

LANGATTOMAT  
TIEDONSIIRTOYHTEYDET  
KONEPAJAYMPÄRISTÖSSÄ

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantopainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2008  
Sami Kesälä

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

KESÄLÄ, SAMI: Langattomat tiedonsiirtoyhteydet konepajaympäristössä

Tuotantopainotteisen mekatroniikan suuntautumisvaihtoehdon  
opinnäytetyö, 23 sivua.

Kevät 2008

## TIIVISTELMÄ

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua Heidenhain- ohjattujen metallintyöstökoneiden tiedonsiirtotapoihin. Lisäksi opinnäytetyöhön kuuluu käytännön osuus, jossa tutkittiin langattomien tiedonsiirtotekniikoiden käyttömahdollisuuksia konepajaympäristöissä. Tämä tehtiin rakentamalla langaton tiedonsiirtoverkko asiakasyrityksen käyttöön.

Työn tarkoituksena oli testata ja kehittää konepajoissa yleisesti käytössä olevia langallisia tiedonsiirtoyhteyksiä vastaamaan nykyajan tietomäärien asettamia vaatimuksia. Tämä tehtiin tutkimalla mahdollisuutta toteuttaa työstökoneiden väliset yhteydet langattomasti WLAN- tekniikalla. Tutkimuksen mahdollisti yhteistyöyri-tyks Edufix Oy ja sen asiakasyritys Javasko Oy. Tutkimuksen onnistuessa Edufix tulisi toteuttamaan langattomia verkkoja muillekin asiakasyrityksilleen.

Työn tulokset osoittavat, että langattomia tiedonsiirtotekniikoita voidaan käyttää myös konepajaympäristössä korvaamaan langallisia yhteyksiä.

Avainsanat: tiedonsiirto, työstökone, konepaja, Heidenhain, wlan (wireless local area network)

Lahti University of Applied Sciences

Faculty of Technology

KESÄLÄ, SAMI: Wireless data transmission in machine workshop environment

Bachelor's Thesis in Mechanical and Production Engineering, 23 pages

Spring 2008

ABSTRACT

---

The objective of this thesis was to explore the data transmission methods of Heidenhain controlled machine tools. Building a wireless local area network to a machine workshop was the practical part of this thesis. The purpose was to study new possibilities to accomplish data transmission using a wireless local area network. Usually data transmissions in machine workshops are done with traditional local area network technology. The goal of this study was to find out if these connections could be done wireless.

The study was commissioned by Edufix and one of its customers Javasko. If the wireless network should work in machine workshop environment, Edufix would market and sell WLAN- networks also to its other customers.

The result of the study indicates that wireless data transmission technologies can be used also in demanding machine workshop environments.

Key words: data transmission, machine tool, machine workshop, Heidenhain, WLAN (wireless local area network)

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYÖSTÖKONEIDEN OHJAUKSET	3
	2.1 Yleistä	3
	2.1 Heidenhain-ohjaukset	4
3	TIEDONSIIRTOTEKNIIKAT	6
	3.1 Tiedonsiirtoyhteydet	6
	3.2 RS-232-standardi	6
	3.3 Ethernet-pohjainen tiedonsiirto	8
	3.4 Langaton ethernet, WLAN	10
	3.4 Heidenhain-tiedonsiirto	11
4	WLAN- PROJEKTI JAVASKO OY:LLÄ	12
	4.1 Javasko Oy	12
	4.2 Ongelman kuvaus	13
	4.3 Projektin kulku	13
	4.3.1 Tarve langattomalle tiedonsiirrolle	14
	4.3.2 Verkon rakenne	14
	4.3.3 Tutustuminen kohteeseen	15
	4.3.4 Langattomien tukiasemien testaus	16
	4.3.5 Verkon rakentaminen Javaskolle	17
	4.4 RS-232- portin käyttäminen	18
	4.5 Yhteenveto projektin tuloksista	19
5	MUUT RAKENNETUT VERKOT SEKÄ LANGATTOMUUDEN EDUT JA HAITAT	20
6	PÄÄTÄNTÄ	21
	LÄHTEET	23

## LYHENNELUETTELO

CAM	Computer-Aided Manufacturing
CNC	Computerized Numerical Control
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol address
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
NFS	Network File System
PLC	Programmable Logic Controller
RS	Radio Standard
SMB	Server Message Block
WDS	Wireless Distribution System
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA-PSK	Wi-Fi Protected Access

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsittelen tiedonsiirtoyhteyksiä konepajaympäristössä ja tutkin mahdollisuutta toteuttaa tiedonsiirto langattomasti WLAN- tekniikalla. Tehävänä oli tutustua Heidenhain-ohjattujen metallintyöstökoneiden tiedonsiirtotekniikoihin. Työn käytännönsuudessa toteutettiin langaton tiedonsiirtoverkko Mänttään Javasko Oy:n toimitiloihin. Samalla tuli selvittää langattoman järjestelmän etuja ja haittoja perinteiseen langalliseen toteutukseen verrattuna.

Langallisissa verkoissa on tiettyjä haittoja langattomuuteen verrattuna. Tämän vuoksi langattomat järjestelmät ovat kehittyneet ja yleistyneet nopeasti. Langattomia verkkoja löytyy nykyään monista kotitalouksista, yrityksistä ja julkisilta paikoilta. Etuna vanhaan langallisuuteen nähden pidetään erityisesti helppoa verkkoon liittymistä. Lähes kaikki nykyisin markkinoilla olevat kannettavat työasemat ovat varustettu langattomalla vastaanottimella. Lisääntyneet langattomat verkot mahdollistavat internetin ja sähköpostin käytön matkustettaessa, ja näin ollen ne tuovat internetpalvelut myös matkoilla helposti ja nopeasti käytettäväksi.

Konepajojen tiedonsiirtoyhteydet on perinteisesti toteutettu langallisesti, joko ethernet-, RS-232 - tai RS-422 - tekniikalla. Vanhat Heidenhain-ohjaukset, jotka ovat valmistettu ennen vuotta 1994, käyttävät joko RS-232 tai RS-422- standardia. Erona näillä tekniikoilla on, että RS-422 mahdollistaa pidemmät tiedonsiirtoetäisyydet ja häiriöttömämmän yhteyden. Omiin kokemuksiini pohjautuen totean kuitenkin, että RS-232 - standardi on käytössä lähes aina Heidenhain-ohjauksien tiedonsiirroista puhuttaessa.

Heidenhain kehitti ensimmäisen ethernet-pohjaiseen tiedonsiirtoon kykenevän TNC 426-ohjauksen vuonna 1994. TNC 426-ohjauksessa ja sitä seuraavissa ohjausmalleissa käytettävä tiedonsiirtotapa on vapaasti valittavissa edellä esitellyistä vaihtoehdoista. Ethernet on pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu, jolla nykyään kyetään jopa 10 Gbit/s tiedonsiirtonopeuksiin. Työstökoneiden ohjauksissa (Heidenhain) on

tällä hetkellä käytössä 10Mbit/s yhteydet.

Lisääntynyt tiedon määrä on synnyttänyt tarpeen kehittää olemassa olevia tiedonsiirtoyhteyksiä myös konepajoissa. Työstöohjelmien koko on kasvanut muutamista kymmenistä biteistä useiden megatavujen CAM- ohjattuihin ohjelmiin. Tehokkuutta ja nopeutta kehitettäessä on tiedonsiirron nopeudella näin ollen alkanut olla yhä suurempi merkitys koko tuotannon nopeudessa.

Tämän projektin tavoitteena oli tutkia, vaikuttaako konepajaympäristön olosuhteet langattoman tekniikan käyttöön sekä toteuttaa langaton tiedonsiirtoverkko asiakasyrityksen tiloihin.

Tämä opinnäytetyö on jaettu viiteen pääosaan, joista ensimmäinen on johdanto. Toisessa osassa selvitetään perusteita työstökoneiden ohjauksien, lähinnä Heidenhain-ohjauksien rakenteesta ja toiminnasta. Kolmannessa osassa perehdytään tiedonsiirtotapoihin, -tekniikoihin ja -standardeihin, koskien lähinnä Heidenhain-ohjauksia. Tämän raportin neljäs osa kuvaa käytännön projektia Javasko Oy:ssä. Osassa käydään läpi verkon rakentamisen vaiheet suunnittelusta ja tutkimuksesta rakentamiseen ja testaukseen. Viimeisessä osassa tutustutaan Javasko-projektin jälkeen rakennettuihin langattomiin verkkoihin ja niiden käyttökokemuksiin. Lisäksi kerätään yhteen esiin tulleet edut ja haitat työstökoneiden välisistä langattomista tiedonsiirtoyhteyksistä.

Yhteistyöyrityksenä tässä projektissa toimii Edufix Oy. Edufix Oy on vuonna 2005 perustettu metallintyöstökoneiden käyttäjien koulutukseen, koneiden asennukseen ja huoltoon erikoistunut yritys. Yritys myös modernisoi sekä sähköisesti, että mekaanisesti asiakkaidensa työstökoneita. Yrityksen perustivat vuonna 2005 Jukka Honkanen ja Jani Huurne, jotka molemmat työskentelevät edelleen yrityksen palveluksessa, Honkanen Edufix:n toimitusjohtajana ja Huurne huoltoinsinöörinä.

Valtaosa työskentelystä tapahtuu asiakkaiden tiloissa. Edufix huoltaa ja modernisoi kaikkien konevalmistajien koneita. Osaaminen ei siten ole sidottu konemerkkeihin, vaan osaamisen pääpaino on saksalaisen Heidenhainin tuotteissa; lähinnä niiden

ohjauksissa sekä mitta- ja servojärjestelmissä. Yhtenä osana toimintaa on myös tiedonsiirtoyhteyksien asentaminen asiakasyritysten tietokoneiden ja Heidenhain-ohjausten välille. Suurin osa asiakkaista on pieniä ja keskisuuria konepajoja ympäri Suomea, mutta Edufix Oy:llä on ollut myös jonkin verran toimintaa myös ulkomail- la. Lisäksi yritys järjestää koneistajille ohjelmointikoulutusta yhteistyössä Hervan- nan ammattiopiston kanssa.

Yritys työllistää tällä hetkellä kokopäiväisesti kuusi henkilöä. Edufix on rekisteröity Helsinkiin, mutta sillä on toimitilat ja varasto Tampereella. Työntekijöitä on Hel- singin ja Tampereen lisäksi myös Anjalankoskella ja Jyväskylässä.

## 2 TYÖSTÖKONEIDEN OHJAUKSET

### 2.1 Yleistä

Kehittyvä teknologia, yhä vaativammat työstettävät kappaleet sekä jatkuvasti yleis- tyvät CAM-sovellukset, ovat asettaneet uusia vaatimuksia työstökoneiden tiedon- siirtoyhteyksille. Konepajojen konekannan uusiutuessa manuaalisesti ohjattavat työstökoneet alkoivat vähetä ja tilalle tuli ensin NC-ohjattuja koneita. NC- ohjauksessa kone luki työstettävää ohjelmaa ajon aikana esim. reikänuhalta ilman ohjelmamuistia tai tietokonetta. CNC-ohjatut koneet alkoivat yleistyä puolivälissä 1970-lukua. Näissä koneissa ajettava ohjelma oli jo mahdollista syöttää koneen omaan muistiin. Pientietokoneen ohjaamana koneen oli mahdollista ajaa muistis- saan olevia ohjelmia ilman ulkoisia tallennuslaitteita.

Nykyaikaiset ohjaukset ovat laskentateholtaan ja kiintolevy- sekä muisti- kapasiteeteiltaan lähes verrattavissa tietokoneisiin. Uudet ominaisuudet ovat vie- neet ohjauksien käytön lähemmäksi kokonaisuutta, jossa tarvittaessa kaikki kappaa- leen valmistamiseen tarvittavat työvaiheet on mahdollista tehdä suoraan työstöko- neella. Ohjausta voidaan käyttää nykyään pelkän työstön suorittamisen ja valvon- nan lisäksi myös työstöratojen suunnitteluun ja mallintamiseen kolmiulotteisesti



ohjauksen näytöllä.

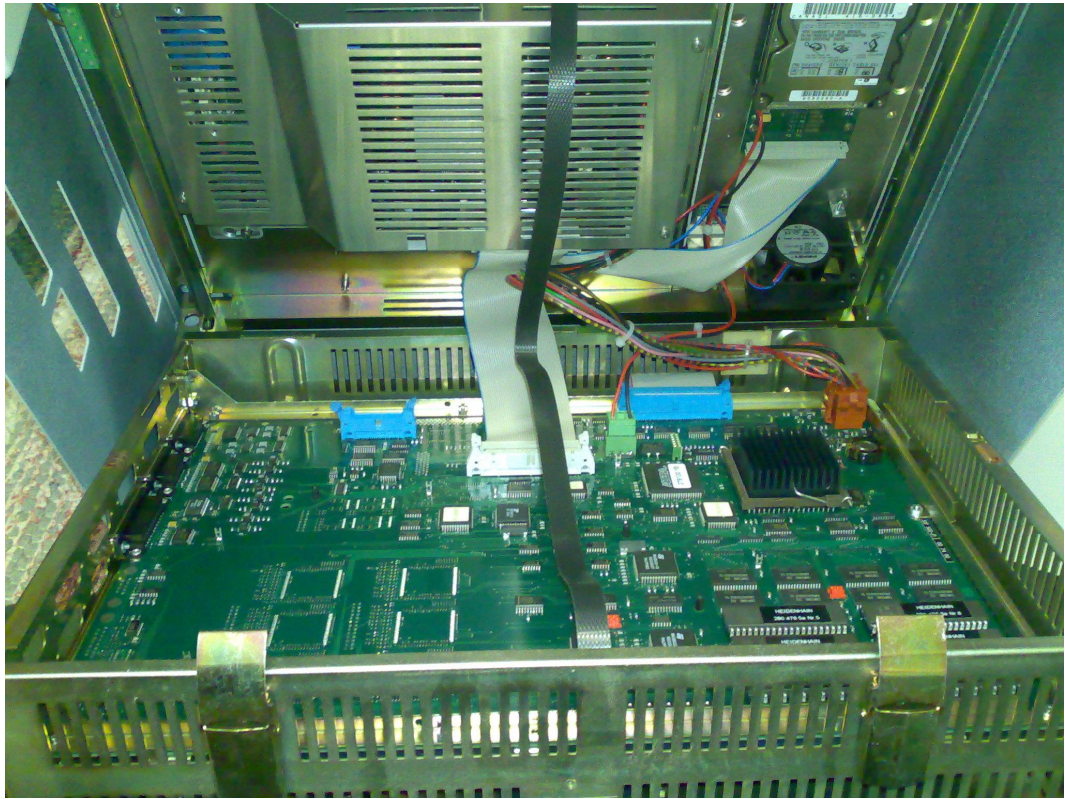
Tietokoneiden kehittyminen on lisännyt käsiteltävän tiedon määrää ja samalla asettanut uusia vaatimuksia tiedonkäsittelyn nopeudelle. Sama suuntaus on heijastunut myös työstökoneiden ohjauksiin.

## 2.1 Heidenhain-ohjaukset

Heidenhain on valmistanut komponentteja teollisuudelle vuodesta 1889.

Heidenhain kehittää ja valmistaa lineaarisia mittasauvoja, mittantureita, kulma-antureita, inkrementti- ja absoluuttiantureita sekä paikoitusnäyttölaitteita, TNC-ohjauksia ja näiden oheislaitteita. Heidenhain toimittaa tuotteitaan työstökonevalmistajille ja muiden auto-maattisten laitteiden valmistajille, erityisesti puolijohde- ja elektronikkateollisuuteen. (Heidenhain 2008.)

Ensimmäisen varsinaisen työstökoneen ohjauksen Heidenhain kehitti 1976, jolloin julkaistiin TNC 110 ja TNC 120. Nämä olivat janaohjattuja, maksimissaan kolmen akselin hallintaan pystyviä ohjauksia. Vuonna 1981 valmistui ensimmäinen rataohjaus, TNC 145, joka kykeni ohjaamaan kolmea akselia yhtäaikaisesti. Työkappaleen graafinen simulointi oli mukana ensimmäistä kertaa vuonna 1984, jolloin TNC 155 esiteltiin. Seuraava suurempi muutos tapahtui vuonna 1994, jolloin valmistui TNC 426.



**KUVIO 1. Heidenhain TNC 426-yksikkö avattuna**

Tämä ohjaus oli ensimmäinen digitaalitekniikkaa käyttävä ohjaus, ja se pystyi käyttämään viittä akselia. Seuraava versio TNC 426:ta, iTNC 530 valmistui vuonna 2004. Tämä ohjaus on kokonaan digitaalinen ja sillä voidaan ohjata maksimissaan 13:a akselia. Se on tällä hetkellä eniten valmistettu Heidenhain-ohjaus, jota on valmistettu yli 30000 kappaletta (2007). Uusinta tekniikka edustaa vasta tuotantoon tullut TNC 320, joka on suunniteltu ohjamaan maksimissaan neljää akselia. Tätä ohjausta voidaan käyttää mm. korvaamaan vanhoja rataohjauksia.

Pelkistetysti Heidenhain CNC-ohjauksen voidaan katsoa muodostuvan PLC- moduulista sekä TNC-ohjelman sisältävästä tietokoneesta.

Varsinainen TNC-ohjelma suoritetaan erikseen, lähinnä tietokonetta vastaavassa osiossa, ja koneen käytännön toiminta toteutetaan taas ohjelmoitavan logiikan avulla. TNC-moduulin tehtävänä on suorittaa kullekin ohjaukselle ominaista TNC-ohjelmaa. TNC-ohjelmaa voisi sen näkyviltä osin verrata tietokoneen käyttöjärjestelmään. TNC-ohjelma luo käyttäjälleen työskentely pohjan. Se sisältää mm. tiedostonhallinnan, ohjelmoinnin työkalut, työkierrat yms. Lisäksi TNC suorittaa

työstöohjelmien ajoon tarvittavan laskennan.

Koneen varsinaiset toiminnot suorittaa ja valvoo ohjelmoitava logiikka. PLC vastaanottaa anturitiedot koneesta ja ohjaa ulostuloja ohjelmansa mukaan. PLC myös vaihtaa tietoja TNC kanssa koneen tilasta, ohjelman kulusta ja käyttäjän määrittämistä liikkeistä.

### 3 TIEDONSIIRTOTEKNIIKAT

#### 3.1 Tiedonsiirtoyhteydet

Tiedonsiirtoyhteys on olennainen tekijä sekä koneen PLC:ssa että TNC:ssa. PLC:ssa tiedonsiirtoa tarvitaan ohjelmointia tehtäessä, varmuuskopioita otettaessa sekä virhe- ja häiriötilojen tutkimuksessa. TNC sen sijaan tarvitsee tiedonsiirtoyhteyttä työstöohjelmien siirtoon ja varmuuskopiointiin. Lisäksi tiedonsiirtoyhteyden avulla voidaan suorittaa suuria työstöohjelmia suoraan PC:n kovalevyllä, esimerkiksi koneen oman muistin rajallisuuden vuoksi.

Kuten jo edellä mainittiin, siirrettävän tiedon määrä on monikymmenkertaistunut viimeksi kuluneen 30 vuoden aikana. Tämä on muiden syiden ohella aikaan saanut myös konepajoilla tarpeen kehittää tiedonsiirtoyhteyksiä.

#### 3.2 RS-232-standardi

Heidenhain-ohjattujen työstökoneiden yleisimmät tiedonsiirtotekniikat ovat RS-232- ja Ethernet-yhteys. Sarjaliikenteeseen perustuvassa RS-232-standardissa siirrettävä data liikkuu binäärisenä bitti kerrallaan sarjamuotoisena. Standardin etuja ovat sen yleisyys ja yksinkertaisuus. Haittapuolina ovat taas nykyisille datamäärille riittämätön nopeus sekä kiinteillä kaapeleilla suhteellisen lyhyet siirtoetäisyydet. RS-232-tiedonsiirtoportti löytyy tällä hetkellä kaikista Heidenhainin valmistamista TNC-ohjauksista.

Käytettäessä RS-232-standardia Heidenhain-ohjauksien tiedonsiirtoon on valittava tiedonsiirtoasetukset halutun siirtotavan mukaisesti. Uudempien ohjauksien, TNC 415 tai uudempi, tiedonsiirto hoidetaan LSV2-protokollan avulla. LSV2 on kehitetty kaksisuuntainen protokolla, joka tiedonsiirron lisäksi mahdollistaa koneiden käytönaikaisen valvonnan ja etäkäytön. Protokollasta ei tarkempia parametrejä ollut yleisesti saatavissa.

Vanhempien ohjauksien RS-232-tiedonsiirtoyhteys voidaan valita muutamasta esiasetetusta vaihtoehdosta. On myös mahdollista parametroida oma tarkoitukseen sopiva yhteys tapa. RS-232-yhteyden tärkeimmät muuttujat on esitelty taulukossa 1. Taulukon sarakkeeseen FE1 on kerätty tyypillisimmän Heidenhain-tiedonsiirtoprotokollan parametrit.

**TAULUKKO 1. RS-232 tiedonsiirron parametrit**

Muuttuja	FE 1	Merkitys
Baud- rate	9600	Määrittelee tiedonsiirron nopeuden bitteinä sekunnissa
Data bits	7	Määrittelee kuinka monta databittiä yhdessä lähetyksessä on
Start bits	1	Lähetyksen aloittavien bittien määrä
Stop bits	1	Lähetyksen lopettavien bittien määrä
Flow control	Xon/Xoff	Vuoronohjaus
Parity check	Even	Patiteetti valvonta

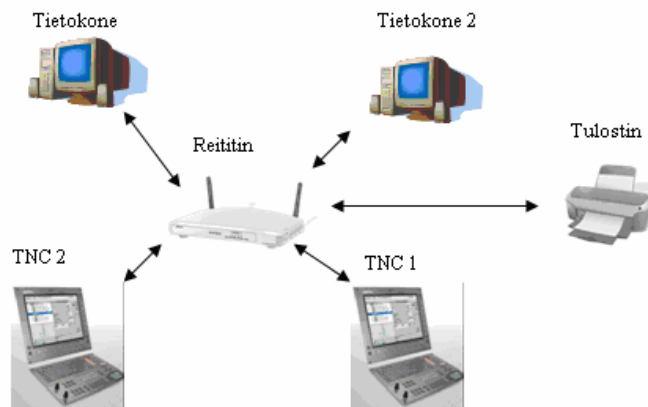
Vuoronohjauksella estetään päällekkäinen lähetyks tai vastaanotto. Xon/Xoff vuoronohjauksessa vastaanottava laite lähettää aina vastaanottaessaan Xoff-merkkiä. Tällöin lähettävä laite odottaa Xoff-merkin vaihtumista Xon-merkiksi ennen uuden lähetyksen aloittamista.

Lähettävän laitteen pariteetin valvonta laskee lähetyksen bittien määrän yhteen jokaisen bitin ollessa arvoltaan yksi. Koko lähetyksen saama arvo on tällöin parillinen tai pariton. Laite lähettää tällöin tuloksesta riippuvaisen merkin vastaanottajalle, joka vertaa vastaanotetun lähetyksen pariteettiä. Jos pariteetin arvo lähettäjällä ja vastaanottajalla on sama, jatketaan uuden paketin lähetystä. Jos pariteetissa on ero, pyytää vastaanottaja uudelleenlähetystä. Jos uudelleen lähetyks toistetaan kolme kertaa siinä kuitenkaan onnistumatta, tiedonsiirto keskeytetään.

### 3.3 Ethernet-pohjainen tiedonsiirto

Ensimmäinen Ethernet-pohjainen tiedonsiirtotekniikka kehitettiin 1970-luvulla Xeroxin Palo Alto tutkimuskeskuksessa. Kehitystyötä Xeroxin kanssa jatkoivat Digital ja Intel, jonka tuloksena julkaistiin ensimmäinen ethernetversio vuonna 1980. Ethernetistä on vuosien kuluessa kehitetty useita versioita, jotka yleisesti erotetaan toisistaan niiden siirtonopeuden perusteella. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ethernetin kolmanteen versioon, joka on parikaapelointia käyttävä 10BaseT-versio. Tässä versiossa siirtonopeus on tyypillisesti 10 Mbit/s. 10BaseT:stä on sittemmin kehitetty huomattavasti nopeampia siirtotapoja, mutta tässä työssä keskitytään käsittelemään 10BaseT:tä, koska se on käytössä kaikissa ethernet-yhteyteen kykenevissä Heidenhain-ohjauksissa.

10BaseT-standardi mahdollistaa sen edeltäjistä poiketen verkon tähtimäisen topologian. Tällöin verkon yksittäinen viallinen laite ei haittaa verkon toimintaa. Kuviossa 2 on esitetty ethernetverkon tähtimäinen topologia.



**KUVIO 2. Ethernet verkon topologia**

Kaapelointina 10BaseT:ssä käytetään vähintään kaksiparista Cat3- parikaapelia. Normaaliolosuhteissa kaapelin ei tarvitse olla kierrettyä eikä häiriösuojattua, mutta hankalissa olosuhteissa näillä menetelmillä pystytään vähentämään mahdollisia häiriöitä. Liittiminä käytetään RJ-45-liittimiä, jotka on esitetty kuviossa 3.



**KUVIO 3. RJ-45**

Tällaisessa kaapeloinnissa on sen käyttötarkoituksesta riippuen kaksi eri kytkentätapaa: kaapeli voi olla ristiin- tai suoraankytketty. Kytkentä on riippuvainen siitä, otetaanko yhteys suoraan verkkolaitteesta toiseen vai kytkeytyykö verkkolaite reitittimeen tai vastaavaan verkon rakenne komponenttiin. Kytkennät on esitelty taulukossa 2 seuraavalla sivulla.

## TAULUKKO 2. Suoraan- ja ristiinkytkenät

### Suoraankytketty RJ-45

Data 1	Kytkenä 1	Värikoodaus	Kytkenä 2	Data 2
TX+	1	Valkoinen/ Oranssi	1	TX+
TX-	2	Oranssi	2	TX-
RX+	3	Valkoinen/ Vihreä	3	RX+
	4	Sininen	4	
	5	Valkoinen/ Sininen	5	
RX-	6	Vihreä	6	RX-
	7	Valkoinen/ Ruskea	7	
	8	Ruskea	8	

TX on datan lähetys  
 RX on datan vastaanotto

### Ristiinkytetty RJ-45

Data 1	Kytkenä 1	Värikoodaus	Kytkenä 2	Data 2
TX+	1	Valkoinen/ Oranssi	3	RX+
TX-	2	Oranssi	6	RX-
RX+	3	Valkoinen/ Vihreä	1	TX+
	4	Sininen	7	
	5	Valkoinen/ Sininen	8	
RX-	6	Vihreä	2	TX-
	7	Valkoinen/ Ruskea	4	
	8	Ruskea	5	

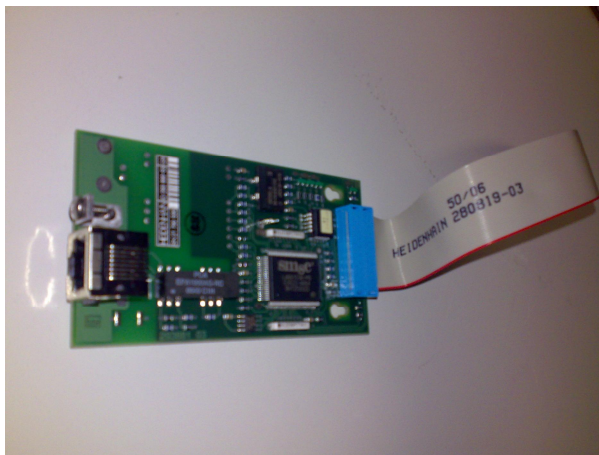
## 3.4 Langaton ethernet, WLAN

Langaton ethernet-tekniikka on kehitetty jatkamaan langallista verkkoa, jolloin langattomalla ethernet-sovittimella varustetut laitteet voivat kytkeytyä langalliseen verkkoon. Datat siirto tapahtuu lähettämällä ja vastaanottamalla sähkömagneettisia aaltoja laitteiden välillä. IEEE:n vuonna 1997 antaman 802.11-standardin mukaan, langattomien tukiasemien käyttämä taajuus on 2,4- 2,483 GHz. Tämä on vapaataajuus, joten tällä taajuudella toimivilta laitteilta ei edellytetä radio-operaattorin lupaa. IEEE:n 802.11-standardia on jaettu useisiin alastandardeihin, jotka määrittelevät langattoman tiedonsiirron eri piirteisiin. Tässä työssä on käsitelty 802.11g-standardia, jolla valitut langattomat tukiasemat toimivat.

Wlan-verkon topologia voi olla joko Ad hoc- tai infrastruktuuriverkko. Ad hoc-verkossa yksittäiset langattomalla sovittimella varustetut laitteet muodostavat keskenään suoraan yhteyden. Yksinkertaisimmillaan tällainen verkko voi olla esim. kahden tietokoneen välinen langaton tiedonsiirtoyhteys. Infrastruktuuri topologia muistuttaa edellä esiteltyä ethernet-verkon tähtimäistä topologiaa. Siinä langattomat laitteet ottavat yhteyden yhteen tukiasemaan, joka on kytketty langalliseen verkkoon. Tukiasema toimii tällöin vähintään rajapintana langallisen ja langattoman verkon välillä. Tukiasemien konfigurointi määrittelee myös kulloisenkin verkon salauksen ja verkkoasetukset. Tässä työssä on käytetty infrastruktuuritopologiaa.

### 3.4 Heidenhain-tiedonsiirto

Heidenhain otti käyttöön mahdollisuuden liittää ohjaus Ethernet-verkkoon ensimmäistä kertaa TNC 426-ohjauksessa. Tällöin ohjaukseen oli liitettävä Ethernet-verkkokortti (kuvio 4) ja tiedonsiirtoon käytettiin NFS-protokollaa.



**KUVIO 4. Heidenhain ethernetverkkokortti**

Myöhemmissä TNC 426-versioissa NFS-protokollasta luovuttiin ja Heidenhain siirtyi käyttämään Microsoft- maailmassa yleistyvää SMB- protokollaa. Ethernet-pohjaisen tiedonsiirron etuja ovat RS-232 suurempi nopeus, pidemmät siirtoetäisyydet sekä parempi yhteensopivuus yritysten sisäisten tiedonsiirtoverkkojen kanssa.



Suomessa valtaosa Heidenhain ohjauksien ja tietokoneiden välisistä yhteyksistä on toteutettu langallisesti. Ohjauksien iästä riippuen käytössä on joko Ethernet- tai RS 232-protokolla. Yhteyksiä käytetään työstöohjelmien siirtoon, tiedostojen varmuuskopiointiin, käytönaikaiseen valvontaan, PLC-ohjelmointiin sekä vikojen selvitykseen.

Konepajaympäristö aiheuttaa omia erikoisvaatimuksiaan tiedonsiirtoyhteyksille. Koneiden paikkojen muuttuessa on kaapelointi aina tehtävä uudestaan. Uusia koneita hankittaessa tiedonsiirtoyhteyksien asentaminen saattaa vaatia pitkiä kaapelointeja. Pitkät kiinteät kaapelit ovat siten yleensä tiedonsiirtojen heikko kohta. Jopa kymmenien metrien kaapeloinnit energiansiirtoketjuissa, lattioiden alla ja koneen sisällä, altistuvat lukuisille vaurioitumismahdollisuuksille.

Työskenneltäessä metallintyöstön parissa, on koneen ympäristö ja tuotantotilat joskus hyvin likaisia. Metallilastuja on paljon, ja suurin osa tiedonsiirron häiriöistä johtuukin kaapeloinnin vioista.

Mahdolliset sähköverkon virtapiikit ovat myös riski koneiden ohjausjärjestelmille, varsinkin RS-232-tiedonsiirtoa käytettäessä. Suomessa jokakesäiset ukkoset aiheuttavat lukuisia ohjausten hajoamisia vuosittain. Tämän voisi osittain estää käyttämällä tiedonsiirtokaapeloinnissa optoerottimia. Kuitenkin ainoa täysin varma tapa estää virtapiikin kulkeutuminen ohjauksen sisälle tiedonsiirron kautta, on toteuttaa tiedonsiirto langattomasti.

## 4 WLAN- PROJEKTI JAVASKO OY:LLÄ

### 4.1 Javasko Oy

Javasko Oy on vuonna 1985 perustettu keskiraskaaseen koneistukseen erikoistunut Mäntässä ja Vilppulassa toimiva konepaja. Yrityksen perustivat vuonna 1985 Jaako Vastamäki ja Jarmo Korpela.

Mäntässä toimintaa on kahdessa toimipisteessä. Koneistus ja kokoonpano toimivat omissa, vuonna 1994 valmistuneissa tiloissaan ja esikäsitteily sekä levytyö vuonna 1986 valmistuneissa tiloissaan. Vilppulassa Javaskolla on koneistus- ja levytyöyksikkö. Javaskon konekanta koostuu kolmestatoista CNC-ohjatusta työstökoneesta. Lisäksi käytössä on CNC-ohjattuja sorveja, manuaalisia työstökoneita sekä lukuisia levytyökoneita. Tässä esiteltävä projekti käsittelee Javaskon koneistus- ja kokoonpanotiloja Mäntässä.

Mäntän koneistus- ja kokoonpanotilat sijaitsevat Isonniemen teollisuusalueella. Tuotantotiloja siellä on 4200 m<sup>2</sup> ja nostokapasiteettia 20+10 t.

#### 4.2 Ongelman kuvaus

Tarve projektin aloittamiseen tuli asiakkaiden tarpeesta muuttaa vanhat olemassa olevat hitaat RS-232-tiedonsiirtoyhteydet nopeammiksi Ethernet-yhteyksiksi. Samalla kehittyi idea kokeilla langatonta tiedonsiirtoa.

Tällä hetkellä suurin osa konepajoissa käytössä olevista tiedonsiirtoyhteyksissä on toteutettu langallisesti, joko RS-232- tai Ethernet-protokollaa käyttäen. Sain tehtäväkseni selvittää, olisiko edellä mainitut yhteydet mahdollista toteuttaa langattomasti WLAN-tekniikalla.

#### 4.3 Projektin kulku

Javasko Oy ja Edufix Oy tekivät sopimuksen syksyllä 2006 WLAN-verkon rakentamisesta Javaskon Jokihallin tiloihin Mänttään. Osapuolet sopivat, että verkko rakennettaisiin kokeiluna, koska Edufix ei ollut aikaisemmin asentanut langattomia tiedonsiirtoyhteyksiä. Jos langaton tiedonsiirto toimisi, asiakas (Javasko) sitoutuisi ostamaan verkkoon käytetyt tarvikkeet.

#### 4.3.1 Tarve langattomalle tiedonsiirrolle

Javasko halusi rakentaa työstökoneiden ja tuotannosuunnittelun toimistotilojen välille varmatoimisen tiedonsiirtoyhteyden. Yhteyden pääasiallisena käyttötarkoituksena tulisi olemaan ohjelmointiasemalla (kuvio 5 seuraava sivu) tehtyjen työstöohjelmien siirto työstökoneille sekä koneiden säännöllisen varmuuskopioinnin helpottaminen.



**KUVIO 5.** Työstöohjelmien ohjelmointiin käytettävä ohjelmointiasema

#### 4.3.2 Verkon rakenne

Javaskon pyynnöstä langattomaan verkkoon piti aluksi kytkeä viisi Heidenhain-ohjattua työstökonetta. Koneiden tuli alkutietojen mukaan olla yhteen sopivia Ethernet-tiedonsiirron kanssa. Tarkoitus oli kytkeä nämä viisi konetta samaan verkkoon tuotannosuunnittelun ohjelmointiaseman kanssa. Koneiden tärkeimmät tunnukset on kerätty taulukkoon 3. Taulukossa oleva koneiden numerointi on viitteellinen, eikä se vastaa asiakkaan todellista koneiden numerointia. Numerointi on lisätty ainoastaan helpottamaan koneiden erottelua toisistaan tässä raportissa

**TAULUKKO 3. Javaskon koneiden numerointi**

Valmistaja	Malli	Ohjaus	NC software	Kone nro.
TOS	WHQ 13 CNC	LE 426 CE	280 462 12	1
TOS	WHQ 105 CNC	iTNC530	340 422 12	2
TOS	WHQ 13.8 CNC	LE 430 M	280 476 15	3
Union		LE 426 CB	280 470 12	4
FPT	AREA-M	LE 430 M	F280 476 20	5

#### 4.3.3 Tutustuminen kohteeseen

Ensimmäisellä käynnillä Javaskon tiloissa oli tarkoitus aikaansaada yleiskuva tilanteesta. Tavoitteena oli selvittää, millaiset koneet olivat kysymyksessä, mitkä tulisivat olemaan etäisyydet eri tukiasemien välillä, ohjauksien sopivuus Ethernet-tiedonsiirtoon sekä muut vasta paikanpäällä ilmitulevat verkon rakennukseen vaikuttavat seikat.

Oli myös arvioitava, miten konepajaympäristön poikkeavat olosuhteet voisivat vaikuttaa verkon toimintaan. Oletettavaa oli, että antennien sijoitteluun tulisi kiinnittää erityistä huomiota johtuen suurten koneiden ja niillä työstettävien isojen metallikappaleiden aikaansaamista häiriöistä ja katvealueista. Lisäksi oli varmistettava, ettei 2,4 GHz taajuudella toimiva verkko häiritsisi muita jo olemassa olevia langattomia laitteita.

Paikanpäällä selvisi, että koneista neljä sijaitsi samassa hallissa, mutta viides kone FPT oli viereisessä hallissa noin 50 metrin päässä. Hallien ollessa metallirakenteisia ja peltilevyillä päällystettyjä oli oletettavaa, että faradayn häkki- ilmiö tulisi estämään suoran yhteyden hallista toiseen. Lisäksi selvisi ohjauksien todelliset NC-softwarenumerot, joista kävi ilmi, että kone numero 1 ei soveltunut ollenkaan Ethernet-tiedonsiirtoon ja kone numero 4 vaatisi toimiakseen Cimco NFS server – tiedonsiirto-ohjelman.

Työstökoneiden lisäksi samaan langattomaan verkkoon tuli liittää yksi PC, joka

toimisi ohjelmointiasemana ja josta hoidettaisiin kaikki yhteydet työstökoneisiin. Lisäksi selvisi, että Javaskolla ei ollut yleisimmin konepajoissa käytettyjä langattomia sovelluksia, kuten radio-ohjattua siltanosturia tai langatonta käsipyörää, joten mahdollisia häiriöitä ei näistä syistä johtuen tulisi esiintymään.

Seuraavaksi siirryttiin hankkimaan testilaitteita parhaan mahdollisen kokoonpanon löytämiseksi.

#### 4.3.4 Langattomien tukiasemien testaus

Testausta varten hankittiin koekäyttöön langattomia tukiasemia kolmelta eri valmistajalta. Testilaitteet olivat Buffalo AirStation 54 Mbit/s, TPLink wireless access point 54 Mbit/s ja D-Link DWL-2100AP 108 Mbit/s. Lisäksi hankittiin kaksi ohjelmointiasemaa. Ohjelmointiasemat koostuvat todellisista Heidenhain ohjauksista, joihin voidaan liittää monitori ja Heidenhain-näppäimistö.

Koejärjestelyssä oli tarkoitus kytkeä nämä kaksi ohjelmointiasemaa samaan verkkoon PC:n kanssa sekä testata tiedonsiirron toimivuutta Heidenhain TncRemoNT-tiedonsiirto-ohjelmalla ja Cimco NFS Server -sovelluksella.

Testauksen päätarkoituksena oli aikaansaada vakaa langaton verkko. Asiakkaalle tärkein ominaisuus oli toimintavarmuus. Verkon nopeudella ei katsottu olevan merkitystä.

Testien aikana näiden kolmen valmistajan tukiasemista löytyi käyttötarkoituksemme kannalta huomattavia eroja huolimatta siitä, että tuotteet edustivat melko hyvin samaa hintaryhmää. Toimintavarmuuden kannalta eniten edukseen erottui D-Linkin tukiasema, joka lopulta valittiinkin käytettäväksi.

Lisäksi D-Link:n tukiasemaan oli mahdollista liittää erillinen ulkoinen antenni (kuvio 6). Tämä ominaisuus Buffalon tuotteesta tuolloin vielä puuttui.



**KUVIO 6. D-Link DWL-2100AP tukiasema ja Ant-0501 ulkoinen antenni**

TP-Link:n tuotteet eivät testauksen aikana toimineet luotettavasti. Tilatusta kahdesta testilaitteesta toinen oli jo saapuessaan viallinen ja toinen oli nollattava muutamien päivien aikana useaan kertaan laitteen lakatessa vastaamasta yhteydenottoon.

Testauksen tuloksena päädyttiin siis käyttämään D-Link:n tuotteita niiden toimintavarmuuden, kattavien säätömahdollisuuksien sekä laajan tuoteperheen takia.

#### 4.3.5 Verkon rakentaminen Javaskolle

Langaton verkko oli myyty loppuasiakkaalle avaimet käteen -periaatteella. Tämän takia kaikki asennukseen liittyvät työt oli tehtävä itse, tukiasemien konfiguroinnista niiden kiinnitykseen koneiden sähkökeskuksiin ja verkon kantavuuden testaukseen saakka.

Laitteiden kytkennässä eri koneiden välillä ei juuri ollut eroja, mutta tarvittava parametointi oli konekohtaista. Asennuksen aikana esiin tuli kolme selvää ongelmaa: ensimmäiseksi oli ratkaistava, miten verkon kantavuus saadaan riittäväksi hallien välisessä kylmätilassa. Vaihtoehtoina oli säänkestävän tukiaseman lisääminen ulos hallien väliin tai yrityksen sisäisen kiinteän verkon hyödyntäminen. Päädyimme lähinnä kustannussyistä rakentamaan molempiin halleihin omat WLAN- verkot, jotka yhdistettiin yrityksen sisäverkon kautta toisiinsa.

Toinen ongelma ilmeni tarkoitukseen valitussa reitittimessä. Alkuperäinen verkon hierarkia oli perustunut yhden reitittimen ympärille tähtimäisesti kytkeytyvään verkkoon. Selvittämättömäksi jääneestä syystä reitittimen toimintavarmuus kenttäolosuhteissa oli selkeästi huonompi kuin testiverkossa. Lopulta reitittimen käytöstä luovuttiin ja tukiasemat konfiguroitiin muodostamaan suoraan yhteys toisiinsa WDS-siltauksella. Tällöin tukiasemat ottivat yhteyden suoraan toisiinsa MAC-osoitteella ilman reititintä. Muutos vakautti verkon toimintaa merkittävästi ja ongelmat yhteyden muodostuksissa hävisivät. Tämä muutos kuitenkin aiheutti sen, että IP-osoitteista oli tehtävä kiinteitä, koska osoitteiden jakaminen reitittimellä DHCP:n avulla ei ollut enää mahdollista. Tämä muutos olisi ollut toisaalta pakko toteuttaa joka tapauksessa myöhemmin, koska selvisi että Heidenhain ohjauksista ainoastaan iTNC 530 tukee DHCP:n käyttöä.

Kolmas ongelma ilmeni vasta kuukausia verkon asentamisen jälkeen. Asiakkaan reklamaatiosta kävi ilmi, että yhteys erillisessä hallissa olevaan FPT:n koneeseen muodostui ajoittain erittäin hitaasti, yhteys katkesi tai yhteyttä ei voitu muodostaa lainkaan. Käydessäni ensimmäistä kertaa selvittämässä vikaa oletin häiriön johtuvan joko siitä, että yhteys siirtyi yrityksen vanhaan sisäverkkoon hallien välillä tai siitä, että koneen x-akselia liikutettaessa koneen pylväs ajoittain peitti suoran näkyvyyden tukiasemaan. Molemmat diagnoosit osoittautuivat lopulta vääriksi. Todellinen syy oli sähköinen häiriö. Koneen sähkökaapin tukiaseman antennin kaapelointi otti servosäätäjien tehokaapeleista niin voimakasta häiriötä, että yhteyden muodostus ei ollut mahdollista. Kun koneen päävirrat olivat päällä, mutta kone muuten oli häätäseis-tilassa, yhteys sen sijaan muodostui heti ilman häiriötä. Ongelma saatiin poistettua muuttamalla sähkökeskuksen kaapelointeja.

#### 4.4 RS-232- portin käyttäminen

Projektin seuraava vaihe oli tutkia mahdollisuuksia kytkeä myös kone nro. 1 langattomaan tiedonsiirtoverkkoon. Koneen iästä johtuen sitä ei ollut mahdollista kytkeä Ethernet-yhteydellä, joten oli pakko tutkia mahdollisuutta kytkeä kone langattomaan verkkoon RS-232-portin kautta. Selvitettyäni tähän käyttötarkoitukseen

saatavilla olevia mediamuuntimia päädyin testaamaan Moxa NPortW2150 muunninta (kuvio 7), joka muuttaa RS-232- sarjayhteyden WLAN- verkkoon sopivaksi



**KUVIO 7. Moxa NPort W2150**

Moxa:n muuntimen käyttö vaikutti myös verkon muuhun rakenteeseen. Salaus oli muutettava WPA-PSK-salauksesta WEP-salaukseksi, koska se oli varmin Moxassa käytössä olevista salaustavoista. Lisäksi Moxa:n kytkemistä varten oli verkon yksi tukiasema muutettava toimimaan sekä yhdyspisteenä, että WDS- siltauksella. Onneksi tämä ominaisuus löytyikin D-Link:n tukiasemasta.

#### 4.5 Yhteenveto projektin tuloksista

Kokonaisuutena aikaan saatiin toimiva langaton tiedonsiirtoverkko työstökoneiden ja tuotannosuunnittelun ohjelmointiaseman välille. Käytännössä voitiin todeta, ettei konepajan muuten vaativa ympäristö estänyt langatonta tiedonsiirtoa ja että vastaavia ratkaisuja voitiin alkaa markkinoida myös muille asiakkaillemme.



## 5 MUUT RAKENNETUT VERKOT SEKÄ LANGATTOMUUDEN EDUT JA HAITAT

Javaskon projektin jälkeen Edufix Oy on rakentanut asiakasyrityksilleen 15 langatonta tiedonsiirtoverkkoa, jotka yhdistävät 15 työasemaa ja 29 työstökoneita toisiinsa. Näistä työstökoneista 24 on yhdistetty Ethernet-yhteydellä ja viisi RS-232-yhteydellä. Langaton tiedonsiirto on todettu toimivaksi ja varmaksi tavaksi hoitaa tiedonsiirto myös konepajoissa. Toimitamme asiakkaille edelleen myös langallisia tiedonsiirtoratkaisuja. Kiinnostus langattomia ratkaisuja kohtaan on kuitenkin koko ajan lisääntynyt.

Etuja langalliseen verkkoon nähden on useita. Uusien koneiden liittäminen olemassa olevaan verkkoon on nopeaa sekä helppoa ja sitä kautta myös edullista. Kaapeloinnin määrä on vähentynyt, joten myös yleiset kaapeloinnin rikkoutumisesta johtuvat häiriöt ovat vähentyneet. Langallisesta RS-232-yhteydestä luopuminen vähentää merkittävästi ulkoisen virtapiikin aiheuttamia vaurioita ohjauksille.

Langattomissa verkoissa esiintyy kuitenkin muutamia ongelmia. Näistä huomionarvoisin on RS-232 WLAN-yhteyden luotettavuusongelma. Tietyissä sovelluksissa RS-232-yhteyden muuntaminen Ethernet-pohjaiseksi WLAN-yhteydeksi hidastaa merkittävästi verkon vasteaikaa. Tällöin yhteyttä ottava ohjelma saattaa virheellisesti luulla yhteyden katkenneen ja pysäyttää tiedonsiirron. Tämän ongelman ratkaisua tutkitaan edelleen.

Toinen ongelma liittyy jokaisen konepajan ainutlaatuihin ympäristöihin. Jokaisessa konepajassa on omat yksilölliset häiriölähteensä, jotka voivat haitata yhteyden toimintaa. Nämä lähteet tulee tapauskohtaisesti selvittää ja minimoida niiden vaikutukset.

## 6 PÄÄTÄNTÄ

Projektin voidaan näin jälkikäteen todeta onnistuneen. Tärkein päämäärä, langattoman tiedonsiirron toteuttaminen onnistui, ja Edufix Oy myy tätä tuotetta nykyään asiakkailleen. Muutamia ongelmia esiintyy edelleen, erityisesti langatonta RS-232-yhteyttä käytettäessä. Ongelmia esiintyy ainoastaan suuria yhtenäisiä datamääriä, esimerkiksi varmuuskopioita siirrettäessä. Tämän yhteyden tärkein käyttötarkoitus on kuitenkin yksittäisten työstöohjelmien siirto, jossa myös langaton RS-232-yhteys toimii moitteettomasti. Voidaankin todeta, että rakennetut yhteydet ovat osoittaneet sen, että langallista RS-232 -yhteyttä ei kannata enää koneisiin asentaa.

Ethernet-yhteyden kohdalla ei ongelmia juurikaan ole esiintynyt muutamia muuntajien hajoamisia lukuun ottamatta. Rakennetut yhteydet ovat osoittautuneet varmatoimisiksi ja nopeiksi. Niiden avulla siirretään tiedostoja sekä valvotaan koneiden tilaa käytönaikana. Yhä useammissa tapauksissa työstökoneiden välinen verkko liitetään myös osaksi yrityksen sisäistä verkkoa, jolloin säännöllinen varmuuskopiointi helpottuu.

Tekniikan kehittyminen luo kokoajan uusia mahdollisuuksia soveltaa tiedonsiirtoyhteyksiä. Jo 90-luvulla tietyillä konevalmistajilla oli mahdollisuus ottaa yhteys työstökoneen ohjaukseen puhelinverkon kautta. Tällöin esim. kiintolevyn hajotessa oli mahdollista palauttaa koneen parametointi ja PLC-ohjelma, vaikka varmuuskopiota ei koneen käyttäjällä olisikaan ollut. Nykyään mm. Deckel Maho asentaa uusiin koneisiin windows-pohjaisen käyttöjärjestelmän, joka mahdollistaa koneen täydellisen etäkäytön internetin kautta. Lisäksi koneissa on työtiloihin asennetut web-kamerat, jotka mahdollistavat myös koneen käyttämisen etänä tarpeen vaatiessa. Lisäksi erilaiset käytönaikaiset valvontajärjestelmät kehittyvät kokoajan. Koneista kerätään yhä enemmän tietoa, jota voidaan käyttää tuotannosuunnittelusta häiriöiden selvitykseen. Nämä kaikki kehittyvät sovellukset tulevat tulevaisuudessa vaatimaan yhä enemmän suorituskykyä tiedonsiirtoyhteyksiltä.

Langattoman tekniikan kehittyminen lisääntyy myös koko ajan konepajoissa. Yhä useampi yrityksen sisäinen verkko rakennetaan langattomasti, jolloin myös koneiden tiedonsiirtoyhteydet ovat mielekkäämpiä ja helpompia toteuttaa langattomasti. Langattoman tekniikan kehitys muihin sovelluksiin on ollut niin nopeaa, että työstökoneissa tarvittavat tiedonsiirtoyhteyksien nopeudet ovat enää murto-osa niistä nopeuksista, joita käytetään nykyään jopa kotitalouksien wlan-verkoissa.

Mahdollisesti s tulevaisuudessa työstökoneidenohjauksien valmistajat tulevat hyödyntämään myös muita tapoja toteuttaa tiedonsiirto. Uudet Heidenhain-ohjaukset ovat varustettu mm. USB-portilla, joten näyttää siltä, että ohjaukset lähentyvät kokoajan tietokoneita ja Microsoft- maailmaa. Tämä tuo varmasti uusia mahdollisuuksia ja toimintoja, mutta todennäköisesti myös uusia ongelmia. Perinteisesti on ajateltu, että tärkein ominaisuus työstökoneenohjauksessa on sen toimintavarmuus eikä käytön helppous. Voidaan vaan kuvitella mitä toimintavarmuudelle tapahtuu, kun lähestytään tietokoneiden käyttäjärjestelmiä. Jokainen tietokoneen käyttäjä on varmasti huomannut, että lisääntyvät ominaisuudet, kasvava laskentateho ja yhä raskaammat sovellukset vaikuttavat ainakin jossakin määrin tietokoneiden vakautteen, joten vaikuttavatko nämä muutokset samalla tavalla myös työstökoneiden ohjauksissa?

Oppimisen kannalta opinnäytetyö lisäsi huomattavasti tietoa työstökoneiden ohjauksista ja tiedonsiirtotavoista. Tieto tuli kuitenkin melko suppealta alalta, ja se käsitteli vain yhden ohjausvalmistajan tuotteita. En kuitenkaan pidä tätä huonona asiana vaan koen, että on todennäköisesti parempikin tulevaisuuden kannalta keskittyä vain yhden valmistajan tuotteisiin ja hankkia niistä laajempi erikoistietämys.

Tutkimuksen tulokset eivät ole suoraan riippuvaisia työstökoneen ohjauksen valmistajasta, vaan saatuja tuloksia voidaan hyödyntää myös muiden ohjausvalmistajien laitteiden kanssa. Tarkoituksena onkin kokeilla toteuttaa langattomia tiedonsiirtoyhteyksiä myös muiden ohjausvalmistajien tuotteisiin.

## LÄHTEET

Allcock, A. 2007 Heidenhain ships 200,000th machine control unit  
([www.machinery.co.uk](http://www.machinery.co.uk)).

Pikkarainen, E. 1999 NC-tekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus (Hakapaino).

Ahtola, E., Peltonen, S., Pilke, J. 1999 Tiedonsiirron perusteet painos 3. Kouvola: Tietoportti.

Anttila, A. 2000 TCP/IP tekniikka Helsinki Media (Juva: WSOY).

Granlund, K. 2001 Langaton tiedonsiirto: langattoman tiedonsiirron peruskirja  
Jyväskylä: Docendo.

Koivumäki, A. 2006 Tiedonsiirtotekniikka Edita, 2006.

Peltonen, S., Pilke, J. 1987 Tiedonsiirto alusta pitäen painos 1.-2.P. Kouvola: Tietoportti, 1987

[www.heidenhain.fi](http://www.heidenhain.fi) (2008)

[www.edufix.fi](http://www.edufix.fi) (2008)

Heidenhain Technical manuals

Heidenhain Service manuals