimitusketjun eri osapuolille, koska kokokuormatasolla seurattava tavaratoimitus pysyy muuttumattomana (tavaroita ei pureta kuljetusyksiköistä) tavarantoimittajalta aina asiakkaalle asti. Sen sijaan osakuormatasoisessa seurannassa pelkkä kontin seuranta ei riitä, koska kuljetuslavoja tai muita vastaavia kuljetusalustoja sisältävä kontti puretaan jossakin vaiheessa toimitusketjua välivarastointia varten. Tällöin yksittäistä kuljetuslavaa ei voida enää yhdistää tiettyyn konttiin, vaan tarvitaan kuljetuslavakohtaista seurantaa. Kuljetuslavojen seuranta on mahdollista toteuttaa lavakohtaisilla tunnisteilla (esim. RFID-tunniste), joiden avulla jostakin kontista purettu kuljetuslava voidaan tunnistaa ja paikantaa varastosta. Kuljetuslavaan sijoitettuun RFID-tunnisteeseen voidaan tallentaa erilaisia tietoja lavasta ja sen sisältämistä tuotteista. RFID-tunniste voi sisältää esimerkiksi tuotteiden sarjanumerot, pakkauspaikan ja -päivämäärän sekä tavaratoimitusten toimitusosoitteen. Joissakin tapauksissa osakuormien tunnistamiseen riittää perinteinen viivakooditekniikka, joka ei kuitenkaan tarjoa samanlaisia automatisointi-, tallennus- ja muita vastaavia ominaisuuksia kuin RFID-tekniikka.

Kuljetuslavoihin tai muihin vastaaviin kuljetusalustoihin olisi mahdollista integroida myös reaaliaikaisen seurannan mahdollistamia satelliittivastaanottimia, mutta tälle ei useinkaan ole tarvetta, koska yleensä toimitusketjun eri osapuolia kiinnostaa etupäässä tavaratoimitukseen liittyvä statustieto. Lisäksi satelliittivastaanottimien asentaminen jokaiseen kuljetuslavaan aiheuttaa suuria ja usein turhiakin kustannuksia erityisesti silloin, kun reaaliaikaiselle sijaintitiedolle ei ole todellista tarvetta. Jos kuljetuslavoja halutaan kuitenkin seurata reaaliaikaisesti, voidaan tämä useimmissa tapauksissa toteuttaa kokokuormatason seurannalla, niin kauan kuin kuljetuslavat on lastattu satelliittivastaanottimella varustettuun kokokuormayksikköön. Tavaratoimitusten asiakkaille riittää kuitenkin yleensä tieto siitä, että osakuorma on saapunut välivarastoitavaksi logistiikka-

keskukseen. Asiakas ei siis yleensä tarvitse tietoa esimerkiksi hänelle toimitettavien tuotteiden tarkasta sijainnista varastossa (esim. hyllypaikka). Varastonpitäjää sen sijaan kiinnostaa tietyn tavaran sijainti varastossa, koska tuotteen tarkan sijainnin tietäminen tehostaa huomattavasti tuotteiden käsittelyä varastossa. Tarvittaessa varastoyrityksen on mahdollista kehittää seurantajärjestelmä (esim. hyödyntämällä pseudoliittipaikannus- tai DGPS-tekniikoita), jolla kuljetuslavat voidaan paikantaa varastosta parhaimmillaan jopa desimetritasolla. Kuvassa 4.4 on havainnollistettu karkealla tasolla osakuormaseurannan periaatetta tavarantoimittajan ja asiakkaan välisessä toimitusketjussa.



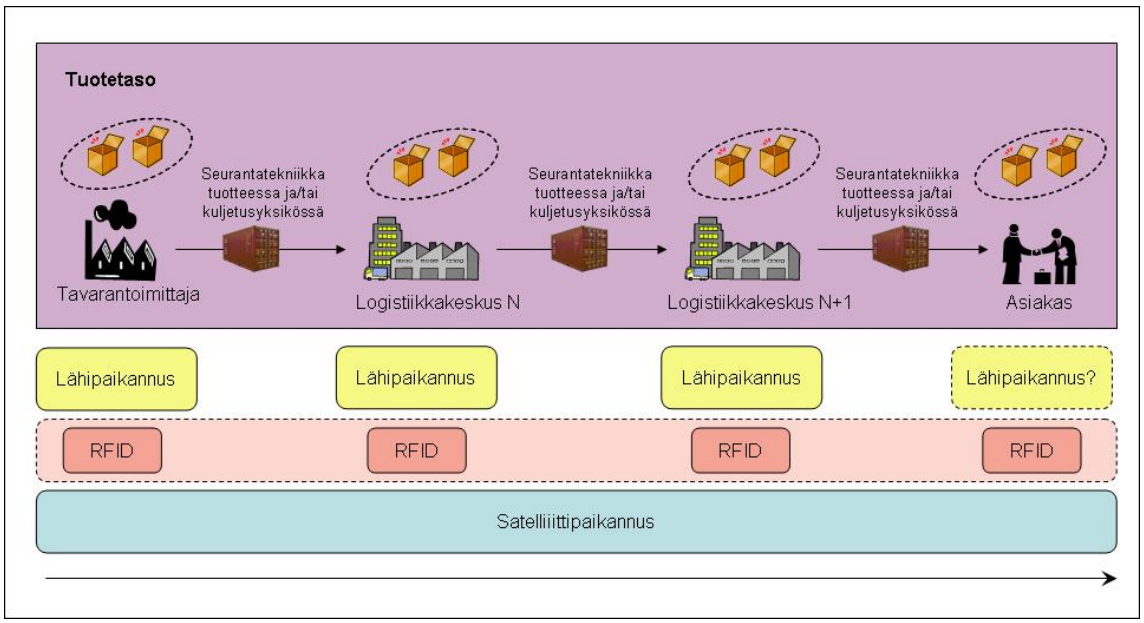
Kuva 4.4. Osakuormatason tuoteseuranta.

4.4.3 Tuotetason tuoteseuranta

Tuotetasolla tapahtuva tuoteseuranta mahdollistaa yksityiskohtaisen ja tarkan tuotteiden tunnistamisen ja paikantamisen läpi koko kuljetusketjun. Tuotteen seuranta on mahdollista toteuttaa tuotteeseen liitetyllä tunnisteella (esim. RFID-tunniste), joka voi sisältää tietoa esimerkiksi tuotteen alkuperästä, pakkauspaikasta ja -päivämäärästä sekä muista vastaavista ominaisuuksista. Vaikka nykytekniikka tarjoaa edellytykset esimerkiksi RFID-tekniikalla toteutettavalle tuoteseurannalle, tuotteiden seuranta tapahtuu nykyään usein visuaaliseen tunnistamiseen perustuvalla viivakooditekniikalla. Tuotetasoinen tuoteseuranta RFID-tekniikalla soveltuu parhaiten arvokkaiden tuotteiden tunnistamiseen ja paikantamiseen, sillä RFID-tunnisteiden liittäminen edullisiin tuotteisiin ei ole taloudellisesti kannattavaa, eivätkä halvat tuotteet välttämättä edellytä tarkkaa seurantaa. Yksittäisiä toimitusketjuissa kuljetettavia tuotteita on mahdollista seurata myös satelliittipaikannuksella, joka mahdollistaa tuotteiden reaaliaikaisen seurannan koko toimitusketjun matkalla. Tämä kuitenkin edellyttää, että jokaiseen seurattavaan tuotteeseen asennetaan satelliittivastaanotin. Yksittäisten tuotteiden seuraaminen satelliittipaikannuksella on harvoin kannattavaa, sillä näin tarkan tason seurantaa ei yleensä tarvita ja myös satelliittivastaanottimen asentaminen erikseen jokaiseen kuljetettavaan tuotteeseen

aiheuttaa suuria kustannuksia. Satelliittipaikannuksen käyttämistä tuotetasoisessa seurannassa kannattaakin harkita vain erittäin kriittisissä tavaratoimituksissa.

Tuotekohtainen seuranta ei kaikkien tuotteiden kohdalla ole kovinkaan perusteltua sellaisissa tilanteissa, joissa tuote kulkee koko kuljetusketjun läpi samassa kuljetusyksikössä, esimerkiksi kontissa. Tällaisissa tapauksissa tuote voidaan yhdistää tiettyyn konttiin, mikä mahdollistaa myös kontissa olevan tuotteen seurannan ilman tuotekohtaista tunnistetta. Toisaalta, vaikka tuotteissa olisikin tuotekohtainen tunniste, ei sen lukeminen kontin ulkopuolelta valitun seurantatekniikan asettamista rajoituksista johtuen välttämättä onnistu. Tuotekohtainen tunnistaminen pääsee oikeuksiinsa vasta silloin, kun tuotteita käsitellään yksittäisinä tuotteina, esimerkiksi satamissa välivarastoinnin yhteydessä. Kuvassa 4.5 on havainnollistettu karkealla tasolla yksittäisten tuotteiden seurannan periaatetta tavarantoimittajan ja asiakkaan välisessä toimitusketjussa.



Kuva 4.5. Tuotetason tuoteseuranta.

4.4.4 Tuoteseurannan kannalta optimaalinen toimitusketju

Tuoteseurannan kannalta optimaalisessa toimitusketjussa tavaratoimituksia seurataan kaikilla kolmella edellä esitetyillä tuoteseurantatasoilla, joista jokaiseen on integroitu 1) reaaliaikaista paikkatietoa tarjoava satelliittivastaanotin, 2) status- eli tilatietoa tuottava ja tunnisteen tietosisällön päivittämisen mahdollistava RFID-tekniikka, 3) edellä mainittuja tekniikoita poikkeamatilanteissa tukeva tekninen ratkaisu (esim. matkapuhelinverkkotekniikka) sekä 4) tarkkaa sijaintitietoa rajatuilla alueilla (esim. logistiikkakeskus) tarjoava lähipaikannustekniikka (esim. pseudoliitti- tai DGPS-tekniikka). Lisäksi tarvitaan sopiva tietojärjestelmä, johon tunnistus- ja paikannustietoa voidaan tallentaa ja josta se on helposti hyödynnettävissä, sekä luotettava ja tarkoitukseen sopiva tiedonsiirtotapa tunnistus- ja paikannustekniikoilla tuotetun tiedon välittämiseen.

Satelliittipaikannuksen avulla toimitusketjun osapuolet näkevät tavaratoimituksen sijainnin reaaliaikaisesti, mikä lisää toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja mahdollistaa muun muassa toimitusketjun pullonkaulojen havaitsemisen. Reaaliaikainen paikkatieto paljastaa esimerkiksi toimitusketjussa ne pisteet, joissa tavaratoimitusten kiertoaika on jatkuvasti muita toimitusketjun pisteitä pidempi. Satelliittipaikannus yksistään ei kuitenkaan mahdollista tiedon tallentamista ja päivittämistä seurattavaan kohteeseen. Tämän takia tuoteseurannan kannalta optimaalisessa toimitusketjussa tarvitaan myös RFID-järjestelmää, jonka avulla kuljetusyksikköön, kuljetuslavaan tai tuotteeseen liitettyyn tunnisteeseen voidaan tallentaa ja päivittää erilaista tietoa läpi toimitusketjun koko seurattavan kohteen elinkaaren ajan. Jos satelliittipaikannus ei jostain syystä toimi, RFID-tekniikkaa voidaan hyödyntää toimitusketjuissa jossain määrin myös satelliittipaikannusta korvaavana, muttei kuitenkaan reaaliaikaista paikkatietoa tarjoavana, seurantamenetelmänä.

Satelliitti- ja RFID-tekniikka ovat tuoteseurannan päämenetelmät, mutta niiden puutteena optimaalisessa koko toimitusketjun läpi tapahtuvassa tuoteseurannassa on se, etteivät ne varsinaisesti tarjoa jatkuvaa poikkeamatietojen raportointimahdollisuutta. Satelliittipaikannus on tarkoitettu lähinnä paikkatiedon välittämiseen, eikä sen avulla muunlaisen informaation välittäminen ole luontevaa. RFID puolestaan perustuu statustietojen välittämiseen tietyissä ennalta määritellyissä pisteissä, eikä sen avulla voida vastata poikkeamatilanteisiin kovinkaan nopeasti, saati reaaliaikaisesti. Tämän takia satelliittipaikannuksen ja RFID-tekniikan rinnalle tarvitaan tuoteseurannan kannalta optimaalisessa toimitusketjussa muita taustalla toimivia paikannustekniikoita. Esimerkiksi matkapuhelinverkkoihin perustuva verkkopaikannus mahdollistaa nopean kaksisuuntaisen tiedonvälityksen poikkeamatilanteissa, koska matkapuhelinverkko on maailmanlaajuinen ja se tarjoaa koko ajan avoinna olevan yhteyden toimitusketjun eri osapuolien välillä. Matkapuhelinverkko soveltuu myös monenlaisen informaation välittämiseen, useimmissa tapauksissa riittävän suurella tiedonsiirtonopeudella. Matkapuhelinverkko ei kuitenkaan sovellu jatkuvan paikkatiedon välittämiseen, koska tämä kuormittaa verkkoa liikaa. Lisäksi matkapuhelinverkon tarkkuus ja toimintavarmuus vaihtelevat toimintaympäristön mukaan (esim. merellä verkon tukiasemat voivat olla kaukana paikannettavasta kohteesta).

Tuoteseurannan kannalta optimaalisessa toimitusketjussa tuotteita on pystyttävä seuraamaan hyvinkin tarkalla tasolla, esimerkiksi seurattaessa yksittäisten tuotteiden tai kuljetuslavojen sijaintia varastossa. Satelliitti- tai verkkopaikannuksella ei päästä tällaisiin paikannustarkkuuksiin, eivätkä nämä tekniikat yleensä toimi riittävän hyvin myöskään sisätiloissa. Sen sijaan lähipaikannustekniikat (esim. pseudoliitti- tai DGPS-tekniikat) mahdollistavat näin tarkan paikannuksen, ja ne toimivat yleensä myös sisätiloissa. Lähipaikannustekniikoilla tuotteita pystytään seuraamaan rajatuilla alueilla (esim. satama, varastoalue tai muu vastaava logistiikkakeskus) muita paikannustekniikoita merkittävästi tarkemmin, jopa desimetrien tarkkuudella. Tuotteen tarkan sijainnin määrittämisen avulla voidaan tehostaa varastotoimintoja, tavarankäsittelyä ja muita logistiikkakeskusten keskeisiä logistisia toimintoja. Koko toimitusketjun näkökulmasta lähipaikannustekniikoiden merkitys on kuitenkin vähäinen, koska niiden tarjoama rajatulla alueella toimiva tarkka sijaintitieto hyödyttää käytännössä ainoastaan logistiikka-

keskusta ja sen sisällä toimivia osapuolia. Muille toimitusketjun osapuolille riittää yleensä tavaratoimitusten aikataulutiedot.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa on esitetty yhteenveto tutkimusraportista ja johtopäätöksiä tutkimustuloksista. Luku on jaettu viiteen alalukuun. Ensimmäisessä alaluvussa esitellään lyhyesti tutkimuksen tausta. Toisessa alaluvussa luodaan yhteenveto kirjallisuusosuudessa tarkastelluista keskeisistä tuoteseurantaan soveltuvista tunnistus- ja paikannusmenetelmistä. Kolmannessa ja neljännessä alaluvussa pyritään vastaamaan tutkimuksessa asetettuihin ja johdannossa esitettyihin osatutkimuskysymyksiin. Viidennessä alaluvussa pohditaan satamasidonnaisten kuljetusketjujen nykytilaa, tulevaisuuden näkymiä ja haasteita.

5.1 Tutkimuksen tausta

Logistiikka-alalla toimivien yritysten liiketoimintaympäristö on muuttunut globalisaation myötä maailmanlaajuiseksi ja entistä dynaamisemmaksi. Tämä on lisännyt ajantasaisen ja virheettömän tiedon välityksen merkitystä läpi maa- ja yritysrajojen ylittävien toimitusketjujen. Myös lisääntyneet asiakasvaatimukset ja yleisen valvonnan tehostuminen tuovat paineita toimitusketjujen hallinnalle. Tuoteseuranta ja siihen liittyvän tiedon välittäminen ovat olennainen osa maailmanlaajuisten toimitusketjujen hallintaa. Tuoteseurannan avulla tavaratoimituksia voidaan seurata läpi toimitusketjun, minkä ansiosta tieto kuljetuskaluston, kuljetusyksiköiden ja tuotteiden sijainnista ja saatavuudesta on tarvittaessa eri osapuolten käytettävissä ajasta ja paikasta riippumatta. Tarkan tavaratoimitusten sijainnin tietäminen tehostaa toimitusketjun eri osapuolten resurssien suunnittelua ja kohdistamista, mahdollistaa toimitusketjujen pullonkaulojen havaitsemisen sekä helpottaa poikkeamatilanteiden hallintaa. Satamissa toimitusketjujen hallinnan merkitys korostuu toimijoiden ja erilaisten prosessien monitahoisuudesta johtuen. Kehittyneiden tuoteseurantaratkaisujen käyttöönotto satamasidonnaisissa toimitusketjuissa lisäisi läpinäkyvyyttä satamissa ja muissa toimitusketjun osissa sekä helpottaisi kaikin tavoin koko ketjun hallintaa.

Tämä tutkimusraportti on Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen (MKK) Kotkan yksikössä (Merikotka-tutkimuskeskus) tammikuun 2008 ja elokuun 2009 välisenä aikana toteutetun *Tuoteseuranta satamasidonnaisessa kuljetusketjussa (TUKKE)* -projektin loppuraportti. TUKKE-projektissa on tarkasteltu satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa liikkuvia tietovirtoja ja niiden jakamista eri toimijoiden kesken sekä selvitetty satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytilaa ja kehitysmahdollisuuksia. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, minkälaisia tietovirtoja satamasidonnaisten kuljetusketjujen eri osapuolet välittävät keskenään, ja millaisia tunnistus- ja paikannustekniikoita voidaan hyödyntää satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusselvitystä, logistiikka-alan yrityksiin kohdistettuja haastatteluja sekä satama- ja yritysvierailuja.

5.2 Tunnistus- ja paikannusmenetelmät

Tunnistus- ja paikannusmenetelmät voidaan jakaa satelliittipaikannus-, verkkopaikannus- ja lähipaikannusmenetelmiin. *Satelliittipaikannus* perustuu maapalloa kiertävien

paikannussatelliittien lähettämien ratatieto- ja aikamerkkisignaalien vastaanottoon ja vastaanottimen sijainnin laskemiseen satelliittien etäisyyksien perusteella. Satelliittipaikannuksen tarkkuus on tavallisesti noin kymmenen metriä, mutta erilaiset esteet (esim. rakennukset) saattavat heikentää tarkkuutta useilla kymmenillä metreillä tai voivat jopa estää järjestelmän käytön kokonaan. Satelliittipaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa erilaisilla järjestelmään tehtävillä laajennuksilla (esim. A-GPS, DGPS ja EGNOS). Satelliittipaikannuksen vallitseva ja ainoa täydessä operatiivisessa käytössä oleva maailmanlaajuinen menetelmä on GPS, mutta myös muita globaaleja satelliittijärjestelmiä on olemassa ja ollaan kehittämässä (GLONASS, Galileo ja Beidou). Näistä ainoastaan kehityksen alla oleva eurooppalainen Galileo on riippumaton ja etupäässä siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä. Muut satelliittipaikannusjärjestelmät ovat alun perin sotilaskäyttöön tarkoitettuja, eikä niiden toiminnasta ja jatkuvuudesta siviilikäytössä ole täyttä varmuutta. Järjestelmien hallinnasta vastaavat sotilasviranomaiset, ja järjestelmiin liittyvät päätökset (esim. paikannuspalvelujen saatavuus) tehdään Euroopan ulkopuolisesta näkökulmasta. Satelliittipaikannusta käytetään muun muassa navigointiin ja reittisuunnitteluun.

Verkkopaikannuksella tarkoitetaan matkapuhelinverkkoihin perustuvaa paikannusta. Verkkopaikannuksen tarkkuus vaihtelee toimintaympäristöstä riippuen noin sadasta metristä (esim. kaupunkien keskustat) useisiin kilometreihin (esim. maaseutu). Tällainen tarkkuus riittää monenlaiseen tiedonhakuun ja henkilöiden paikantamiseen, mutta esimerkiksi tiettyyn kohteeseen opastamisessa tarvitaan parempaa tarkkuutta. Verkkopaikannuksen hyödyntäminen edellyttää, että käyttäjällä on käytössään päätelaite, joista yleisin on perinteinen matkapuhelin. Verkkopaikannuksen tärkein etu onkin matkapuhelinten suuri levinneisyys, minkä ansiosta verkkopaikannuspalveluiden käyttöönotto ei vaadi käyttäjältä suurta taloudellista panostusta. Verkkopaikannuksen suurin heikkous liittyy puolestaan kapasiteetin rajallisuuteen, koska paikannuspalvelun edellyttämä matkapuhelimen jatkuva seuranta vaatii merkittävästi resursseja, minkä takia jatkuvan ja reaaliaikaisen kaupallisen matkapuhelinverkkoihin perustuvan paikannusjärjestelmän toteuttaminen on käytännössä mahdotonta. Verkkopaikannustekniikoita ovat muun muassa solupaikannus (Cell ID ja Cell ID + TA), signaalin voimakkuuteen (Rx-level), saapumiskulmaan (AOA) ja saapumisaikaan (esim. TOA, TDOA ja E-OTD) perustuvat paikannusmenetelmät sekä signaalikarttoihin perustuva korrelaatiopaikannus.

Lähipaikannus toimii tietyllä rajatulla alueella perustuen lyhyen kantaman signaalien välitykseen. Lähipaikannus tapahtuu usein sisätiloissa (esim. toimistot, lentokentät ja sairaalat), jolloin puhutaan sisätilapaikannuksesta. Lähipaikannuksen avulla on mahdollista täydentää satelliitti- ja verkkopaikannusta, joiden heikkoutena on muun muassa erityisestä tarkkuutta vaativiin sovelluksiin riittämätön paikannustarkkuus ja soveltumattomuus sisätilapaikannukseen. Lähipaikannuksen avulla voidaan saavuttaa sisätiloissa muutaman metrin tai parhaimmillaan jopa senttimetrien paikannustarkkuus. Lähipaikannusmenetelmät voidaan jakaa tunnistusmenetelmiin, joita ovat viivakoodi- ja RFID-tekniikka, sekä varsinaisiin paikannustekniikoihin, joita ovat lähiverkkopaikannus (WLAN), infrapunapaikannus, Bluetoothpaikannus ja ultraäänipaikannus.

5.3 Tunnistus- ja paikannustekniikoiden soveltuvuus tuoteseurantaan

Tuoteseurannan kannalta *satelliittipaikannus* on käytännössä ainoa reaaliaikaisen maailmanlaajuisen tuoteseurannan mahdollistama menetelmä. Reaaliaikaisuuden ansiosta tavaratoimituksia voidaan seurata hyvinkin tarkasti, ja mahdollisiin poikkeamiin voidaan puuttua pienellä viiveellä. Satelliittipaikannuksen tarkkuus on tyypillisesti muutamasta metristä muutamiin kymmeniin metreihin, mutta tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa erilaisilla menetelmillä ja laajennuksilla, joiden avulla paikannustarkkuudessa voidaan päästä jopa senttimetritasolle. Satelliittipaikannus on ollut jo vuosia yleisessä käytössä ja sen luotettavuuden on havaittu olevan sellaisella tasolla, että satelliittipaikannuksen käyttäminen tuoteseurannassa on tarpeen vaatiessa täysin perusteltua. Satelliittipaikannus soveltuu erityisen hyvin navigointiin ja reittisuunnitteluun, mutta myös tuoteseurantasovellusten toteuttaminen satelliittipaikannusmenetelmillä on mahdollista. Tämä edellyttää satelliittivastaanottimien asentamista kuljetusvälineisiin, kuljetusyksiköihin tai yksittäisiin tuotteisiin. Yksittäisten tuotteiden seuraaminen satelliittipaikannuksen avulla on harvoin tarkoituksenmukaista lähinnä siksi, ettei yksittäisten tuotteiden tarkalle reaaliaikaiselle seurannalle ole yleensä tarvetta. Lisäksi yksittäisiä tuotteita seuraavan järjestelmän toteuttaminen tuo mukanaan suuria kustannuksia. Kriittisten (esim. erityisen arvokkaat tuotteet ja tärkeät projektikuljetukset) yksittäisten tuotteiden reaaliaikainen seuraaminen satelliittipaikannuksella voi kuitenkin tulla tapauskohtaisesti kyseeseen. Yleisesti voidaan todeta, että satelliittipaikannus soveltuu etupäässä kuljetusvälineiden ja suurten kuljetusyksiköiden (esim. kontti) reaaliaikaiseen seurantaan.

Tuoteseurannan näkökulmasta nykyiset *verkkopaikannusmenetelmät* eivät yksistään sovellu ehdotonta tarkkuutta vaativiin paikannussovelluksiin. Verkkopaikannustekniikoiden paikannustarkkuus vaihtelee käytetystä tekniikasta ja ympäristöstä riippuen kymmenistä metreistä aina kymmeniin kilometreihin. Matkapuhelinverkoissa tapahtuva paikannus vie suhteellisen paljon verkon resursseja, minkä takia jatkuvan ja reaaliaikaisen kaupallisen paikannuspalvelun toteuttaminen verkkopaikannusmenetelmillä on käytännössä mahdotonta. Verkkopaikannusta voidaankin hyödyntää lähinnä yksittäisiä paikkapyyntöjä toteuttavana menetelmänä. Melko alhaisen paikannustarkkuuden ja reaaliaikaisuuden puutteen takia verkkopaikannus soveltuu toimitusketjuissa lähinnä tavaratoimitusten karkean tason seurantaan. Koska matkapuhelinverkkoihin perustuvan paikannuksen tarkkuus vaihtelee hyvinkin suuresti toimintaympäristön mukaan, verkkopaikannus soveltuu nykyään lähinnä satelliittipaikannusta tukevaksi menetelmäksi. Verkkopaikannusta voidaan käyttää esimerkiksi poikkeamatilanteiden hallinnassa, johon muun muassa vain yksisuuntaista tietoa välittävä satelliittipaikannus tai statustietoa tarjoava RFID-tekniikka eivät yleensä sovellu. Verkkopaikannuksen käyttämistä tuoteseurannassa edesauttaa tekniikan helppo saatavuus sellaisissa tilanteissa, joissa päätelaitteena voidaan hyödyntää laajasti levinnyttä matkapuhelinta.

Lähipaikannustekniikat ovat ainoita paikannusmenetelmiä, joilla voidaan päästä metritason tai jopa senttimetritason paikannustarkkuuksiin. Tällainen paikannustarkkuus mahdollistaa seurattavan tai tunnistettavan kohteen sijainnin tarkan määrittämisen. Lähipaikannusmenetelmät mahdollistavat paikantamisen myös sisätiloissa, mikä ei muilla paikannusmenetelmillä useimmissa tapauksissa ole mahdollista. Lähipaikannusmene-

telmillä voidaan esimerkiksi paikantaa kontti, kuljetuslava tai parhaimmillaan yksittäinen tuote ulko- tai sisätiloissa olevasta varastosta. Lähipaikannusmenetelmät (etupäässä viivakoodi- ja RFID-tekniikka) soveltuvat myös tuotteiden tunnistamiseen, mikä mahdollistaa status- eli tilatiedon tuottamisen tavaratoimituksista koko toimitusketjun matkalla. Yleensä toimitusketjuissa ei tarvita statustietoa tarkempaa tuoteseurantaa, mikä tekee lähipaikannusmenetelmiin kuuluvista tunnistusmenetelmistä useisiin tilanteisiin hyvin soveltuvan vaihtoehdon tuoteseurantaratkaisuksi. Tunnistusjärjestelmät ovat satelliittipaikannusmenetelmiin verrattuna usein huomattavasti halvempia toteuttaa ja helpommin laajennettavissa, minkä ansiosta tunnistustekniikoita pystytään hyödyntämään tuoteseurannassa muita tekniikoita laaja-alaisemmin. Tunnistustekniikat soveltuvat hyvin myös yksittäisten tuotteiden seurantaan, sillä tunnistustekniikoissa käytettyjen tunnisteiden asentaminen seurattaviin kohteisiin on valmiissa järjestelmissä helppoa ja edullista. Tunnistustekniikat ovat jo tänä päivänä suhteellisen yleisesti käytössä yritysten logistisissa prosesseissa, mikä helpottaa tunnistusjärjestelmien integrointia toimitusketjun eri osapuolten välillä ja mahdollistaa koko toimitusketjun laajuisten tuoteseurantaratkaisujen toteuttamisen ilman suurien lisäjärjestelmien rakentamista. Tunnistustekniikoiden avulla on mahdollista toteuttaa myös erilaisia automatisoituja prosesseja tehostamaan tavaratoimitusten käsittelyä toimitusketjun eri vaiheissa. Lisäksi RFID-tunnistustekniikka mahdollistaa tiedon päivittämisen tunnisteisiin, minkä ansiosta tavaratoimituksista saadaan päivitettyä tietoa koko toimitusketjun matkalta.

5.4 Erilaisten tavaratoimitusten tuoteseuranta

Erilaiset tavaratoimitukset asettavat erilaisia vaatimuksia tuoteseurannalle. Tässä tutkimusraportissa tarkasteltiin tuoteseurantaa kolmella eri tavaratoimitustasolla, joita ovat kokokuormataso, osakuormataso ja tuotetaso.

Kokokuormalla tarkoitetaan tavaratoimitusta, jossa täysi kuljetusyksikkö (esim. kontti tai traileri) kuljetetaan lähettäjältä yhdelle vastaanottajalle ilman välikäsittelyjä. Kokokuormatasoisten kuljetusten seuranta on perinteisesti perustunut konttien osalta yksilölliseen tunnistenumeroon sekä perävaunun ja trailerin osalta rekisterinumeroon. Kokokuormayksiköiden seurannassa olisi mahdollista siirtyä käyttämään tehokkaampia seurantamenetelmiä, joista satelliittipaikannus ja RFID-tekniikka ovat useimmissa tapauksissa sopivimmat ratkaisut. Satelliittipaikannustekniikan avulla kuljetusyksiköitä on mahdollista seurata tarvittaessa jopa reaaliajassa koko toimitusketjun matkalla. Tämä kuitenkin edellyttää, että jokaiseen seurattavaan kuljetusyksikköön on asennettu satelliittivastaanotin, jonka vastaanottamat signaalit voidaan tulkita kuljetusyksikön sijaintitietona. Kokokuormatasoisten tavaratoimitusten seuranta on mahdollista toteuttaa myös statustietoa tarjoavalla RFID-tekniikalla, jolloin esimerkiksi kontin sijainti voidaan paikantaa kahden pisteen välillä. RFID-tekniikan hyödyntäminen kokokuormatasolla edellyttää RFID-tunnisteiden asentamista jokaiseen seurattavaan kuljetusyksikköön ja tunnisteiden lukemiseen tarvittavien lukijalaitteiden asentamista haluttuihin toimitusketjun pisteisiin. Kokokuormayksikön sijainti voidaan määrittää myös niin tarkasti, että yksikkö voidaan paikallistaa jopa desimetritarkkuudella esimerkiksi logistiikkakeskuksen sisällä. Tämän avulla logistiikkayritys voi tehostaa varastotoimintojaan huomattavasti, kun esimerkiksi tietty kontti voidaan paikantaa helposti konttiterminaalista. Tällaista

tarkkuutta vaativat paikannussovellukset voidaan toteuttaa etupäässä lähipaikannustekniikoilla (esim. pseudoliittipaikannus). Kokokuormatasoinen seuranta riittää monissa tapauksissa, koska kuljetusyksikköä seurattaessa voidaan samalla seurata sen sisältämiä osakuormia ja yksittäisiä tuotteita.

Pelkkä kokokuormatasoinen seuranta ei riitä sellaisissa tilanteissa, joissa kuljetusyksikön sisältö puretaan (esim. välivarastoinnin yhteydessä) eikä purettua sisältöä voida enää yhdistää kokokuormatasoisen kuljetusyksikön seurantatietoon. Tällöin tarvitaan joko osakuormatasoista tai tuotetasoista seurantaa. *Osakuormalla* tarkoitetaan tavaratoimitusta, jossa on useiden vastaanottajien lähetyksiä samassa kuljetusyksikössä (esim. kontti) lastattuna erillisiin kuljetuslavoihin tai muihin vastaaviin kuljetusalustoihin, jotka yhdistellään terminaalissa jatkokuljetusta varten. Kuljetuslavojen seuranta on mahdollista toteuttaa lavakohtaisilla tunnisteilla (esim. RFID-tunniste), joiden avulla jostakin kontista purettu kuljetuslava voidaan tunnistaa ja paikantaa varastosta. Joissakin tapauksissa osakuormien tunnistamiseen riittää perinteinen viivakooditekniikka, joka ei kuitenkaan tarjoa samanlaisia automatisointi-, tallennus- ja muita vastaavia ominaisuuksia kuin RFID-tekniikka. Kuljetuslavoihin on mahdollista integroida myös reaaliaikaisen seurannan mahdollistamia satelliittivastaanottimia, mutta tälle ei useinkaan ole tarvetta, koska yleensä toimitusketjun eri osapuolia kiinnostaa etupäässä tavaratoimituksiin liittyvä statustieto. Lisäksi satelliittivastaanottimien asentaminen jokaiseen seurattavaan kuljetuslavaan aiheuttaa suuria ja usein turhiakin kustannuksia. Osakuormatasoisella seurannalla on myös mahdollista seurata yksittäisiä tuotteita lisäämällä tieto kuljetuslavan sisältämistä tuotteista lavaan asennettuun tunnisteeseen.

Kokokuorma- tai osakuormatasoinen seuranta ei riitä sellaisissa tilanteissa, joissa tavaratoimitukset puretaan tuotetasolle yksittäisinä tuotteina käsiteltäviksi. Tällöin tarvitaan tuotetasoista seurantaa. *Tuotetasolla* tapahtuva tuoteseuranta mahdollistaa yksityiskohtaisen ja tarkan tuotteiden tunnistamisen ja paikantamisen läpi koko kuljetusketjun. Tuotetasoinen seuranta edellyttää seurantatekniikan asentamista jokaiseen yksittäiseen seurattavaan tuotteeseen. Käytännössä ainoat tuotetasoiseen seurantaan soveltuvat seurantatekniikat ovat viivakoodi- ja RFID-tunnistustekniikat, koska tuotetasoisen seurannan toteuttaminen muilla seurantatekniikoilla ei ole yleensä taloudellisesti järkevää saatuihin hyötyihin verrattuna. Viivakoodi- ja RFID-tunnistustekniikat mahdollistavat yksittäisten tuotteiden seurannan läpi toimitusketjun status- eli tilatietoperusteisesti. Yksittäisiä toimitusketjuissa kuljetettavia tuotteita on mahdollista seurata myös satelliittipaikannuksella, joka mahdollistaa tuotteiden reaaliaikaisen seurannan koko toimitusketjun matkalla. Tämä edellyttää, että jokaiseen seurattavaan tuotteeseen asennetaan satelliittivastaanotin. Yksittäisten tuotteiden seuraaminen satelliittipaikannuksella on harvoin kannattavaa, sillä näin tarkan tason seurantaa ei yleensä tarvita ja myös satelliittivastaanottimen asentaminen erikseen jokaiseen seurattavaan tuotteeseen aiheuttaa suuria kustannuksia. Satelliittipaikannuksen käyttämistä tuotetasoisessa seurannassa kannattaakin harkita vain erittäin kriittisissä tavaratoimituksissa. Yleisesti ottaen tuotetasoista seurantaa on järkevää hyödyntää lähinnä tuotteiden tunnistamisessa ja statustietopohjaisissa sovelluksissa eikä niinkään varsinaisessa paikannuksessa.

5.5 Satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannan nykytila, tulevaisuuden näkymät ja haasteet

Satamasidonnainen kuljetusketju toimii perusperiaatteiltaan samalla tavalla kuin mikä tahansa muukin toimitusketju, mutta ketjussa on mukana tärkeänä osana eri kuljetusmuotoja ja erilaisia tavaratoimituksia yhdistävä satama tai useampi satama, mikä tuo huomattavasti lisää monimutkaisuutta toimitusketjuun. Sataman sisällä toimii lukuisia eri toimialan yrityksiä ja viranomaisia, joita pelkästään maakuljetuksiin perustuvassa toimitusketjuissa ei yleensä ole mukana. Satamien monitahoisuudesta johtuen kuljetusketjuissa liikkuu monenlaisia ja monenmuotoisia tavaratoimituksia ja tietovirtoja, joiden hallinta on todella haasteellista.

Tavaratoimitusten seuranta satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa perustuu nykyisin lähinnä konttien seurantaan. Konttinumeroon perustuvan tuoteseurannan lisäksi satamasidonnaisissa toimitusketjuissa seurataan tuotteita viivakooditekniikalla. Joissakin harvoissa yrityksissä viivakoodien rinnalla on käytössä RFID-tekniikka, jolla voidaan suorittaa samanlaisia toimintoja kuin viivakooditekniikalla mutta tehostetummin. Konttinumeroon perustuvan tunnistuksen tapaan myös RFID- ja viivakooditekniikat tarjoavat statustietoa tavaratoimituksista. Tavaratoimitusten seurannassa käytetään myös satamaliikenteen tietojärjestelmää PortNetiä, joka mahdollistaa alusten aikataulutietojen jakamisen järjestelmän käyttäjille ja toimii täten eräänlaisena tavaratoimitusten seurantatapana. Joissakin suurissa logistiikkayrityksissä yritysten tietojärjestelmien välisessä tiedonvaihdossa käytetään EDI-tiedonsiirtotekniikkaa, minkä avulla tavaratoimituksista voidaan välittää statustietoa osapuolten kesken. Pienet yritykset voivat seurata tavaratoimituksiaan ilman kalliita ja monimutkaisia tuoteseurantaratkaisuja hyödyntämällä WWW-pohjaisia seurantasovelluksia (esim. PortNet ja RailTrace). Vaikka valmiudet kehittyneiden tunnistus- ja paikannusmenetelmien hyödyntämiseen ovat olemassa, yrityksissä käytetään yhä yleisesti myös sähköpostia, puhelinta ja faksia tavaratoimitusten tilaan liittyvän tiedon välittämiseen.

Satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseuranta perustuu nykyään lähinnä status- eli tilatietoon ja sitä tarjoaviin tunnistustekniikoihin. Tämä johtuu pääasiassa siitä, ettei satamasidonnaisissa toimitusketjuissa useinkaan tarvita statustietoa tarkempaa tietoa, vaan yleensä pelkkä ETA-tieto riittää. Esimerkiksi reaaliaikaista paikkatietoa tarjoavaa satelliittipaikannustekniikkaa hyödynnetään satamasidonnaisissa kuljetusketjuissa lähinnä navigoinnissa ja reittisuunnittelussa, mutta vain harvoin reaaliaikaisessa tuoteseurannassa. Matkapuhelinverkkoihin perustuva paikannus ei näyttäisi olevan yleisessä käytössä satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurannassa. Toimijoiden laajasta kirjosta johtuen satamasidonnaisissa toimitusketjuissa on harvoin käytössä yhtenäistä koko toimitusketjun kattavaa tuoteseurantajärjestelmää. Näin laajan ja useita toimijoita sisältävän tuoteseurantajärjestelmän rajapintojen ja standardien integrointi on erittäin haastavaa tai jopa mahdotonta. Kullakin toimitusketjun toimijalla on yleensä käytössä omia sisäisiä järjestelmiä, joilla voidaan tietyiltä osin hallita tavaratoimitusten seurantaa kyseisen yrityksen näkökulmasta.

Ideaalitilanteessa satamasidonnaisen kuljetusketjun tuoteseurannassa käytetään useita erilaisia tunnistus- ja paikannusmenetelmiä rinnakkain. Ideaalisen tuoteseurantaratkai-

sun perustana on viivakoodi- ja RFID-tekniikkaa käyttävä tunnistusjärjestelmä, joka tarjoaa statustietoa tavaratoimituksien etenemisestä toimitusketjun eri vaiheissa ja mahdollistaa tietojen päivittämisen tavaratoimituksen mukana kulkevaan tunnisteeseen. Jos statustieto ei tarjoa riittävän tarkkaa paikkatietoa, otetaan tunnistusjärjestelmän rinnalle käyttöön reaaliaikaista paikkatietoa tarjoava satelliittipaikannustekniikka (esim. GPS ja sen laajennukset). Satelliitti- ja RFID-tekniikan puutteena on se, etteivät ne varsinaisesti tarjoa jatkuvaa poikkeamatietojen raportointimahdollisuutta. Tämän takia satelliittipaikannuksen ja RFID-tekniikan rinnalle tarvitaan tuoteseurannan kannalta optimaalisessa toimitusketjussa muita taustalla toimivia paikannustekniikoita. Esimerkiksi matkapuhelinverkkoihin perustuva verkkopaikannus mahdollistaa nopean kaksisuuntaisen tiedonvälityksen poikkeamatilanteissa ja tarjoaa maailmanlaajuisen koko ajan avoinna olevan yhteyden toimitusketjun eri osapuolien välillä. Tuoteseurannan kannalta optimaalisessa toimitusketjussa tuotteita on pystyttävä seuraamaan hyvinkin tarkalla tasolla, esimerkiksi seurattaessa yksittäisten tuotteiden tai kuljetuslavojen sijaintia varastossa. Lähipaikannustekniikat (esim. pseudoliittipaikannus) mahdollistavat näin tarkan paikannuksen, ja ne toimivat yleensä myös sisätiloissa. Tunnistusjärjestelmän, satelliittipaikannuksen, verkkopaikannuksen ja lähipaikannuksen lisäksi tarvitaan sopiva tietojärjestelmä, johon tunnistus- ja paikannustietoa voidaan tallentaa ja josta se on helposti hyödynnettävissä, sekä luotettava ja tarkoitukseen sopiva tiedonsiirtotapa tunnistus- ja paikannustekniikoilla tuotetun tiedon välittämiseen.

Todellisuudessa edellä esitetty tuoteseurannan kannalta optimaalinen toimitusketju on harvoin tarkoituksenmukainen. Yleensä toimitusketjun osapuolet eivät tarvitse reaaliaikaista paikkatietoa tavaratoimituksista, vaan statustieto on useimmissa tapauksissa riittävä. Useiden päällekkäisten tekniikoiden käyttäminen kuluttaa paljon yritysten resursseja saatuun hyötyyn nähden. Päällekkäiset tekniikat saattavat myös tuottaa niin paljon tietoa, että olennainen tieto hukkuu suuren tietomassan alle. Suuri tietomäärä kuormittaa lisäksi yritysten järjestelmiä ja erilaiset prosessit voivat jopa hidastua. Jotta tuoteseurantaratkaisuista saadaan kaikki hyödyt irti, tulee järjestelmän kattaa koko toimitusketju. Tyypillisissä toimitusketjuissa on lukuisia erilaisia toimijoita, joilla on käytössä erilaisia tietojärjestelmiä ja toimintatapoja, jolloin yhtenäisen tuoteseurantaratkaisun kehittäminen on myös erittäin haasteellista. Ongelmaksi muodostuu niin ikään järjestelmän rakentamisesta aiheutuneiden kustannusten jakaminen toimitusketjun eri osapuolten kesken: tuleeko kustannukset jakaa siten, että tuoteseurantaratkaisusta eniten hyötyvä osapuoli maksaa suurimman osan kustannuksista, vai millaisia periaatteita hyötyjen ja kustannusten jakamisessa tulisi noudattaa?

Tuoteseurantaratkaisu voidaan tietenkin toteuttaa vain pienessä osassa toimitusketjua (esim. yksittäisessä satamassa), mutta tällöin tuoteseurannan todelliset hyödyt jäävät toteutumatta. Yksittäisten toimijoiden kattavan tuoteseurantaratkaisun toteuttaminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta hyvin suuria kustannuksia. Esimerkiksi yksittäisen sataman on turha ryhtyä asentamaan tunnistustekniikkaa vaikkapa kontteihin, sillä yksi tietty kontti voi käydä elinkaarensa aikana vain muutaman kerran tietyssä satamassa, jolloin tunnistustekniikan toteuttamisesta aiheutuvat kustannukset ylittävät selvästi saadun hyödyn. Jos satama kuitenkin kokee tarpeelliseksi seurata sataman läpi kulkevia tavaratoimituksia, sen on mahdollista käyttää irrotettavia ja uudelleen käytettäviä tunnisteita (esim. RFID-tunniste) satama-alueen sisällä. Yksittäisen varastointialan yrityksen on

myös mahdollista toteuttaa eri tekniikoilla sisäisiä varastonhallintajärjestelmiä, joiden avulla voidaan esimerkiksi yksittäinen tuote paikantaa varastosta. Tällaisissa tapauksissa yksittäinenkin toimija voi saavuttaa suuria hyötyjä tuoteseurantaratkaisuilla.

Yhtenäinen koko toimitusketjun kattava tuoteseurantaratkaisu voi toimia suljetuissa järjestelmissä, joissa on rajattu määrä toimijoita ja joissa tavoitellaan vain näiden toimijoiden yhteisiä etuja. Suljetuissa järjestelmissä eri toimijoiden väliset rajapinnat on integroitu keskenään yhteensopiviksi, ja osapuolien välille on muodostunut vakiintuneita toimintatapoja. Lisäksi suljetut järjestelmät pysyvät usein melko muuttumattomina. Nämä tekijät tuovat läpinäkyvyyttä suljettuun toimitusketjuun, ja tuotetiedon jakamisesta tulee luonnollinen osa toimitusketjun toimintaa. Esimerkiksi vähittäiskauppa-alan yritykset yhdysvaltalainen Wal-Mart, saksalainen Metro Group ja britannialainen Tesco ovat kehittäneet ansiokkaasti hallinnoimiensa toimitusketjujen tuoteseurantaa yhteistyössä tavaratoimittajiensa kanssa. Näissä kauppaketjuissa tuoteseurannan kehittäminen on muun muassa tehostanut prosesseja, vähentänyt tavarahävikkiä ja parantanut tuotteiden saatavuutta myymälöiden hyllyillä.

Tämän tutkimusraportin pääpaino oli erilaisissa tunnistus- ja paikannusmenetelmissä ja niiden soveltuvuuden tarkastelussa satamasidonnaisten kuljetusketjujen tuoteseurantaan. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että tekniset valmiudet hyvinkin kehittyneiden ja monipuolisten koko toimitusketjuja kattavien tuoteseurantaratkaisujen toteuttamiseen ovat jo olemassa. Toimitusketjujen laajuisten seurantaratkaisujen kehittämisen esteenä eivät siis niinkään ole itse seurantatietoa tuottavat tunnistus- ja paikannustekniikat, vaan suurimpana haasteena on seurantatiedon saattaminen sellaiseen muotoon, että se on helposti jokaisen toimitusketjun osapuolen saatavissa ja hyödynnettävissä. Yksittäisillä mailla ja satamilla on jo nykyään käytössä eräänlaisia tietoportaaleja, jotka mahdollistavat tavaratoimituksiin liittyvien tietojen keskitetyn tallentamisen ja hyödyntämisen. Myös Suomen meriliikennettä palvelee tämäntapainen keskitetty tietoportaali PortNet, joka on tarkoitettu pääasiassa aluskäynteihin liittyvien tietojen jakamiseen eri toimijoiden kesken. PortNet sisältää kuitenkin tietoa vain Suomen satamiin kohdistuvista aluskäynneistä. Tästä johtuen tavaratoimitusten seuranta läpi globaalien toimitusketjujen ei ole PortNet-järjestelmällä mahdollista. Tulevaisuuden kannalta olisikin tärkeää pohtia, olisiko mahdollista kehittää PortNet-järjestelmän kaltainen globaali tietoportaali, joka palvelisi kansainvälisiä satamasidonnaisia toimitusketjuja ja loisi pohjan läpinäkyvälle maa- ja yritysrajat ylittävälle tuoteseurantaratkaisulle. Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen koordinoimassa syksyllä 2009 alkavassa Mobile Port eli Mobiilisatama (MOPO) -projektissa tullaan paneutumaan syvällisemmin satamasidonnaisten toimitusketjujen tietoportaaliratkaisuihin.

LÄHTEET

Airos, E., Korhonen, R. & Pulkkinen, T. (2007). Satelliittipaikannusjärjestelmät. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Riihimäki. [Viitattu 6.5.2009]. Saatavissa: <http://www.mil.fi/laitokset/pvtt/satelliittipaikannus.pdf>

APRSAF (2008). Service Status of QZSS. Asia-Pacific Regional Space Agency Forum, 10.12.2008. [Viitattu 13.5.2009]. Saatavissa: <http://www.aprsaf.org/data/aprsaf15_data/csawg/CSAWG_6d.pdf>

Arokoski, A., Jääskeläinen, J., Kontio, M., Köykkä. S., Raatikainen, S., Tervo, T. & Vierimaa, K. (2002). Mobiiliteknologiat. Edita Publishing Oy, IT Press, Helsinki. 258 s.

Arshinder, K., Kanda, A. & Deshmukh, S.G. (2008). Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. International Journal of Production Economics, Vol. 115, Iss. 2, pp. 316–335.

Asif, Z. & Mandviwalla, M. (2005). Integrating the Supply Chain With RFID: a Technical and Business Analysis. Fox School of Business and Management, Temple University, Philadelphia, Yhdysvallat. [Viitattu 9.6.2009]. Saatavissa: <http://ibit.temple.edu/programs/RFID/RFIDSupplyChain.pdf>

ASM (2009). QZSS-1 in 2010. ASM – Asian Surveying & Mapping, 8.5.2009. [Viitattu 13.5.2009]. Saatavissa: <http://www.asmmag.com/news/qzss-1-in-2010>

ASM (2008). India Approves GAGAN System. ASM – Asian Surveying & Mapping, 15.9.2008. [Viitattu 13.5.2009]. Saatavissa: <http://www.asmmag.com/news/india-approves-gagan-system>

Auvinen, S., Aspelin, E., Berg, V., Koskinen, P. & Mickelson, I. (1994). EDI: Käytännön käsikirja – tulevaisuus on nyt!. Suomen atk-kustannus, Espoo.

Bailey, K. & Francis, M. (2008). Managing information flows for improved value chain performance. International Journal of Production Economies, Vol. 111, pp. 2–12.

BBC News (2007). 'Unanimous backing' for Galileo. [Viitattu 19.5.2009]. Saatavissa: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/7120041.stm>

Behzadan, A., Aziz, Z., Anumba, C. & Kamat, V. (2008). Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites. Automation in Construction 17, 2008, pp. 737–748. [Viitattu 26.6.2009]. Saatavissa: <http://pathfinder.engin.umich.edu/documents/Behzadan&Aziz&Anumba&Kamat.AIC.2008.pdf>

Chen, R. & Kuittinen, R. (2007). Tutkimusta paikannusmenetelmien kehittämiseksi – Monimenetelmäpaikannus. Maankäyttö 2/2007, s. 28–30. [Viitattu 4.6.2009]. Saatavissa: <http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk207/mk207_1030_chen.pdf>

Chen, R., Toran-Marti F. & Ventura-Traveset, J. (2003). Access to the EGNOS signal in space over mobile-IP. GPS Solutions, 2003, Vol. 7, Iss. 1, pp. 16–22. [Viitattu 2.7.2009]. Saatavissa: <http://www.springerlink.com/content/bvf1mkh9mk2m9dpr/fulltext.pdf>

Clark, S. (2009). Navigation satellite deployed in Chinese launch. Spaceflight Now, 14.4.2009. [Viitattu 12.5.2009]. Saatavissa: <http://www.spaceflightnow.com/news/n0904/14china/>

Clark, S. (2008). Russia finishes year by launching three satellites. Spaceflight Now, 25.12.2008. [Viitattu 12.5.2009]. Saatavissa: <http://www.spaceflightnow.com/news/n0812/25glonass/>

Commission of the European Communities (2006). Green Paper on Satellite Navigation Applications. Viitattu [21.5.2009]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0769:REV1:EN:PDF>

Encyclopedia Astronautica (2008). Beidou. [Viitattu 12.5.2009]. Saatavissa: <http://www.astronautix.com/craft/beidou.htm>

European Commission (2009). Galileo – Applications. [Viitattu 21.5.2009]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/transport/galileo/applications/applications_en.htm>

European Space Agency (2007). About EGNOS. [Viitattu 19.5.2009]. Saatavissa: <http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_egnos_0.html>

European Space Agency (2005). About Galileo. [Viitattu 19.5.2009]. Saatavissa: <http://web.archive.org/web/20060501190659/www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html>

Finkenzeller, K. (2004). RFID Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Second Edition. John Wiley & Sons Ltd., Englanti. 427 s.

Glonass.it (2009). GLONASS System. [Viitattu 11.5.2009]. Saatavissa: <http://www.glonass.it/eng/glonass-story.aspx>

Granlund, K. (2001). Langaton tiedonsiirto – Langattoman tiedonsiirron peruskirja. Docendo Finland Oy, Jyväskylä. 399 s.

Granqvist, J., Permala, A., Scholliers, J., Rauhamäki, H., Laakso, J. & Varjola, M. (2002). Tavarakuljetusten seuranta TASKU. Tutkimusraportti RTE 4059/02, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Granqvist, J., Hiljanen, H., Permala, A., Mäkinen, P., Rantala, V. & Siponen, A. (2003). Tavaraliikenteen telematiikka-arkkitehtuuri. FITS-julkaisuja 20/2003, Liikenne- ja viestintäministeriö.

Gupta, P. (2009). Short-Range Wireless Connectivity: A Complementary Comparison. Wireless Developer Network -uutispalvelun Internet-sivut. [Viitattu 5.6.2009]. Saatavissa: <http://www.wirelessdevnet.com/channels/bluetooth/features/bluetooth_irda.html>

Hakala, E. (2007). EDI-varastolaskutus – case Ruokakesko Oy. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 17.4.2009]. Saatavissa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/29627/Hakala.Esa.pdf?sequence=1>

Hakolahti, T. (2003). Mobiilit paikkatietosovellukset. Pro gradu -tutkielma, Joensuun yliopisto, Tietojenkäsittelytiede. [Viitattu 15.6.2009]. Saatavissa: <ftp://cs.joensuu.fi/pub/Theses/2003_MSc_Hakolahti_Teemu.pdf>

Hall, S. (2007). IBM launches RFID medication tracking system. [Viitattu 11.5.2009]. Saatavissa: <http://www.itbusinessedge.com/blogs/hdw/?p=686>

Hautala, R., Leviäkangas, P., Kulmala, R., Auvinen, S. & Berglund, R. (2003). PortNetin vaikuttavuuden arviointi. FITS-julkaisuja 15/2003. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 81 s. [Viitattu 2.7.2009]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2003/fits15.pdf>

Hazas, M. & Ward, A. (2002). A Novel Broadband Ultrasonic Location System. UbiComp 2002: Ubiquitous Computing, pp. 264–280.

Holmberg, S. (2006). RailTrace. Global Track and Trace Seminar, Helsinki. [Viitattu 15.7.2009]. Saatavissa: <http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ELO/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Esitysaineisto/VR_Holmberg_20060209.pdf >

Høy, L. (2003). Laivoille oma chattikanava. Tieteen Kuvalehti, Nro. 05, s. 58–59. [Viitattu 5.7.2009]. Saatavissa: <http://www.tieteenkuvalehti.com/polopoly.jsp?d=157&a=948>

Hurskainen, H. (2005). Arestin sähköiset valvontamenetelmät. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan osasto. 71 s. [Viitattu 16.6.2009]. Saatavissa: <http://www.cs.tut.fi/~hurskaih/files/hhmscthss.pdf>

Huurre, J. (2008). Itella roll cage tracking using the TraSer solution. [Viitattu 4.6.2009]. Saatavissa: <http://www.rfidlab.fi/?file=123>

Hyppönen, R., Aminoff, A. & Kettunen, O. (2004). Varastotoiminnan seuranta ja mittaaminen. VTT Tuotteet ja tuotanto. [Viitattu 5.5.2009]. Saatavissa: <http://www.valoohjelma.fi/Wadelma/Wadelma_seuranta.pdf>

Infrared Data Association (2009). What is infrared and Where is it used?. Infrared Data Association -yhteisön Internet-sivut. [Viitattu 5.6.2009]. Saatavissa: <http://www.irda.org/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=14>

Inside GNSS (2009). About Compass/Beidou. [Viitattu 25.5.2009]. Saatavissa: <http://www.insidegnss.com/aboutcompass>

JP-Epstar Oy (2003). Tutkimus satelliittipohjaisista laajakaistajärjestelmistä Suomen televiestintämarkkinoilla. [Viitattu 14.5.2009]. Saatavissa: <http://www.laajakaistainfo.fi/ajankohtaista/satelliittiraportti_final.pdf>

Kanerva, K. & Purola, J. (2001). Logistiikkaselvitys 2001. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 52/2001. Liikenne- ja viestintäministeriö.

Kangasniemi, T. (2008). EU rakentaa vihdoin Galileo-paikannuksen loppuun. Tekniikka & Talous, 2.7.2008. [Viitattu 12.5.2009]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/tk/avaruus/article115156.ece>

Karasti, O. (2000). Bluetooth teollisuudessa – Langattomasti vaativissa oloissa. Prosessori/ES, marraskuu 2000, s. 66–68. [Viitattu 4.6.2009]. Saatavissa: <http://www.prosessori.fi/es00/arkisto/PDF/BLUETOOT.PDF>

Karrus, K. (2005). Logistiikka. Werner Söderström Osakeyhtiö, Helsinki. 419 s.

Kauremaa, J. & Auramo, J. (2004). Logistiikan sähköisten tieto- ja viestintäteknologioiden hyödyntäminen – Kokemuksia suomalaisista yrityksistä. Tekes, Teknologiakatsaus 154/2004.

Ketzenberg, M., Rosenzweig, E.D., Marucheck, A.E. & Metters, R.D. (2006). A framework for the value of information in inventory replenishment. European Journal of Operational Research. Vol. 182, Iss. 3. pp. 1230–1250.

Kim, B. G. & Lee, S. (2008). Factors affecting the implementation of electronic data interchange in Korea. Computers in Human Behavior 24, 2008, pp. 263–283.

Koponen, R. (2004). Ennakoivan Bluetooth-verkon hyödyntäminen paikkatietoon pohjautuvan opastusjärjestelmän toteutuksessa. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 67 s.

Kortesmäki, J. (2005). Sähköinen tiedonsiirto kuljetus- ja huolintaprosessien tehostajana. Tutkintotyöraportti, Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kotanen, A., Hännikäinen, M., Leppäkoski, H. & Hämäläinen, T. (2003). Experiments on Local Positioning with Bluetooth. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Digitaali- ja tietokonetekniikan laitos. [Viitattu 26.6.2009]. Saatavissa: <http://daci.digitalsystems.cs.tut.fi:8180/pubfs/fileservlet?download=true&filedir=dacifs&freal=Kotanen_-_Experiments_on_Local_Posi.pdf&id=66978>

Kukko, E., Mäki, P. & Viitaniemi, V. (1998). GPS – Global Positioning System, Eli johdatus satelliittipaikannuksen saloihin. [Viitattu 6.5.2009]. Saatavissa: <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/8/>

Kulkarni, S. (2007). India to develop its own version of GPS. Rediff News, 27.9.2007. [Viitattu 13.5.2009]. Saatavissa: <http://www.rediff.com/news/2007/sep/27gps.htm>

Kummala, J., Kulmala, R., Hautala, R., Oinas, J. & Holm, C. (2001). Matkapuhelinpaikannuksen hyödyntäminen liikennetietojen keruussa, Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 61/2001. Tietohallinto 2001, Helsinki. [Viitattu 11.6.2009]. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200707.pdf>

Kärkkäinen, M. (2006). RFID logistiikassa. [Viitattu 8.6.2009]. Saatavissa: <http://legacy-tuta.hut.fi/logistics/publications/RFID_logistiikassa_010806.pdf>

Laakso, J., Varjola, M. & Kanerva, O. (2001). Sähköisen tiedonsiirron kehittäminen vaa-rallisten aineiden kuljetuksissa. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja, 34/2001. Liikenne- ja viestintäministeriö.

Laamanen, K. & Tinnilä, M. (2002). Prosessijohtamisen käsitteet. Teknologiainfo Teknova Oy.

Merenkulkulaitos (2009). PortNet. Merenkulkulaitoksen Internet-sivut. [Viitattu 2.7.2009]. Saatavissa: <http://portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/portnet>

Miettinen, S. (2006). GPS käsikirja. Genimap Oy, Helsinki. 192 s.

Miettinen, S. (1999). GPS vie vaivatta perille, Ohjekirja luonnossa liikkujille. Ajatus Kirjat, Helsinki. 172 s.

Nurmilaakso, J. (2008). EDI, XML and e-business frameworks: A survey. Computers in Industry, Vol. 59, Iss. 4, pp. 370–379.

Pelkonen, H. (1997). Yritysten välinen tiedonsiirto – EDI. Metalliteollisuuden kustannus, Helsinki.

Permala, A., Scholliers, J. & Granqvist, J. (2006). Etätunnistuksen suuntaviivat logistiikassa, Logistiikan RFID roadmap. AINO-julkaisuja 30/2006, Helsinki. [Viitattu 10.6.2009]. Saatavissa: <http://www.aino.info/julkaisut/2_kuljinfo/aino_30_2006.pdf>

Perälä, P. (2007). Mobiilipaikannusmenetelmät ja -järjestelmät. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, Tietotekniikan koulutusohjelma. 44 s. [Viitattu 11.6.2009]. Saatavissa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/5298/Per%C3%A4l%C3%A4.Pekka.pdf?sequence=1>

PortNet (2009). PortNet-sovelluksen Internet-sivut. [Viitattu 15.7.2009]. Saatavissa: <http://www.portnet.fi/finnish/>

Potinkara, R. (2004). Paikannusmenetelmät ja paikkatiedon standardit. Pro gradu - tutkielma, Oulun yliopisto, Maantieteen laitos. [Viitattu 6.5.2009]. Saatavissa: <http://www.minne.oulu.fi/docs/rami_potinkara-2004-10.pdf>

Pouri, R. (1997). Businesslogistiikka. 288 s. [Viitattu 15.7.2009]. Saatavissa: <http://www.logy.fi/doc/Bussiness.pdf>

Poutanen, M. (1998). GPS-paikanmääritys. Ursan julkaisuja 63, Helsinki. 269 s.

Pulli, H. & Tapaninen, U. (2008). TUKKE – Tuoteseuranta satamasidonnaisessa kuljetusketjussa. Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisuja. Julkaisematon. [Viitattu 21.7.2009]. Saatavissa: <http://www.merikotka.fi/tiedotteet/Tuoteseuranta_satamasidonnaisessa_kuljetusketjussa.pdf>

Pulli, H., Kajander, S. & Tapaninen, U. (2007). Satamasidonnaisten logistiikkayritysten tietotarpeet (TYLOGE). Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisuja, B 149. [Viitattu 24.7.2009]. Saatavissa: <http://www.merikotka.fi/julkaisut/TYLOGE_rapotti161207.pdf>

Punakivi, M. (2004). Miksi RFID halutaan tilaus-toimitusketjuihin?. Logistiikan RFID sovelluskeskus, RFID Lab Finland. [Viitattu 10.6.2009]. Saatavissa: <www.hetky.fi/Hetky_RFID-seminaari_mikko_punakivi.ppt>

Pönkkänen, S., Vuorinen, S. & Lempiäinen, J. (1999). Bluetooth – tiedonsiirtoa langattomasti. Harjoitustyö, Teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 4.6.2009]. Saatavissa: <http://www.netlab.hut.fi/opetus/s38118/s99/htyo/39/>

Raghu, K. (2007). India to build a constellation of 7 navigation satellites by 2012. [Viitattu 13.5.2009]. Saatavissa: <http://www.livemint.com/2007/09/05002237/India-to-build-a-constellation.html>

Rainio, A. (2003). Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Tekes, Teknologiakatsaus 143/2003. [Viitattu 4.5.2009]. Saatavissa: <www.tekes.fi/julkaisut/paikannus_mobiilipalveluissa.pdf>

Rautiainen, P. & Rinta-Keturi, I. (2005). PortNet 2. Toiminnallinen esiselvitys. AINO-julkaisuja 3/2005. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 63 s. [Viitattu 2.7.2009]. Saatavissa: <http://www.aino.info/julkaisut/2_kuljinfo/aino3_2005.pdf>

Sahin, F. & Powell, R. (2004). Information sharing and coordination in make-to-order supply chains. Journal of Operations Management, Vol. 23, Iss. 6, pp. 579–598.

Sallanniemi, S., Rauhamäki, H. & Mäki, S. (2004). Serial Shipping Container Code (SSCC) erikoistavaroiden toimitusketjussa. Tutkimusraportti 54, Tampereen teknillinen yliopisto, Liikenne- ja kuljetustekniikan laitos. 57 s. [Viitattu 23.7.2009]. Saatavissa: <http://www.valo-ohjelma.fi/SSCCraportti.pdf >

Schiller, J. (2001). Mobiili tietoliikenne. Edita Oyj, IT Press, Helsinki. 380 s.

Schönberg, K. (2007). Venäjä kirii Euroopan ohi satelliittipaikannuksessa. Taloussanomat, 21.3.2007. [Viitattu 18.5.2009]. Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/teknologia/2007/03/21/venaja-kirii-euroopan-ohi-satelliittipaikannuksessa/20077220/133>

Skjoett-Larsen, T., Thernoe, C. & Andresen, C. (2003). Supply chain collaboration: theoretical perspectives and empirical evidence. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, Vol. 33, Iss. 6, pp. 532–549.

Solakivi, T., Ojala, L., Töyli, J., Hälinen, H., Lorentz, H., Rantasila, K. & Naula, T. (2009). Logistiikkaselvitys 2009. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 11/2009, Helsinki. [Viitattu 10.7.2009]. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=339549&name=DLFE-6903.pdf&title=Logistiikkaselvitys%202009%20(LVM11/2009)>

Sormunen, P. (2004). Luonnontieteet yhteiskunnassa, GPS-järjestelmä. Opiskelijatyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Digitaalinen viestintätekniikka ja tietojohtaminen. [Viitattu 6.5.2009]. Saatavissa: <http://www.it.lut.fi/kurssit/03-04/010820000/opiskelijatyot/GPS_jarjestelma.pdf>

Stefansson, G. (2002). Business-to-business data sharing: A source for integration of supply chains. International Journal of Production Economies, Vol. 75, Iss. 1–2., pp. 135–146.

Suomen Internetopas (2009). Internetin rakenne ja toimintaperiaate. [Viitattu 16.7.2009]. Saatavissa: <http://www.internetopas.com/yleistietoa/rakenne/>

Suomen kuljetusopas (2009a). Kehitysnäkymiä. [Viitattu 22.7.2009]. Saatavissa: <http://www.kuljetusopas.com/kuljetus/kehitysnakymia/>

Suomen kuljetusopas (2009b). EDI – Organisaatioiden välinen tiedonsiirto. Suomen Kuljetusopas. [Viitattu 2.6.2009]. Saatavissa: <http://www.kuljetusopas.com/it/edi/>

Suvak, D. (2000). IrDA and Bluetooth: A Complementary Comparison. Extended Systems Inc. [Viitattu 5.6.2009]. Saatavissa: <http://www.rdc.cz/prilohy/hardware/54_IrDAand%20BluetoothComparison.pdf>

U.S. Department of Defence (2001). Global Positioning System, Standard Positioning Service Performance Standard. United States of America, Department of Defense, Assistant Secretary of Defense for Command, Control, Communications, and Intelligence, October 2001. [Viitattu 14.5.2009]. Saatavissa: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/2001SPSPerformanceStandardFINAL.pdf>

Tajima, M. (2007). Strategic value of RFID in supply chain management. Management and Organizational Studies, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada. Journal of Purchasing & Supply Management 13, 2007, pp. 261–273.

Tapper, V-P. (2006). RFID-tekniikka ja -sovellukset logistisissa toiminnoissa. RFID Lab Finland. [Viitattu 15.7.2009]. Saatavissa: <http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/VAMOS/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/Logistiikka_liikenne/Logistiikka_Uusikaupunki_08112006/061108_RFIDLab_presentation.pdf>

Tuntematon (2009). Kuva Bluetooth-järjestelmän verkkotopologiasta. [Viitattu 4.6.2009]. Saatavissa: <http://i.t.com.com/i/tr/downloads/images/olzak/bluetooth/olzak_bluetooth_fig3.jpg>

Ward, A., Steggles, P., Curwen, R., Webster, P., Addlesee, M., Newman, J., Osborn, P. & Hodges, S. (2002). The Bat Ultrasonic Location System. AT&T Laboratories Cambridge. [Viitattu 8.6.2009]. Saatavissa: <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/bat/>

Wei, Z. (2009). RFID and item-level information visibility. European Journal of Operational Research, Vol. 198, Iss. 1, p. 252.

Worth Data (2004). Bar Code Primer. Viitattu [9.7.2009]. Saatavissa: <http://www.barcodehq.com/manuals/primer.pdf>

YLE Uutiset (2009). Bluetooth-tekniikassa on pahoja tietoturva-aukkoja. YLE Uutiset, 10.2.2009. [Viitattu 4.6.2009]. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2009/02/bluetooth-tekniikassa_on_pahoja_tietoturva-aukkoja_536361.html>

Turun yliopisto
MERENKULKUALAN KOULUTUS- JA TUTKIMUSKESKUS
Veistämönaukio 1–3
FI–20100 TURKU

http://mkk.utu.fi

TURUN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF TURKU