



Kimmo Vänni

Sosiaalisen robotiikan hyödyntäminen työntekijän apuna

Esitutkimus



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund



TAMK TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Kimmo Vänni (kimmo.vanni@tamk.fi)
Tampereen ammattikorkeakoulu
Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiopalvelut
Kuntokatu 3, 33520 Tampere
TAMPERE 2012

Tiivistelmä

Tämän esitutkimuksen rahoittajana on ollut työsuojelurahasto. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää sosiaalisen robotiikan hyödyntämistä työntekijän apuna. Tutkimustulokset perustuvat kirjallisuuteen, keskusteluihin asiantuntijoiden kanssa sekä omiin havaintoihin. Teknologian tehokas hyödyntäminen on keskeinen asia organisaatioiden tuottavuuden ja kansantalouden kannalta. Teknologian avulla voidaan myös keventää työntekijän kuormitusta ja pidentää työuria. Robotiikkaa ja automatiikkaa hyödynnetään yleisesti valmistavassa teollisuudessa sekä materiaalilogistiikassa. Viime aikoina robotiikka on yleistynyt myös terveydenhuollossa ja kuntouttamisessa. Sosiaalinen robotiikka on uusi aihealue, jonka avulla voidaan kehittää työntekijöiden terveyttä, työkykyä ja osaamista. Sosiaalista avustavaa robotiikkaa voidaan käyttää hyödyksi myös työn fyysisessä suorittamisessa. Tutkimuksessa on otettu huomioon myös palvelurobotiikan kehittyminen, koska sosiaalinen robotiikka ja palvelurobotiikka menevät osittain päällekkäin. Keskeinen kysymys sosiaalisen robotiikan hyödyntämisessä oli kartoittaa, millä ehdoilla sosiaalinen robotti ja ihminen voivat olla samassa tilassa töissä. Voimassa olevien lakien ja standardien perusteella voidaan sanoa, että sosiaalisen robotin hyödyntämiselle työympäristössä ei ole mitään estettä. Myöskään sosiaalisen avustavan robotin käyttämiselle ei ole estettä, kun otetaan huomioon standardien vaatimukset. Teollisuusrobotin ja ihmisen yhteistoiminta on vielä kehitysasteella työturvallisuusnormien näkökulmasta. Tutkimusta aihealueella tehdään mm. Saksassa ja odotettavissa on, että lähitulevaisuudessa on jonkinlaisia alustavia ohjeistuksia saatavilla.

Abstract

The Finnish Work Environment Fund was the funder of this research. The aim of the research was to define how to use social robotics as a support for employees. The research results are based on literature, personal discussions with professionals as well as observations. The effective utilization of technology is the key issue regarding the productivity of organizations and national economy. Advanced technology makes possible to reduce employees' work load and to lengthen the work careers. Robotics and automation are widely used among industry and material logistics. Recently robotics has been an emerging topic among health care and rehab also. Social robotics is a brand new domain which makes possible to develop employees' health, work ability and competence. Socially assistive robotics can be used as a tool for manual work also. This report takes into account the development of service robotics also because social robotics and service robotics are partly parallel. The key question of utilization of social robotics was to explore by which conditions social robots and human beings are able to work together in the same working space. Considering the requirements of norms and standards there are no restrictions for utilization of social robots in working environment. In addition there are no restrictions for utilization of socially assistive robotics when obeying the requirements of standards. The cooperation between industrial robots and employees is at the development phase from the viewpoint of the occupational and health standards. Ongoing researches e.g. in Germany are promising and in near future some guidelines might be available.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	1
2 Mitä on robotiikka.....	4
2.1 Robotiikan määritelmä.....	4
3 Sosiaalisen robotiikan hyödyntäminen työntekijän apuna.....	5
3.1 Väestön rakennemuutos robotiikan aktivoijana.....	5
3.2 Robotiikan hyödyntäminen työkyvyn ylläpidossa.....	7
3.3 Robotiikan hyödyntämisen näkökulmia	10
3.4 Sosiaalisen robotin ja ihmisen vuorovaikutuksen kehittäminen.....	12
3.4.1 Käyttöliittymät	12
3.4.2 Vuorovaikutus.....	13
3.4.3 Sensorit	14
3.4.4 Kontekstit.....	14
3.4.5 Mekanismit	15
3.4.6 Käytettävyys	16
3.4.7 Tulevaisuus	17
4 Palvelurobotiikka siltana sosiaalisen robotiikan yleistymiseen.....	17
4.1 Palvelurobotiikan näkökulmia	22
5 Robotiikan turvallisuus	23
5.1 Lainsäädäntöä lyhyesti.....	24
5.2 Robotin ohjausjärjestelmät turvallisuuden takaajana.....	25
6 Miksi käyttäjän pitäisi päästä lähelle robottia.....	29
6.1 Työskentely robotin kanssa turvallisuuden näkökulmasta	36
6.2 Robotin kyky nähdä, tarttua ja ymmärtää	38
7 Teollisuuden rakennemuutos sosiaalisen robotiikan vauhdittajana.....	42
7.1 Robotti-ihminen vuorovaikutuksen tulevaisuus	44
8 Johtopäätökset.....	46
Lähteet.....	53
Liite 1: Robotiikan turvatekniikkaa	60

1 Johdanto

Tämän esitutkimuksen tavoitteena oli selvittää sosiaalisen robotiikan hyödyntämistä työntekijän apuna. Väestön ikääntyminen, yritysten tuottavuusvaatimusten kasvaminen ja työntekijöiden terveystalouden lisääntyminen ovat haasteita jokaisella kansantaloudella. Toimintojen järjeistäminen, tietotekniikan hyödyntäminen ja ihmisten osaamisen kehittäminen edistää tuottavuutta, mutta robotiikan avulla voidaan lisätä työhyvinvointia ja vähentää työn kuormitusta. Robotiikasta on runsaasti materiaalia saatavilla, mutta suurin osa artikkeleista ja kirjallisuudesta koskee teollisuusrobotiikkaa. Tämän raportin pohjaksi on käyty järjestelmällisesti läpi sosiaalisen robotiikan artikkeleita. Lisäksi on selvitetty myös palvelurobotiikan kehittymistä ja teollisuusrobotiikan uusia suuntia, kuten robotti-ihminen yhteistyötä. Kokonaiskuvan saamiseksi on myös selvitetty talouden uusia suuntauksia ja eri maiden innostusta panostaa robotiikkaan tulevaisuudessa. Esitutkimusta tehdessä on myös keskusteltu suomalaisten ja ulkomaalaisten asiantuntijoiden kanssa ja kysytty heidän näkemystään sosiaalisen robotiikan kehittymisestä. Asiantuntijoilla on yhteinen näkemys siitä, että sosiaalista robotiikkaa kannattaa tutkia ja kehittää sille tasolle, että siitä muodostuu kilpailutekijä suomalaisille yrityksille. Sosiaalinen robotiikka on aihealueena niin uusi, että osa henkilöistä mieltää sen sosiaalialalla käytettäväksi apuvälineeksi. Esitutkimusta tehdessä sain mahdollisuuden oikaista määriä mielikuvia sosiaalisesta robotiikasta ja robotiikasta yleisesti. Henkilökohtaisesti tutustuin sosiaaliseen robotiikkaan ollessani asiantuntijavaihdossa Miyagin yliopistossa Sendain kaupungissa Japanissa vuonna 2009–2010. Siitä lähtien sosiaalinen robotiikka on ollut kiinnostuksen kohteenamme.

Robotiikka on tunteita herättävä aihealue. Suuri osa ihmisistä, ja valitettavasti myös tiedotusvälineiden edustajista pelkää, että robotiikka automatisoi kaiken työn ja vie työpaikat. Näkökulma on outo ja pelko aiheeton, jos tutustumme robotiikan hyötyihin ja tulevaisuuden tuottavuusvaatimuksiin. Robotit ovat työntekijöiden apuvälineitä, jotka tekevät monotoniset, vaaralliset, raskaat ja ikävät työt. Robottien hyödyntämisen kehityskulku on luonnollinen ja verrattavissa minkä tahansa alan koneellistumiseen. Kukaan ei enää esimerkiksi kaiva rakennuksen perusmonttua käsin, vaan siihen tehtävään tilataan kaivinkone, joka tulevaisuudessa on robotisoitu.

Monet maat, kuten Japani, Etelä-Korea, Saksa ja Amerikka ovat kertoneet, että robotiikan kehittäminen on heille kansallisesti tärkeää. Robotiikka teollisuuden alana ja uusien sovellusten tuojana on merkittävä myös kansainvälisen talouden näkökulmasta. Ne odottavat robotiikasta uutta liiketoimintaa, uusia työpaikkoja, kustannussäästöjä sekä tuottavuuden kasvua. Robotiikan kehittyminen lisää myös organisaatioiden uudistumistarvetta, uutta tutkimusta sekä uusia oppikokonaisuuksia kouluihin. Robotiikan etuna on, että se sisältää monia teknologioita, kuten elektroniikka, tietojenkäsittely ja valmistustekniikka. Robotiikka luo ympärilleen klusterin samalla tavalla kuin tietotekniikka aikoinaan. Tutkijoiden ja robotiikan kehittäjien yleinen mielipide on, että robotiikasta tulee yhtä arkipäiväistä tulevaisuudessa kuin tietokoneet ovat tänä päivänä (Christensen et al 2008). Tämän ovat huomanneet jo varhain sellaiset yritykset kuin Sony, Honda, Mitsubishi ja Lego.

Tutkijoiden mukaan uusi talous on vähemmän keskittynyt massatuotantoon. Sen sijaan käyttäjälähtöisten tuotteiden valmistus nähdään tulevaisuuden trendinä. Tällaisten tuotteiden valmistaminen edellyttää tuotannon sopeuttamista, laitteiden helppokäyttöisyyttä, työntekijöiden hyvää osaamista ja muita tekijöitä, jotka mahdollistavat joustavan tuotannon (Christensen et al 2008). Uuden robottiteknologian käyttöönotto ja kehittäminen vaatii yritysten henkilöstöltä korkeampaa osaamista kuin aikaisemmin. Tämä vaatimus koskee erityisesti pieniä - ja keskisuuria yrityksiä.

Saatavilla olevan robotiikan valikoima on laaja. Robotiikka on ehkä tunnetuinta teollisuudessa, jossa sitä on käytetty jo vuosikymmenet. Myös kotiin tarkoitetut palvelurobotit, kuten ruohonleikkurit ja pölynimurit ovat lähes kaikille tuttuja. Lasten ja nuorten kielikoulutukseen on kehitetty erilaisia robotteja. Terveystieteissä ja lääketieteessä käytetyt leikkausrobotit, kuten Da Vinci-robotti, ovat tuttuja alan ihmisille. Oma maailmansa robotiikan suhteen on sotateollisuus, joka on kehitellyt erilaisia robotteja tai robotiikan sovelluksia kriisiajan tarpeisiin.

Yleisesti sanoen robotiikkateknologia on kehittynyt hyvin ja se tarjoaa jo tänä päivänä edullisia, käytännöllisiä ihmisläheisiä sovelluksia, jotka tuottavat lisäarvoa. Robotiikka tarjoaa sijoittajille harvinaisen mahdollisuuden investoida potentiaaliselle kasvualalle, joka luo uusia työpaikkoja, lisää tuottavuutta sekä parantaa työntekijöiden

turvallisuutta. Robotiikka edistää taloudellista kasvua ja mahdollistaa ikääntyvän väestön työuran jatkumisen ja palveluiden tuottamisen heille. Lisäksi robotiikan avulla voidaan vaikuttaa positiivisesti ihmisten ikääntymiseen, itsenäiseen selviytymiseen ja sosiaaliseen kanssakäymiseen.

Robotiikan kehittyminen edellyttää myös tutkimus- ja koulutuspanostusta. Kiina, Etelä-Korea, Japani ja Intia ovat aktiivisesti investoimassa korkeaan koulutukseen ja tutkimukseen (NAP 2007). Etelä-Korea investoi robotiikkatutkimukseen 100 miljoonaa dollaria vuosittain 10 vuoden aikana, eli yhteensä miljardin. EU investoi 600 miljoonaa dollaria robotiikkaan ja älykkäisiin järjestelmiin 7 puiteohjelmassa. Japani on investoimassa 350 miljoonaa dollaria kymmenen vuoden aikana humanoidirobotteihin, palvelurobotteihin ja älykkäisiin ympäristöihin (Christensen et al 2008).

Kohtalaisen uusi robotiikan aihealue on ikäihmisille suunnattu palvelurobotiikka, jonka avulla pyritään tuomaan virikkeitä ja aktivoimaan esimerkiksi aivojen kognitiivisia toimintoja, kuten lyhytaikaista muistia. Esimerkiksi korealaisten kehittämä Mero –robotti (Kuva 1) aktivoi ja kannustaa ihmisiä ilmeillään ja puheellaan. Vastaavanlaisia aivoja aktivoivia muistitehtäviä on saatavilla tietotekniikkasovelluksina, mutta robotiikan ottaminen mukaan kannustajaksi on kohtalaisen uusi idea. Ikäihmisiä avustavassa palvelurobotiikassa on myös sosiaalisen robotiikan ominaisuuksia.



Kuva 1. Korealainen Mero-robotti, joka auttaa kehittämään muistia.

Yhteenvedona voidaan todeta, että uudenlaista robotiikkaa kehitellään edelleen ikäihmisten ja lasten tarpeisiin, mutta hyvin harvat tutkimuslaitokset ja yritykset ovat kehittämässä palvelu- tai sosiaalista robotiikkaa työikäisten avuksi työpaikoille. Työikäiset voivat hyötyä terveydenhuollon tarjoamista kuntoutusmahdollisuuksista, joissa voidaan käyttää robotiikkaa, mutta työpaikalla olevia sosiaalisia robotteja, jotka ennalta ehkäisevät uupumusta, stressiä tai auttavat työhön liittyvissä tehtävissä ei ole vielä saatavilla. Aihealueen kehittäminen on kuitenkin tärkeää, jos sen avulla voidaan lisätä työn tuottavuutta ja vähentää työntekijän henkistä ja jopa fyysistä kuormitusta. Tutkimusten mukaan stressillä on myös negatiivinen vaikutus työtaturmiin (Nakata et al 2006).

2 Mitä on robotiikka

2.1 Robotiikan määritelmä

ISO 8373:1994 määrittelee teollisuusrobotin seuraavasti: ”Automaattisesti ohjattava uudelleenohjelmoitava, monikäyttöinen manipulaattori, jossa on vähintään 3 ohjelmoitavaa akselia”. (Malm 2008). Hankalaa robotiikan kehittäjien näkökulmasta

on ollut, että esimerkiksi palvelurobotiikalle ei ole vakiintunutta määritelmää eikä standardia. Kansainvälinen robotiikkaliitto (IFR) kuitenkin toteaa, että ISO:n työryhmä on ottanut standardin ISO 8373 versiouudistuksessa huomioon palvelurobotiikan määritelmän ja tulee lisäämään sen standardiin (IFR 2012). Ehdotuksen mukaan palvelurobotiikka on autonomisesti tai puoliautonomisesti tuotettuja palveluita, joista on hyötyä ihmisille ja laitteille (IFR 2012). Määritelmäehdotus sulkee pois kaikki valmistukseen liittyvät robotiikkatoimet (IFR 2012)

Sosiaalinen robotiikka tarkan määritelmänsä mukaisesti ei ole suorassa fyysisessä kontaktissa ihmisen kanssa, vaan pyrkii avustamaan ihmistä äänen, eleiden ja ilmeiden avulla.

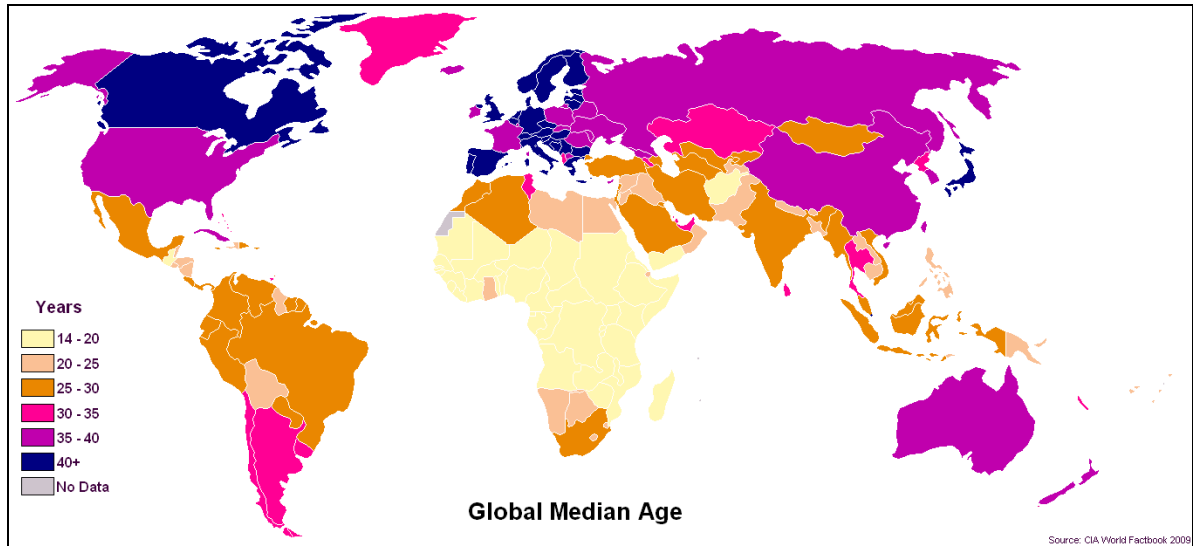
3 Sosiaalisen robotiikan hyödyntäminen työntekijän apuna

3.1 Väestön rakennemuutos robotiikan aktivoijana

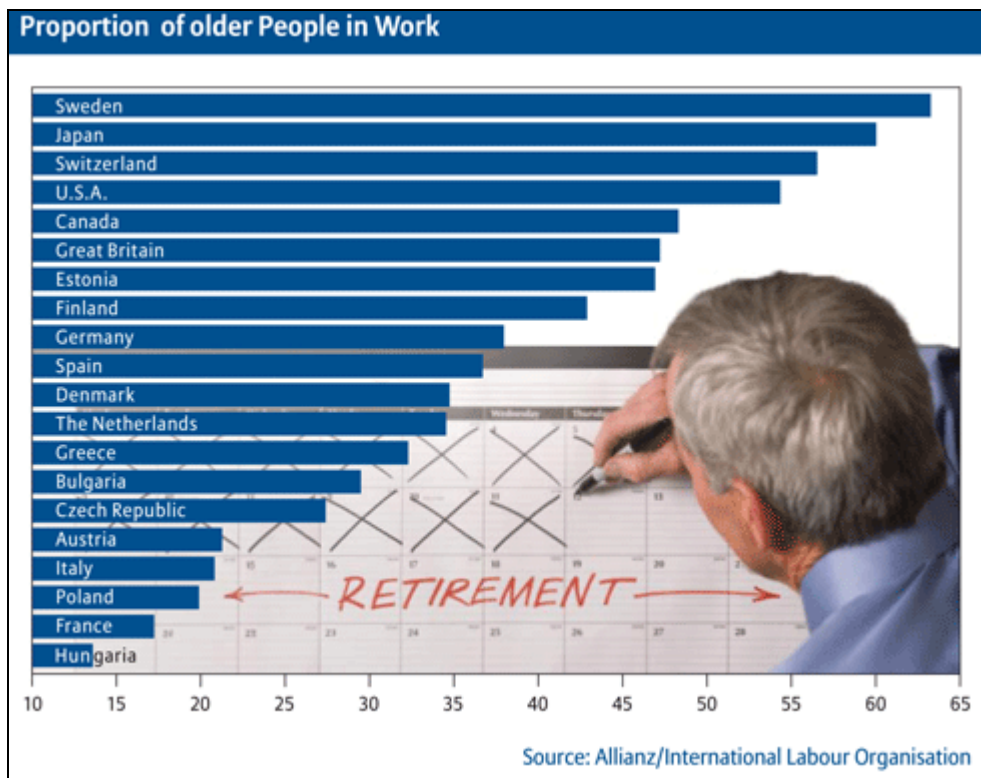
Väestön ja myös työväestön ikääntyminen on globaali ilmiö, erityisesti kehittyneissä teollisuusmaissa, kuten Kanadassa, Euroopassa ja Japanissa (Kuva 2). Työväestön ikääntyminen tunnustetaan myös Amerikassa ja Euroopan Unionin valtioissa yleisesti (Kuva 3). Esimerkiksi Amerikan Minnesotan osavaltiossa ikääntyneiden teollisuustyöntekijöiden suhteellinen osuus on noussut yli 15 prosenttisyksikköä runsaan 10 vuoden aikana (Kuva 4) (Connors 2008). Ikääntymisen mukana tulevien sairauksien ja haittojen määrää voidaan ehkäistä sosiaalisen robotiikan avulla. Työikäisten osalta voidaan havaita varhaisessa vaiheessa muistiongelmia tai fyysisen suorituskyvyn lasku. Sosiaalisen robotiikan avulla voidaan antaa henkilökohtaista valmennusta ja terapiaa, jotka kuntouttavat nopeasti, estävät syrjäytymistä ja vähentävät stressin ja masennuksen oireita.

Työvoiman tuottavuus on globaali haaste, johon voidaan vaikuttaa automatisoinnilla ja robotiikalla. Tulevaisuudessa työtä tekevien määrä suhteessa väestön koko määrään vähenee, jolloin työn tuottavuudelta odotetaan enemmän. Ihmisen voimavarat ovat rajalliset ja kohonnut tuottavuusvaatimus tarkoittaa sitä, että teknologia valjastetaan ihmisen avuksi. Tässä yhteydessä sosiaalisella robotiikalla on mahdollisuus tarjota

ratkaisu, jolla tuottavuus saadaan pysymään samalla tai entistä paremmalla tasolla. Omalta osaltaan myös palvelurobotiikka on edistämässä työkuormituksen pienentämistä. Palvelurobotiikan osalta odotetaan erittäin merkittävää kasvua jo lähitulevaisuudessa (Gorle & Clive 2011).



Kuva 2. Väestön ikä mediaani: Lähde: CIA World Fact Book 2009



Kuva 3. Ikääntyneiden työntekijöiden (60-64 v.) osuus työvoimasta eri maissa. Lähde: https://www.allianz.com/en/press/news/studies/news_2010-03-15.html



Kuva 4. Lähde: <http://www.positivelyminnesota.com>

3.2 Robotiikan hyödyntäminen työkyvyn ylläpidossa

Perinteisesti robotiikka ja automatiikka tarjoavat mahdollisuuden työkuormituksen vähentämiseen fyysisessä työssä, mutta robotiikkaa, ja erityisesti sosiaalista robotiikkaa voidaan hyödyntää työntekijän apuna kuntouttamisessa ja työkyvyn ylläpitämissä. Lääketieteellisiä robotteja on käytetty mm. raajojen kuntouttamisessa ja älykkäissä proteeseissa. Sosiaalinen robotiikka tarjoaa työntekijöille mahdollisuuden myös henkisen kuormituksen vähentämiseen ja mielen kuntouttamiseen. Perinteisesti sosiaalisesti avustavia robotteja on käytetty ikääntyneiden kuntouttamisessa ja iän tuomien neurologisten vaivojen, kuten muistisairauksien hoitamisessa. Sosiaalisia ja sosiaalisia avustavia robotteja on kehitelty koti- ja hoitolaitosympäristöihin monitoroimaan, valmentamaan ja kuntouttamaan ihmisten fyysisiä ja kognitiivisia ominaisuuksia (Kuva 5), mutta vielä ei ole käytössä sosiaalisia, avustavia robotteja, jotka auttaisivat tavallisia työntekijöitä työnpaikoilla.



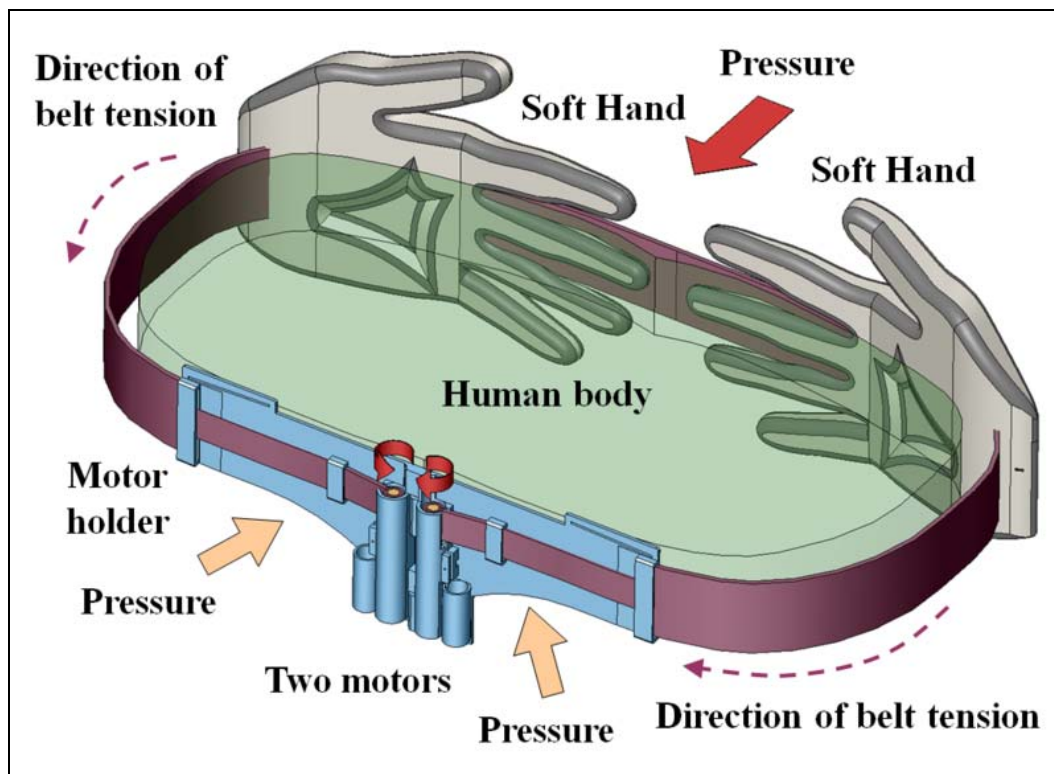
Kuva 5. Fyysisesti aktivoiva korealainen Silbot-robotti

Sosiaalisen robotiikan hyödyntäminen työntekijän fyysisen ja psyykkisen rasituksen pienentäjänä tai kuntoutuksen välineenä ei ole kovin yksinkertaista. Jokaisella työntekijällä on yksilölliset tarpeet, joten robotin tulee ymmärtää käyttäjänsä käyttäytymistä, eleitä, ilmeitä, ajatuksia, tunnetilaa ja fyysistä toimintakykyä. Robotin tulee myös muistaa ihmisen aikaisemmat tunnetilat ja tunnetilojen muuttuminen, jotta se osaa auttaa ihmistä oikeassa tilanteessa ja oikeassa kontekstissa. Teknisesti robotin tulisi olla luotettava, ihmiselle turvallinen, muuttuvassa ympäristössä toimiva.

Sosiaaliset avustavat robotit ovat melko uusi robotiikan osa-alue, joka tähtää ihmisen kognitiivisen toimintakyvyn ylläpitämiseen ja ihmisen avustamiseen sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta (Feil-Seifer & Mataric'2005). Sosiaaliset avustavat robotit kykenevät sosiaaliseen vuorovaikutukseen ihmisen kanssa, ei niinkään fyysiseen avustamiseen. Sosiaalinen avustava robotiikka (SAR) poikkeaa avustavasta robotiikasta (AR) ja sosiaalisesta interaktiivisesta robotiikasta (SIR) siten, että sosiaalinen avustava robotiikka pyrkii luomaan läheisen suhteen ihmisen kanssa ja vaikuttamaan ihmisen tekemään lopputulokseen, kuten oppimiseen (Feil-Seifer & Mataric'2005). Sosiaalisesti interaktiivinen robotiikka pyrkii vain luomaan

interaktiivisen suhteen käyttäjäänsä, mutta ei ota ollenkaan kantaa siihen, mihin interaktiivisella suhteella tähdätään (Feil-Seifer & Mataric'2005). Sosiaalisen robotiikan tavoitteena on saada tunneside käyttäjäänsä. Robotti pyrkii sosiaalisen kanssakäymisen avulla kannustamaan, rohkaisemaan ja aktivoimaan käyttäjäänsä ja siten parantamaan käyttäjän suorituskykyä. Tunnesiteen tuominen mukaan toimintakyvyn kehittämiseen johtaa parempaan tulokseen kuin pelkkä konemainen toiminta (Eriksson et al 2005). Tästä on todisteena mm. sosiaalisen robotiikan hyödyntäminen autismin hoitamisessa (Kozima et al 2007).

Robotiikan soveltaminen on yksilön, yrityksen ja yhteiskunnan näkökulmasta kustannustehokasta. Esimerkiksi MIT:n kehittämät MIT-Manus ja aivohalvauspotilaan kuntoutusrobotti pystyvät antamaan toimivaa ja kustannustehokasta neurologista kuntoutusta (Trafton 2010, Lo et al 2010). Aivohalvaus on suurin toimintakyvyttömyyden aiheuttaja Amerikassa (Strokecenter 2012). Amerikassa aivohalvauksien aiheuttavat vuotuiset kustannukset ovat noin \$43 mrd (€33 mrd), josta mm. kuntoutuksen osuus on 16% (UMDN 2012). Aivohalvauksen vuotuisten kustannusten on arvioitu olevan Euroopassa noin €35 mrd. Summasta 49% koostuu hoidosta, 23% tuottavuuden menetyksistä ja 29% muista kuin lääkinnällisistä hoitokustannuksista (Strokeback 2012) Aivohalvaustutkimuksesta tiedetään, että potilaan tekemät motoriset ja kognitiiviset harjoitukset auttavat aivohalvauksesta palautumisesta (Ownsworth & Shum 2008). Perinteisesti kuntouttamisessa on käytetty terapeutteja, mutta sosiaalisen robotiikan avulla voisimme pienentää terapeuttien työkuormaa ja tuoda myös potilaille itseharjoittelun mahdollisuus. Robottijärjestelmillä voidaan tuottaa harjoitteita ja motivointia ilman paikalla olevaa valmentajaa (Mataric'et al 2008). Robotiikka voidaan käyttää myös työntekijän motoristen taitojen kehittämisessä. Esimerkiksi haptiikan avulla voidaan kehittää tarkkaa työtä tekevän työntekijän motoriikkaa (Sewell et al 2007). Tutkijat ovat kiinnostuneita myös selvittämään, miten affektiivinen haptiikka vaikuttaa ihmisen aivoihin ja tunteisiin. Affektiivinen haptiikka on uusi monialainen tutkimusalue, joka liittyy multimodaalisiin käyttöliittymiin, robotiikkaan, psykologiaan ja neurotieteeseen (Tsetserukou et al 2009). Haptiikan avulla voidaan tehdä etänä asioita, jotka ovat aikaisemmin olleet tehtävissä vain henkilöiden kohdatessa. Esimerkiksi tutkijat ovat tutkineet haptisen halauksen (Kuva 6) emotionaalisia vaikutuksia (Tsetserukou et al 2009).



Kuva 6. Etähalauksen HaptiHug-laite. Lähde:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5349516>

Haptiikan tutkimuksesta on erittäin paljon hyötyä sosiaalisen robotiikan kehittämisessä. Jossakin vaiheessa tulevaisuudessa meillä on työpaikka, jossa ihmiset ja robotit tekevät töitä yhdessä. Ennen kuin olemme siinä vaiheessa työelämässä, meidän tulisi tietää, miten reagoimme siihen, kun robotti koskettaa meitä, tai miten me voisimme koskettaa robottia etätekniiikan avulla ja kertoa haptisesti, mitä haluamme robotin tekevän. Haptiikka tulee olemaan yksi viestintäkanava sosiaalisen robotiikan ohjaamisessa. Ilme- ja puhekäyttöliittymät ovat käyttökelpoisia, mutta haptinen käyttöliittymä olisi hyvä apu robotin opettamisessa.

3.3 Robotiikan hyödyntämisen näkökulmia

Robotiikan ja automatiikan käyttäminen työntekijän kuntoutuksessa ja ennaltaehkäisevässä terapiassa on ollut vielä vähäistä. Syynä on ollut se, että työntekijää avustavien tai kuntouttavien robottien valmistajia on vain muutamia, hinnat ovat vielä korkeat ja tutkimusta on tehty vielä vähän. Perinteisesti ihmisiä avustavat sosiaaliset robotit ovat olleet yliopistojen ja tutkimuslaitosten tutkimustyön

tuloksia, eikä niitä ole viety massavalmistukseen kuin muutaman laitteen osalta. Jotta työntekijää avustavat sosiaaliset robotit yleistyisivät, tutkimus- ja kehitystyön perustaksi pitää valita monialainen kehittäjäryhmä, joka koostuu tekniikan eri ammattilaisista, työterveyden ja lääketieteen osaajista sekä ihmisen käyttäytymisen tutkijoista.

Hoitotieteen näkökulmasta robotiikan hyödyntämisen sosiaalisina tekijöinä ovat terveydenhuollon kustannukset, tehokas sairauksien ennaltaehkäisy ja parantuneet hoitotulokset. Yhteiskunnan näkökulmasta robotiikan kehittämistä puoltavat huoltosuhteen muuttuminen, ikääntyvä väestö ja työvoima sekä työn tuottavuuden kehittämisen vaatimus. Työn tuottavuuden kehittäminen edellyttää panostamista automaatioon ja robotiikkaan siten, että monet manuaaliset työt tehdään tulevaisuudessa automaattisesti tai robotiikan avustamana.

Väestötutkimukset osoittavat, että esimerkiksi Amerikan väestö vanhenee seuraavien vuosikymmenten aikana. Amerikkalaisten ikäihmisten osuus tulee lisääntymään 40% vuoteen 2030 mennessä. Japanissa yli 65- vuotiaiden määrä tulee tuplaantumaan ja Euroopassa ikääntyneiden määrä lisääntyy 50%. Jokaisella mantereella yli 80- vuotiaiden määrä tulee kaksinkertaistumaan vuoteen 2030 mennessä (Mataric'et al 2008). Lisäksi monien sairauksien määrä, kuten diabetes, autismi, syöpä ja liikalihavuus tulee lisääntymään. Amerikkalaiset ennustavat, että vuotuinen aivohalvausten määrä 750.000 tapausta vuosittain tulee kaksinkertaistumaan seuraavan 20 vuoden aikana (Mataric'et al 2008).

Interaktiivisen sosiaalisen robotiikan hyödyntäminen työelämässä tulisi tehdä vaiheittain. Kozima et al (2007) ovat hyödyntäneet sosiaalista robotiikkaa autististen lasten kuntouttamissa. Vastaavasti sosiaalista robotiikkaa voidaan hyödyntää myös tavallisten lasten oppimisen edistämässä. Me oletamme hypoteettisesti, että sosiaalinen robotiikka soveltuu myös työssä olevalle väestölle, koska robotiikan avulla toteutetussa kuntouttamissa on saatu hyviä tuloksia aikuisväestön osalta.

Sosiaalisen robotiikan hyödyntämiseen työelämässä on kaksi polkua. Toinen polku on perehdyttää nuoret, vielä koulumaailmassa olevat nuoret sosiaalisen robotiikan hyödyntämiseen ihmisen apuna. Toinen polku on esitellä asteittain sosiaaliset robotit

niille henkilöille, jotka eivät ole olleet tekemisissä tietokonepelien, simulaatioiden tai robottien kanssa. Käytännössä se tarkoittaa, että sosiaaliset robotit ilmestyvät ensin työpaikan aulaan, kahvihuoneeseen tai sosiaaliloihin ja sieltä vaiheittain työpisteisiin. Työntekijälle ja myös robotille pitää antaa mahdollisuus tutustua uuteen tilanteeseen ja testata miten robotti-ihminen yhteistyö onnistuu.

Sosiaalisen robotin ja ihmisen välisen vuorovaikutuksen tutkimusta on tehty vasta vähän, eikä ole saatavilla pitkäkestoisia interventiotutkimuksia, joissa olisi selvitetty empiirisesti, miten sosiaalinen robotti on vaikuttanut työpaikan ilmapiiriin, työhyvinvointiin, työkykyyn ja työn tuottavuuteen. Interventiotutkimuksia on saatavilla robotiikan positiivista vaikutuksista oppimisessa (Barker & Ansore 2007) sekä sairauksien hoitamisessa (Kozima et al 2007).

3.4 Sosiaalisen robotin ja ihmisen vuorovaikutuksen kehittäminen

3.4.1 Käyttöliittymät

Robotin ja ihmisen vuorovaikutusta ja käyttöliittymää tullaan kehittämään seuraavien kahden vuosikymmenen aikana siten, että robotti ymmärtää ihmisen ajatuksia. Tutkijoiden tavoitteena on kehittää langattomia mittausjärjestelmiä jotka pystyvät reaaliaikaisesti mittaamaan ihmisen fysiologisia signaaleja, ja hyödyntävät niitä robotti-ihminen vuorovaikutuksessa (Mataric'et al 2008). Ajatusten ymmärtäminen on tärkeää robotin toimielimen ohjaamisessa. Pitkäaikaisena tavoitteena on luoda robotti-ihminen järjestelmä, jossa ihminen saa robotin toiminnasta haptisen palautteen, ja toisaalta ihmisellä pitää olla mahdollisuus ohjata robottia ilmeiden, eleiden ja äänen perusteella (Mataric'et al 2008). Amerikkalaisten tutkijoiden mukaan tärkeitä kehittämisen kohteita ovat tuntopalautteen saaminen, reaaliaikaisen multimodaalisen aistimisen edistäminen sekä käyttäjän tunnetilojen ymmärtäminen (Mataric'et al 2008). Tutkijat ovat asettaneet tavoitteen, että 15 vuoden päästä robottijärjestelmien tulisi olla niin edistyksellisiä, että ne ymmärtävät käyttäjien tarpeita eri kontekstissa, kuten vapaa-ajan harrastuksissa, työympäristössä tai avustavissa tehtävissä (Mataric'et al 2008).

3.4.2 Vuorovaikutus

Yhtenä tulevaisuuden kehittämishaasteena robotin ja ihmisen välisessä vuorovaikutuksessa on robotin kyky ymmärtää ihmisen käyttäytymistä. Robotti tarvitsee suuren määrän tietoa ihmisen sijainnista, liikkeistä ja ajatuksista, jotta se osaa avustaa ihmistä turvallisesti. Käytännössä se tarkoittaa, että robotti osaa tulkita reaaliaikaisesti multimodaalista dataa ja tekee sen perusteella automaattisesti oikean toiminnon. Jotta henkilökohtaisen robotit olisivat tehokkaita, niiden tulee ymmärtää käyttäjän tunnetiloja automaattisesti. Tunnetilojen havaitseminen edellyttää monikanavaisen datan hallintaa ja esimerkiksi puheen ja ilmeiden yhdistämistä. Sosiaalisen robotiikan käyttäjänäkökulmasta, robotin tulee olla helposti lähestyttävissä oleva ja siinä olevan käyttöliittymän tulee olla helppokäyttöinen ja käyttäjää kiinnostava. Koska sosiaalinen kanssakäyminen on robotin ja ihmisen välistä kaksisuuntaista viestintää, molempien osapuolten tulee ymmärtää molempien multimodaalista viestintää. Robotin tulee tehdä oikeita tulkintoja ihmisen tunnetilasta ja voimavaroista. Vastaavasti ihmisen tulee ymmärtää robotin 'moodi' eli milloin robotti on lataamassa uutta ohjelmaa tai vaikkapa vikatilassa.

Sosiaalisissa avustavissa roboteissa tärkeä näkökulma on robotin kyky vaikuttaa työntekijän mieleen ja tunteisiin. Avustavassa sosiaalisessa robotissa tärkeänä ominaisuutena on lisäksi robotin kyky toimia työntekijän apuna, eli robotin oppimiskyky, näppäryys sekä kosketuksen ja voiman hallinta. Työntekijää avustavan sosiaalisen robotin yhtenä ominaisuutena on fyysisen kosketuksen ymmärtäminen. Robotin tulee osata koskettaa ihmistä, ja vastavuoroisesti robotin tulee ymmärtää ihmisen kosketusta. Ihmisellä tulee olla mahdollisuus 'tarttua robottia hihasta kiinni' sellaisessa tilanteessa, jossa halutaan muuttaa robotin käyttäytymistä tai jopa lopettaa toiminta vähäksi aikaa. Tutkijoiden haasteena on kehittää järjestelmiä, jotka kykenevät mm. empatiaan (Mataric'et al 2008). Sosiaalisesti avustavien robottien osalta on pystytty osoittamaan, että henkilökohtainen, tunnetilaan liittyvä ilmaisu on hyvä valmennusmenetelmä, joka edistää kuntouttamista. Työympäristössä se edellyttää työntekijöiden, työpaikan ja robotin sensorointia. Lisäksi robotissa tulee olla kehittyneet ohjelmistot ja algoritmit.

3.4.3 Sensorit

Teknologian kehittämisen kannalta interaktiivinen ja affektiivinen robotiikka tarkoittaa kehittyneiden sensoreiden, erityisesti voima- ja tuntopalautesensoreiden kehittämistä. Sosiaalisen robotiikan kehittämisessä keskustellaan myös fysiologisten mittareiden ja sensoreiden kehittämisestä. Robotit ovat erittäin hyviä käyttämään sensoreitaan ihmisen fysiologisen tilan arvioinnissa. Ne pystyvät mittaamaan meistä dataa objektiivisesti ja käsittelemään saamaansa multimodaalista tietoa nopeasti. Sosiaalisen robotin ominaisuutena on vielä se, että se pystyy kommunikoimaan käyttäjänsä kanssa. Koska robotit pystyvät mittaamaan mitä tahansa, voisimme käyttää sosiaalisia robotteja työntekijöiden apuna erilaisissa huolto- ja korjaustehtävissä. Robotit voisivat toimia liikkuvina valvojina, jotka huolehtivat esimerkiksi tehdasalueen koneiden ja laitteiden toimintakunnosta sekä alueen turvallisuudesta.

Tutkijat ovat kiinnostuneita kehittämään myös luotettavia järjestelmiä, joiden avulla esimerkiksi väsymyksen tai masentuneisuuden tilaa voidaan mitata ihmisen fysiologiasta. Teknologisesti mittauksissa on käytetty mm. sykevariaatiota (Hall et al 2004), kehon lämpöä (McFarland 1985) tai ihon sähkönjohtavuutta (Critchley et al 2000). Robotilla tulisi olla ihmisen ilmeen-, eleiden- ja puheentunnistuksen lisäksi mahdollisuus analysoida fysiologista dataa, ja avustaa ihmistä tarpeen mukaan. Ihmisen fysiologian ja stressin/emootion välisestä yhteydestä on tehty runsaasti tutkimusta. Kaklauskas et al (2011) ovat artikkelissaan raportoineet laajemminkin aikaisempia tutkimuksia.

3.4.4 Kontekstit

Uusien järjestelmien sopeuttaminen ja uusien asioiden oppiminen on ilmeistä robotti-ihminen vuorovaikutuksessa. Robotiikkajärjestelmien tulee omaksua ihmisen muuttuva käytös, uudet kontekstit ja uudet tavat tehdä asioita. Sosiaalisen robotin tulisi olla oppiva pitkällä aikajänteellä. Koneoppiminen ja robottioppiminen ovat menetelmiä, joiden toivotaan kehittävän robotteja siten, että ne eivät vanhene käyttäjän rinnalla. Tällä hetkellä tutkijat ovat tehneet vain lyhytaikaisia testejä oppivista robottijärjestelmistä. Pitkäaikainen robottioppiminen on vasta konseptiasteella (Mataric et al 2008). Teknologisesti saattaa olla vielä mahdotonta

rakentaa sosiaalista robottia, joka kykenee toimimaan työntekijän apuna vuosikaudet ilman uudelleen ohjelmointia tai komponenttien vaihtoa.

Sosiaalisen robotiikan yhtenä tärkeänä kehityskohteena on ymmärtää, mitä tehtävää käyttäjä tekee tai yrittää tehdä. Robotin tulee ymmärtää tehtävän konteksti, käyttäjän tunnetila ja tavoitteet sekä käyttäjän fysiologinen tila. Ihminen on luonteeltaan muuttuva ja heikosti ennustettavissa oleva. Ihminen saattaa muuttaa toimintatapaansa ja tehdä inhimillisiä virheitä. Ihmisen toimintaa ei voida täysin ennustaa etukäteen. Koska sosiaalinen robotti pyrkii interaktiiviseen yhteyteen ihmisen kanssa, vuorovaikutuksen tulisi olla molemminpuolinen. Periaatteessa ihmisen tulisi avustaa robottia, jos robotti joutuu ongelmatilanteeseen tai jää jumiin. Tutkijoiden tavoitteena on kehittää konteksteja ymmärtää robotiikkaa, joka pystyy kaivamaan tiedostoistaan aikaisempia kokemuksia ja yhdistelemään niitä uusiksi tehtäviksi ongelmaratkaisussa (Mataric'et al 2008).

3.4.5 Mekanismit

Kaiken tyyppisten robottien kehittämisen yhtenä haasteena on robottien mekanismien, erityisesti toimilaitteiden kehittäminen. Esimerkiksi työntekijää avustavan sosiaalisen robotin käden tulisi olla tarkka, tarpeeksi kevyt ja motorisesti kehittynyt. Yksinkertaisella mekanismilla ei pystytä tekemään tarkkoja tehtäviä tai monimutkaisia asioita, joihin robotista halutaan olevan hyötyä. Esimerkiksi kahden kappaleen liittäminen toisiinsa pultin ja mutterin avulla onnistuu ihmiseltä helposti. Robotiikalta se edellyttää jo korkeampaa osaamista ja kehittyneitä algoritmeja. Tehokkaiden toimilaitteiden, aktuaattoreiden, kehittäminen kulkee samaa matkaa uusien mekaanisten ratkaisujen sekä uusien materiaaliratkaisujen kanssa. Robotin toimilaitteen kannalta sen teho-painosuhte on merkittävä. Mobiiliroboteissa korkea paino edellyttää korkeaa tehoa ja edelleen riittävää energiaa. Koska akkuteknologia ei ole vielä riittävän kehittynyttä, robotin toimilaitte tulee suunnitella kevyeksi ja kestäväksi. Käynnissä olevassa TuoVa-projektissamme (vaativa valmistus tuotantoketjuissa) olemme pohtineet, kuinka voimme valmistaa robotin toimilaitteen tai komponentteja yhdistämällä komposiitteja, kevytmetalleja ja esimerkiksi kumiseoksia. Tulevaisuuden ratkaisuna on todennäköisesti eri materiaaleista koostuva

rakenne tai jonkin uuden seosmateriaalin hyödyntäminen robotin mekaniikan komponenttien valmistuksessa.

Uusien toimilaitteiden kehittäminen on haastava tehtävä. Sähkömoottorit ja servot ovat tällä hetkellä vallitsevana teknologiana. Uudet innovatiiviset toimilaiteteknologiat kuten, muuttaminen kemiallinen energia mekaaniseksi energiaksi (Raade & Kazerooni 2005), ovat vielä ongelmallisia, koska niiden turvallisuutta ei voida taata. Toisaalta niiden reagointinopeus ja tarkka kontrollointi on myös vaikeaa. Tutkijat ovat kuitenkin kiinnostuneita kehittämään vaihtoehtoja akkukäyttöisille sähkömoottoreille, jopa liikkuvissa, humanoidityyppisissä roboteissa (Gogola et al 2002).

Jossakin tilanteessa saattaa olla mahdollista, että sosiaalinen robotti ärsyttää työntekijää. Robotin ohjelma tulisi suunnitella siten, että se osaa hakeutua pois aggressiivisen työntekijän luota. Toisaalta robotti tulisi rakentaa siten, että se kestää jonkin verran tönimistä ja muuta häiriökäyttäytymistä. Robotti ei saa myöskään rakenteellaan tai toimilaitteillaan aiheuttaa vaaraa tai haittaa aggressiiviselle ihmiselle. Käytännössä se tarkoittaa, että toimilaitteet eivät sisällä teräviä tai leikkaavia reunoja.

3.4.6 Käytettävyys

Lääketieteellisessä kuntoutuksessa robotin sosiaaliset ulottuvuudet ovat kriittisen tärkeitä. Käyttäjien halu olla tekemisissä robotin kanssa riippuu täysin robotin toimivuudesta, luotettavuudesta ja kyvystä pitää käyttäjien mielenkiintoa yllä. Työympäristössä käytettävien sosiaalisten robottien tai avustavien robottien pitää tuottaa käyttäjille ja yritykselle konkreettista lisäarvoa. Niiden tulee edistää työntekijöiden työkykyä, tuottavuutta, viihtyvyyttä, muistia tai työiloa yleisesti. Tämä vaatimus tarkoittaa sitä, että suunnittelijoiden tulee ottaa huomioon robotin äly, liikkeet ja design. Robotin älyn suunnittelussa voisi toimivana konseptina olla pelillisuus, gamification, josta on saatu hyviä tuloksia organisaatioiden kehittämisessä. Robotti voisi olla hieman salaperäinen ja haastava, jolloin käyttäjien mielenkiinto säilyy ensikosketusta pidempään.

3.4.7 Tulevaisuus

Ihmisen ja sosiaalisen robotin yhteiselämä työpaikalla vaatii vielä runsaasti simulointia ja ihmisen toiminnan ymmärtämistä. Robotin tulee ymmärtää työn konteksti sekä ihmisen ajatusmaailma, ainakin jossakin määrin. Kovin utopistiselta tuntuu ajatus, että meillä olisi pian käytössä sosiaalisia, avustavia robotteja, jotka pystyvät ennustamaan meidän liikkeitä ja ymmärtämään toimintaamme. Meidän kuitenkin tulee aloittaa jostakin ja hyväksyä, että ensimmäisen sosiaaliset robotit ovat vain osittain meitä ymmärtäviä. Tunnetut tutkimuslaitokset ja teollisuusyritykset kuten NASA, GM, Honda, MIT, Carnegie Mellon yliopisto, Kawada Industries, KIST, AIST, Kawasaki Industries ja monet muut ovat kehittämässä robotteja ihmisten avuksi. Kehitys ei tule pysähtymään, vaan tutkimusryhmät ottavat kovia haasteita vastaan. Odotettavissa on, että muutaman vuosikymmenen jälkeen meillä on käytössä avustavia robotteja myös työympäristössä.

4 Palvelurobotiikka siltana sosiaalisen robotiikan yleistymiseen

Palvelurobotit on määritelty siten, että ne ovat ihmisiä avustavia robotteja, jotka toimivat koti- tai työympäristössä, vapaa-ajan toiminnoissa tai avustavat ikäihmisiä ja liikuntarajoitteisia. Palveluroboteissa voi olla myös sosiaalisia ulottuvuuksia, mutta yleisesti ne ovat toiminnallisia laitteita, joissa pääpaino on ihmisen avustaminen työtehtävissä. Palveluroboteiksi määritellään mm. kotitalouksien siivous- ja ruohonleikkurirobotit (Kuva 7) sekä ammattikäyttöön suunnitellut esim. huolto-, tarkastus-, viimeistely ja korjausrobotit (kuva 8). Palvelurobotiksi voidaan lukea myös ihmisen hyvinvointia edistävät robotit, kuten hiustenpesurobotti (Kuva 9). Palvelurobotit ovat suunniteltu tekemään tiettyä työtehtävää, eikä niillä ole kykyä aistia käyttäjän tunnetilaa, toimintaa tai ajatuksia. Työntekijää avustavan sosiaalisen robotiikan kehittämissä on periaatteessa kaksi linjaa, jotka voidaan yhdistää. Sosiaalinen robotiikka, joka pystyy aistimaan ihmisen tunnetiloja ja olemaan ihmisen kanssa vuorovaikutuksessa voidaan yhdistää toiminnallisiin palvelurobotteihin, jolloin lopputuloksena saadaan työntekijää avustava ja palveleva sosiaalinen robotti.



Kuva 7. Siivousrobotti Roomba. Lähde:
<http://www.robotreviews.com/chat/viewtopic.php?t=5>



Kuva 8. Minikaivurirobotti. Lähde:
<http://www.wired.com/gadgetlab/2008/12/modular-robot-c/>



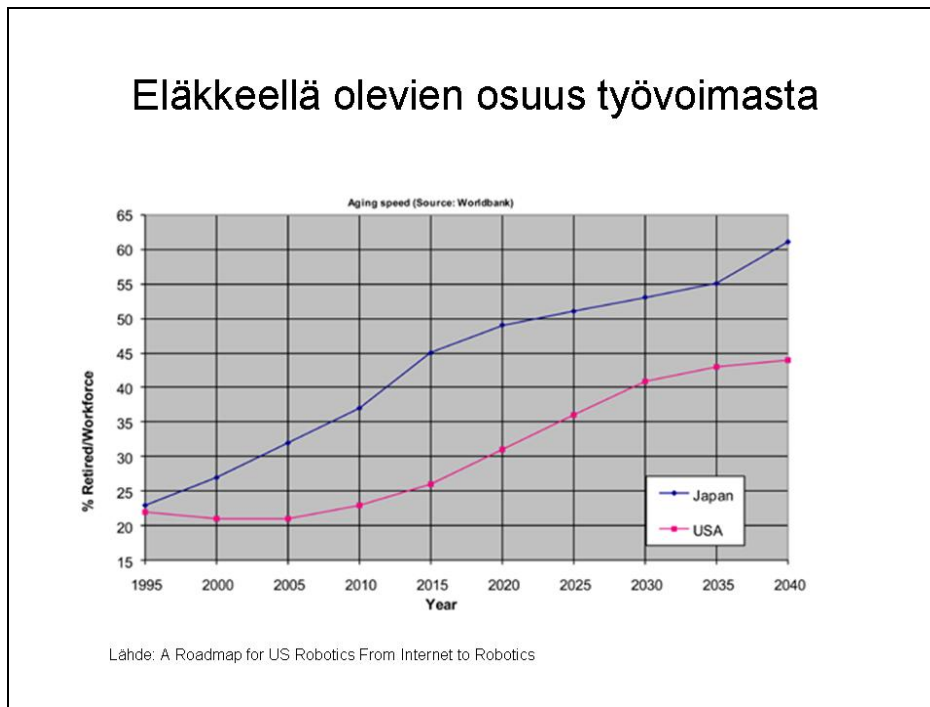
Kuva 9. Hiustenpesurobotti, joka pesee, kuivaa ja hieroo niskan. Lähde: <http://technabob.com/blog/2010/10/13/hair-washing-robot-panasonic/>

Palvelurobotiikan sovelluskohteita ovat mm. terveydenhuolto, logistiikka, viihde ja koulutusratkaisut. Esimerkiksi Etelä-Koreassa on käytetty robotteja englannin kielen opetuksessa (Kuva 10) (Strother 2011). Tunnettuja sovelluksia ovat myös automaattiset logistiikkakeskukset (Echelmeyer et al 2008) sekä kehittyneet kontit (Fukui et al 2007) ja kaivosrobotiikka (Corke et al 2008). Jossakin määrin voidaan sanoa, että automaattiset logistiikkaratkaisut ovat automatiikkaa eikä robotiikkaa. Kuitenkin raja automaattisten järjestelmien ja robotiikan välillä on hämärä, eikä tarkan rajan vetäminen ole itsetarkoitus.



Kuva 10. Englantia opettava Silbot-robotti Lähde:
<http://www.voanews.com/english/news/asia/South-Korean-Students-Learn-English-from-Robot-Teacher-117640783.html>

Palvelurobotiikan yleistymisen yhtenä merkittävänä tekijänä on väestön ikääntyminen ja toimintakyvyn heikkeneminen. Työssä olevan väestön määrä suhteessa koko väestöön tulee vähenemään, jolloin työssä olevalta väestöltä vaaditaan parempaa tuottavuutta. Esimerkiksi Amerikassa eläkkeelle jääneiden osuus työvoimasta oli vuonna 2005 noin 21 %, kun sen on ennustettu olevan vuonna 2030 noin 40 % (Kuva 11). Japanissa tilanne on vielä ongelmallisempi. Siellä vastaavat luvut ovat vuoden 2005 osalta noin 32 % ja vuoden 2030 osalta 53% (Brock et al 2008). Koska työtä tekevä väestö vähenee ja tuottavuusvaatimus kasvaa, kehittämiskeinona ovat uudistetut toimintaprosessit sekä teknologian tehokkaampi hyödyntäminen. Tietotekniikka ja sosiaalinen palvelurobotiikka voivat olla vallankumouksellinen teknologia työn tuottavuuden kehittämisessä, työkuormituksen vähentämisessä ja työntekijän työkyvyn ylläpitämisessä.



Kuva 11. Eläkkeellä olevien osuus työvoimassa. Lähde: Brock et al 2008

Jokaisen kehittyneen teollisuusmaan kilpailukyvyn ylläpito edellyttää monialaisen robotiikan kehittämistä. Presidentti Barack Obama (Kuva 12) on ollut puoltamassa 500 miljoonan dollarin tutkimus- ja kehittämisohjelmaa, jonka tavoitteena on saada yhteen amerikkalaiset tutkimuslaitokset, yritykset ja julkinen sektori. Tavoitteena on kehittää uutta valmistusteknologiaa, kehittää liiketoimintaa ja luoda uusia työpaikkoja. Asiantuntijoiden mukaan kehitystyössä pitää luoda uusia materiaaleja, parempia sensoreita, kehittyneitä toimilaitteita ja turvallisia järjestelmiä (Guizzo 2011).



Kuva 12. Barack Obama puhumassa robotiikan puolesta. Lähde: [http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/obama-announces-major-robotics-initiative]

4.1 Palvelurobotiikan näkökulmia

Tuottavuuden lisäämään ja kustannusten karsiminen on vain yksi näkökulma työntekijää avustavan robotiikan suosimisessa. Muita näkökulmia ovat mm. asiakkaiden esittämät laatuvaatimukset tuotteen ominaisuuksien tai palvelun nopeuden osalta. Yhtenä näkökulmana ovat myös työntekijöiden toiveet ja odotukset työkuormituksen keventämisestä robotiikan avulla. Terveystieteiden kasvanneet kustannukset ja neurologiset sairaudet sekä stressin johdannaissairaudet vaativat myös teknologialta uusia innovaatioita. Autonomiset sosiaaliset robotit ovat hyödynnettävissä työntekijän apuna jo ennen vakavien oireiden ilmenemistä. Lisäksi niitä voidaan käyttää hoitokeinona sekä varsinaisen hoidon jälkeen.

Yrityksille ja kansantalouksille aiheutuu maailmanlaajuisesti kymmenien miljardien eurojen kustannukset uupumuksesta, stressistä ja masennuksesta. Lisäksi stressin aiheuttama verenpaineen nousu on useissa tapauksissa lähtölaukaus äkilliseen aivohalvaukseen. Okumura & Higuchi (2011) ovat laskeneet, että masennuksesta aiheutuu Japanin kansantaloudelle vuosittain 11 miljardin dollarin kustannukset. Sobocki et al (2006) arvioivat, että masennuksen vuotuiset kustannukset olivat Euroopassa vuonna 2004 noin 118 miljardia euroa. Greenberg et al (2003) ovat vastaavasti arvioineet, että masennuksen vuotuiset kustannukset ovat Amerikan taloudelle noin 83 miljardia dollaria. Cooper (2008) on arvioinut, että stressistä aiheutuu briteille noin 20 miljardin punnan kustannukset. Euroopan työterveys- ja turvallisuusvirasto on arvioinut, että työperäisen stressin vuotuiset kustannukset EU:n jäsenvaltioissa vuonna 2002 olivat noin 20 miljardia euroa (OSHA 2012). Tutkijat ovat myös laskeneet, että stressin taloudelliset vaikutukset Amerikan kansantaloudelle ovat kriittisen suuria (Ball 2004, Rosch 2001). Masennuksen, uupumuksen ja stressin aiheuttamien kustannusten laskeminen ei ole kovin yksiselitteistä, mutta yhteenvetona voidaan todeta, että niistä aiheutuu kova lasku joka puolella maailmaa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon inhimillisiä näkökulmia, jotka ovat usein ikävämpiä kuin rahan menetys. Sosiaalisen, interaktiivisen palvelurobotiikan avulla voitaisiin helpottaa myös työntekijän henkistä kuormaa ja siten leikata osa kansantaloudelle ja yrityksille aiheutuvista kustannuksista.

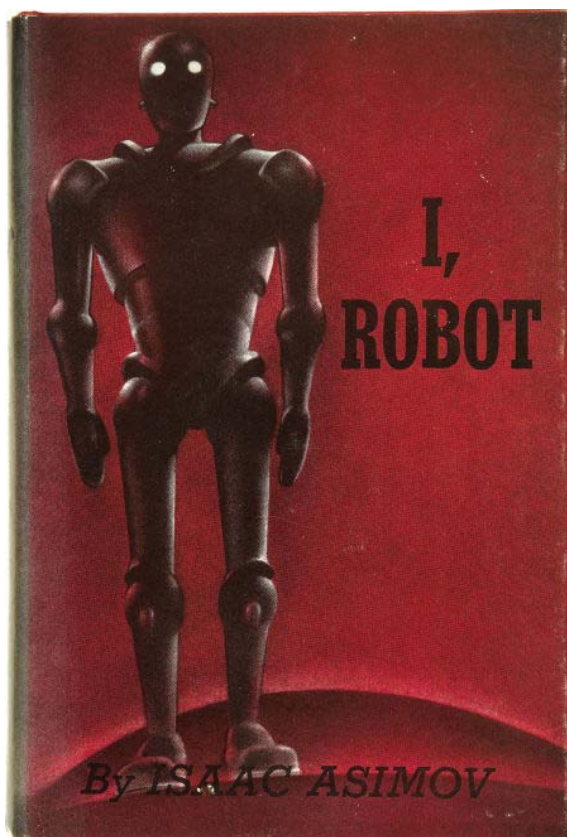
5 Robotiikan turvallisuus

On kuitenkin tarpeellista selvittää hieman, mitä standardeja ja menetelmiä on olemassa robottiturvallisuuden varmistamiseksi. Timo Malm (2008) on toimittanut hyvän teoksen ”Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus”, missä käydään läpi ihmisen ja robotin vuorovaikutukseen liittyviä turvallisuusnäkökulmia.

Lähes kaikki robotiikkaturvallisuutta ja robottien tulevaisuutta koskeva kirjallisuus siteeraa jossakin vaiheessa tunnetuksi tulleita Isaac Asimovin kirjassaan ’I, Robot’ esittämiä robotin käyttäytymissääntöjä.

1. Robotti ei saa vahingoittaa ihmistä
2. Robotin tulee totella sille annettuja määräyksiä, huomioiden kuitenkin kohta 1
3. Robotin täytyy varjella olemassaoloaan, huomioiden kuitenkin kohdat 1 ja 2

Tutkijoiden viittaaminen alkuperäiseen vuonna 1950 julkaistuun Asimovin teokseen on jo sinänsä kulttuuriteko (Kuva 13)



Kuva 13. Isaac Asimovin I, Robot kirjan kansi. Lähde: <http://www.liveauctioneers.com/item/5296170>

Koneiden ja laitteiden kanssa tehtävien töiden turvallisuutta ei voi vähätellä. Yleinen tapa robotin ja ihmisen yhteistyön turvallisuuden takaamiseksi on ollut aidata robotin työskentelyalue. Tulevaisuuden rakennemuutos vaatii myös robotti-ihminen yhteistyöltä muutoksia. Valmistussarjat muuttuvat ja tuotteiden variaatiot ovat erilaisia. Kansainvälisessä kilpailussa pysyminen edellyttää korkeaa tuottavuutta, joka voidaan saavuttaa robotti-ihminen yhteistyöllä. Robotti on hyvä valjastaa tekemään tarkkuutta vaativat ja raskaat työt, kun taas ihmiselle jää suunnittelu- ja ajatustyön ihanaus. (Schraft et al 2005)

Useamman kuin yhden robotin järjestelmät ovat haastavia, erityisesti silloin, kun ne ovat hoitamassa samaa tehtävää ja työstettävän kappaleen asento muuttuu jatkuvasti. Tilanne muuttuu vielä hankalammaksi, jos järjestelmään lisätään työntekijän työpanos. Monirobottijärjestelmissä tarvitaan yhteinen ohjausjärjestelmä, jolla varmistetaan, että laitteet eivät törmää toisiinsa ja suoritettava työ kohdentuu oikeaan paikkaan. Työstettävällä kappaleella tulee olla koordinaatisto, jota kaikki sitä työstävät laitteet ymmärtävät samanaikaisesti. Tämä vaatimus on haastava robotti-ihminen yhteistyölle jo sellaisenaan, puhumattakaan tilanteesta, jossa ihminen liikkuu monirobottijärjestelmän toimialueella.

Vaikka robotit ovat liikenopeudeltaan, massaltaan ja voimaltaan suuria, robottionnettomuuksia ei ole sattunut paljoakaan. Malm (2008) toteaa, että robottitapaturmille on tyypillistä se, että robotin vaara-alueella on ollut henkilö samaan aikaan. Riskiryhmään kuuluvat säätöjä ja asennuksia tekevät henkilöt (Malm 2008)

5.1 Lainsäädäntöä lyhyesti

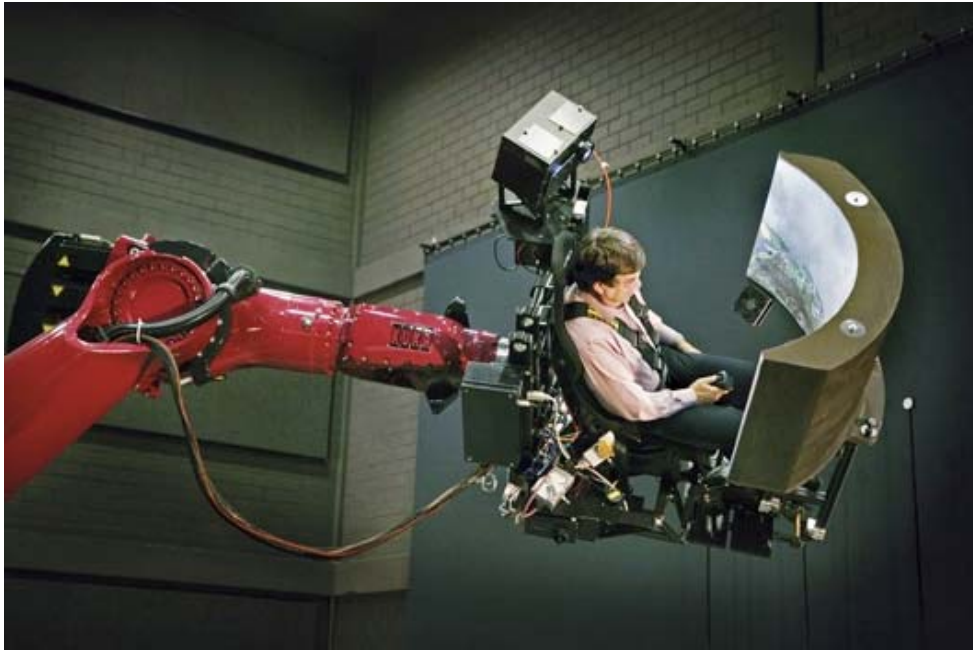
Teollisuusrobotteja koskee yleisesti koneiden turvallisuuteen liittyvä lainsäädäntö sekä standardit. Työturvallisuutta, ja siten myös robottien käyttämistä säätelee työturvallisuuslaki (738/2002), jossa työntajaa mm. veloitetaan tarkkailemaan jatkuvasti työympäristöä, työyhteisön tilaa ja työtapojen turvallisuutta. Lisäksi laissa mainitaan, että pääsyä koneen vaara-alueelle on rajoitettava niiden rakenteen, sijoituksen, suojausten tai turvalaitteiden avulla (Malm 2008).

Muita työpaikalla käytettäviä robotiikkaan liittyviä säännöksiä ovat konedirektiivi (2006/42/EY), käyttöpäätös (VNp 856/1998 luku 2) sekä Konelaki (1016/2005). Koneasetusta sovelletaan uusiin koneisiin ja ETA alueen ulkopuolelta tuleviin käytettyihin koneisiin. ETA alueen ulkopuolelta tulevien koneiden ja laitteiden EY:n vaatimuksenmukaisuus tulee todentaa (Malm 2008).

Koneasetuksen liitteessä 1 on mainittu koneita koskevat terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Koneiden turvallisuussuunnittelun periaatteena on kolmen askeleen periaate; riskien vähentäminen, turvallisuustekniikan lisääminen, käyttöohjeet (Malm 2008). Riskien arvioinnissa voidaan käyttää apuna standardia SFS-EN 14121-1 sekä C-tyypin standardia esim. SFS-EN 10218-1 (Malm 2008).

5.2 Robotin ohjausjärjestelmät turvallisuuden takaajana

Tekniikan alan asiantuntijoiden keskuudessa on herännyt paljon keskustelua ja mielenkiintoa KUKA Robot Group:n huvipuistosovellus Robocoaster (Kuva 14), joka on maailman ensimmäinen ihmisiä kuljettava robotti. KUKA käyttää roboteissaan PC-pohjaisia ohjausjärjestelmiä ja on integroinut Robocoasteriin turvajärjestelmät. Saksalainen luokittelulaitos TÜV on testannut Robocoasterin laadun ja turvallisuuden sekä myöntänyt laitteelle sertifiointin standardin DIN 4112 mukaisesti (Factorycontrol 2012). DIN 4112 on Saksassa voimassa oleva huvipuistolaitteita koskeva standardi, joka tullaan pian korvaamaan eurooppalaisella EN 13814 standardilla (IAAPA 2012). Standardin DIN 4112:n kaikki oleelliset osat sisältyvät jo tällä hetkellä standardiin EN 13814 (IAAPA 2012). Robocoasterin käyttäjät voivat valita kosketusnäytöstä Robocoasterin liikkeet jännitysmomentin ja iän mukaisesti (Intel 2012). Robottivalmistajilla on tulevaisuuden suunnitelmia tuoda robotteja laajemminkin viihdekäyttöön. Prosessorien kehittyminen on mahdollistanut robottien itsenäisen toimimisen. Esimerkiksi Corpora yhtiön kehittämä Qbo-robotti tunnistaa tilanteita ja reagoi tilanteen mukaan (Kuva 15). Robotti myös tunnistaa itsensä peilikuvasta (Intel 2012). Pal Robotics:n kehittämä REEM-robotti on myös Intelin teknologiaa hyödyntävä humanoidi-palvelurobotti (Kuva 16). REEMin ominaisuutena on mm. autonominen navigointijärjestelmä (Intel 2012).



Kuva 14. KUKA Robocoaster. Lähde: Anne Faden/Max Planck Institute for Biological Cybernetics. [<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/kuka-manipulator-disney-thrill-ride-robocoaster>]



Kuva 15. Corpora yhtiön kehittämä Qbo-robotti. Lähde: [<http://www.geekosystem.com/robot-mirror-test/>]



Kuva 16. REEM-robotti kommunikoimassa ihmisten kanssa. Lähde: [http://www.pal-robotics.com/press-kit/hires/reem-h2/REEM_interacting_with%20people.jpg]

Teollisuusrobottien ohjausjärjestelmien turvallisuutta säätelevät standardi SFS-EN ISO 13849-1, joka korvaa vanhan standardin SFS-EN 954-1:n. Lisäksi sovellusstandardina käytetään standardia SFS-EN 62061, joka pohjautuu IEC 61508 standardiin (Malm 2008). Lisätietoa koneiden ohjausjärjestelmien turvallisuudesta ja käytettävistä standardeista löytyy Hietikko et al (2009) teoksesta ”Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus”.

Keskeinen kysymys ihmisten kanssa töitä tekevien robottien osalta on määrittää, ovatko robotit teollisuuden laitteita, viihdetarkoitukseen tarkoitettuja laitteita tai

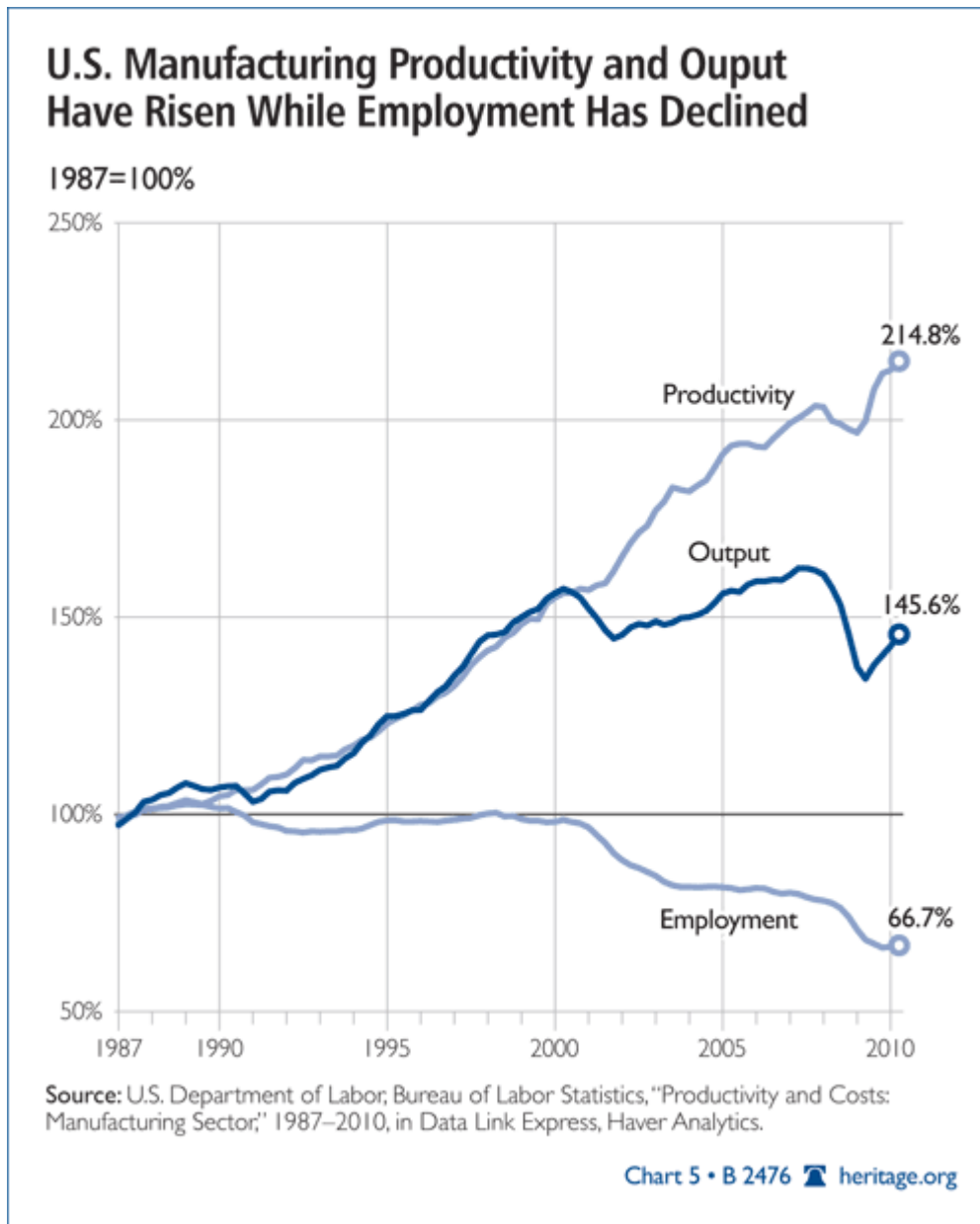
jotakin ihan muuta. Kahteen ensimmäiseen kohtaan on standardit olemassa, mutta jos ihmisiä avustavat sosiaaliset robotit eivät kuulu kone- tai huvipuistolaitestandardin piiriin, niin mihin standardiperheeseen ne olisi luettavissa. Tietotekniikan komponenttien ja ohjelmistojen nopea kehittyminen tekee voimassa olevista standardeista nopeasti vanhanaikaisia. Esimerkiksi nykyisten prosessorien ja sensoreiden teknologia on aivan eri tasolla kuin 90-luvulla tai 2000-luvun alussa.

Sosiaaliset robotit ovat määritelmän mukaisesti hankalia turvastandardoinnin osalta. Periaatteessa sosiaalinen robotti ei ole kosketuskontaktissa ihmiseen, eivätkä ne osallistu fyysisiin työtehtäviin ihmisen kanssa. Niiden tehtävänä on moniaistisesti motivoida ja valmentaa ihmistä ja auttaa tietopohjaisesti tarvittaessa. Jotta työelämä hyötyisi sosiaalisesta robotiikasta enemmän, haluamme määritellä sosiaalisen robotiikan siten, että se on ihmisen tunnetiloja aistivaa interaktiivista robotiikkaa, joka pystyy avustamaan ihmistä myös fyysisesti.

Laitevalmistajien kannattaa ottaa sosiaalisten robottien valmistamisessa jo määrittelyvaiheessa huomioon, mihin kategoriaan robotti kuuluu. Aktiivisia robotteja on tehty viime aikoina paljon lelumarkkinoille. Niidenkin turvallisuutta säädellään direktiiveillä ja standardeilla. EU määritteli vuonna 2009 lelujen turvallisuutta määrittelevän direktiivin 2009/48/EY. Eurooppalainen standardi EN 50410:2008 koskee elektronisia lelurobotteja. Toiminnallisia, kotona hyödynnettäviä robotteja koskee standardisarja EN 60335 (GENELEC 2012). Henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitetut muut kuin lääkinälliset robotit tai teollisuusrobotit saivat vuoden 2011 lopussa kansainvälisen standardin luonnoksen ISO/DIS 13482. Se määrittelee turvallisuusvaatimukset henkilökohtaisille hyvinvointiroboteille (ISO 2012). Standardissa määritellään mm. robotin ohjausjärjestelmän turvallisuus. Standardista on tekeillä myös EN ISO 13482- standardi, mutta sekin on vielä luonnosvaiheessa (Astandis 2012). Standardiluonnoksessa mainitaan, että robotin ohjausjärjestelmän pitää olla yhdenmukainen standardien ISO 13849-1 tai IEC 62061 kanssa. Kiinnostava asia standardiluonnoksessa on kohta, jossa mainitaan, että ohjelmallisesti voidaan rajoittaa robotin liike- tai toimialue.

6 Miksi käyttäjän pitäisi päästä lähelle robottia

Robotti-investointi on yritykselle arvokas panostus työn tuottavuuteen. Yritys haluaa hyödyntää robotiikka ja automatiikka maksimaalisesti lisätäkseen tuotantoaan ja toisaalta helpottaakseen työntekijöiden manuaalisen työn kuormitusta. Kiristynvä globaali kilpailu ajaa yritykset miettimään, miten saadaan aikaan laadukkaita tuotteita joustavasti, nopeasti ja kustannustehokkaasti. Lisäksi joidenkin työtehtävien kuormitus työntekijöille on liian raskas, joten tuotannon automatisointi on siinäkin mielessä järkevää. Kehittynyt robotiikka ja automaatio valmistavassa teollisuudessa mahdollistavat yritysten perustaa ihminen-robotti tiimejä, jotka täydentävät toisiaan. Esimerkiksi ihmisen älykkyys ja näppäryys yhdistettynä robotin tarkkuuteen, voimaan ja väsymättömyyteen parantaa työolosuhteita ja estää työstä aiheutuvia rasituksia (Christensen et al 2008). Robotiikan avulla yrityksillä on mahdollisuus lisätä kapasiteetin käyttöastetta ja kehittää työntekijän työtä ja olosuhteita. Yrityksistä tulee nopeasti muuntautuvia ja ne voivat toimittaa myös pieniä sarjoja kustannustehokkaasti. Amerikassa, kuten muuallakin maailmassa, valmistavan teollisuuden työpaikkojen määrän väheneminen ei johdu kansainvälisen kaupan lisääntymisestä, vaan teknologian kehittymisestä ja tuotannon automatisoitumisesta (Sherk 2010). Yritysten tuottavuus on kohonnut, tuotantoluvut ovat pysyneet aika vakiona, mutta työntekijöiden määrä on vähentynyt (Kuva 17) (Sherk 2010). Toisaalta International Federation of Robotics (IFR) raportoi, että robotiikka on lisännyt työpaikkoja esimerkiksi Kiinassa, Brasiliassa ja Saksassa (Gorle & Clive 2011). Robotiikan arvioidaan lisäävän 700.000 – 1.000.000 uutta työpaikkoja maailmanlaajuisesti vuoteen 2016 mennessä (Gorle & Clive 2011). Merkittävää on myös robotiikan käyttöönotto PK- yrityksissä estämään tuotannon siirtymisen halpatuotantomaihin ja jopa saamaan takaisin halpatuotantomaihin jo siirtynyttä valmistusta (Gorle & Clive 2011).

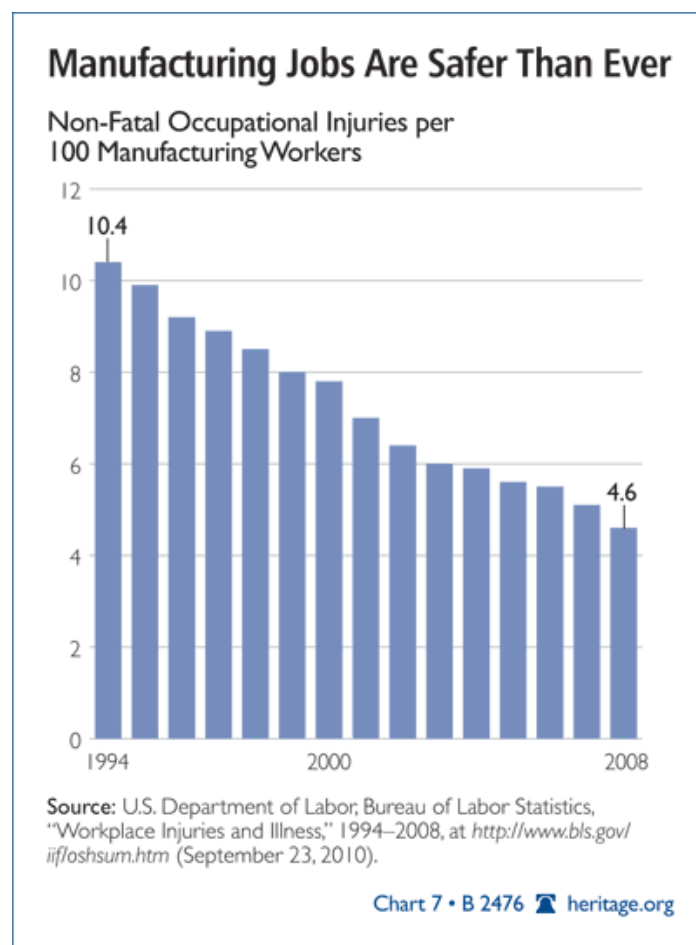


Kuva 17. Tuottavuus, työllisyys ja tuotos amerikkalaisessa valmistusteollisuudessa. www.heritage.org

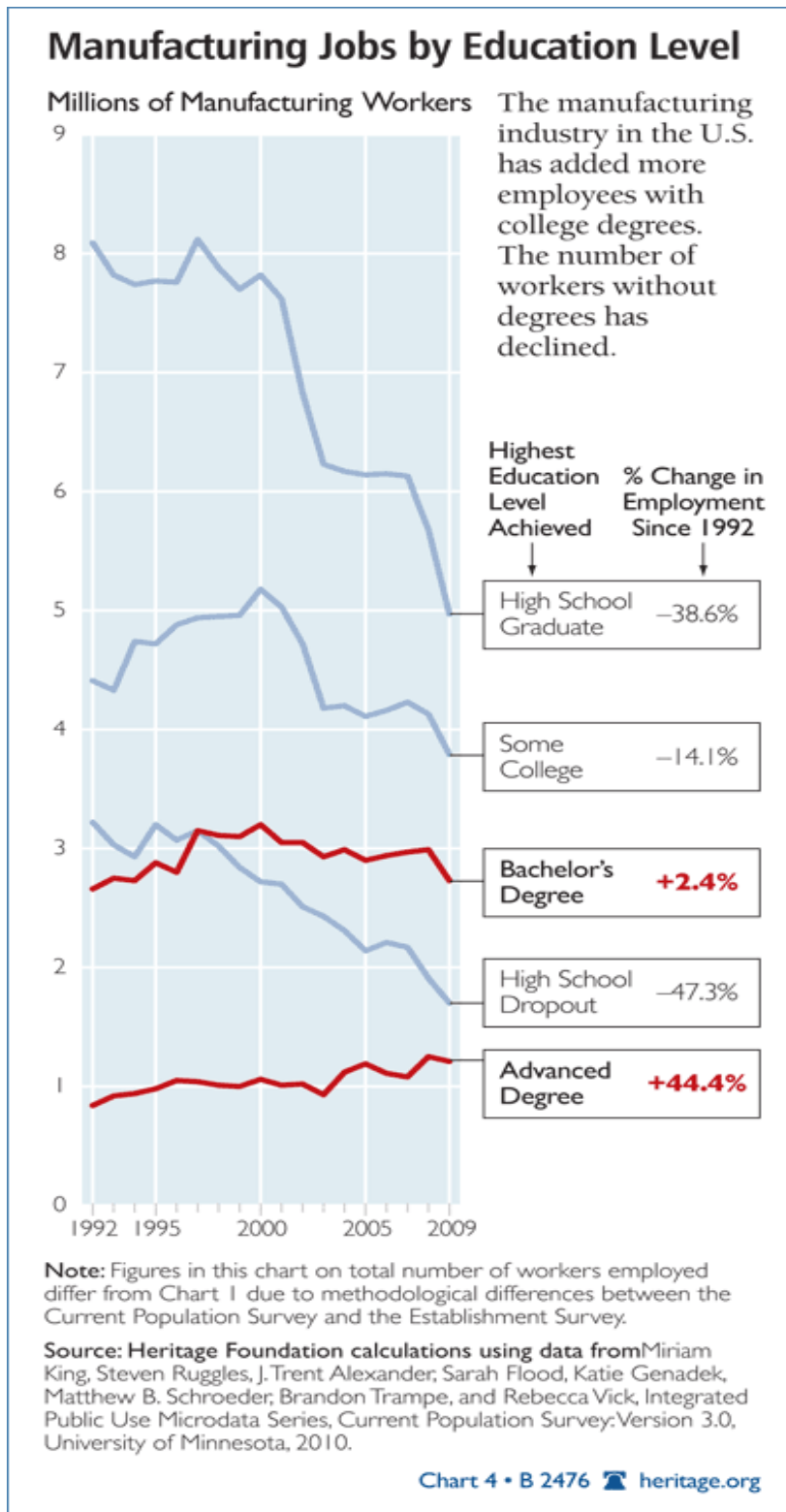
Kohonneiden tuotantovaatimusten ja työturvallisuuden vuoksi teollisuusyritykset ja tutkimuslaitokset ovat osoittaneet kiinnostustaan kehittää robotin ja ihmisen vuorovaikutusta. Tuotantotyössä tapahtuvien tapaturmien määrä on vähentynyt radikaalisti viimeisen 15 vuoden aikana, johtuen tuotannon automatisoinnista (Kuva 18) (Sherk 2010). Tuotantoyritysten kehittyminen ja robotiikan tason nostaminen aiheuttaa yrityksille myös koulutustarpeita. Robottilaitteiden ohjaaminen ja ohjelmointi vaativat ammattitaitoista käyttäjää. Tuotannon automatisoinnin vaikutus on nähtävissä koulutus- ja ammattitaitovaatimuksissa siten, että ammattitutkinnon suorittaneiden määrä on lisääntynyt, kun vastaavasti ilman tutkintoa olevien määrä on

vähentynyt (Kuva 19). Kehittämistöön vaikuttaa myös teknologian luontainen kehitys ja uusien antureiden ja robottiohjaimien kehittyminen. Vaikka valmistavan teollisuuden turvallisuus on kehittynyt paljon viimeisen 20 vuoden aikana ja työntekijöiden kuormitusta on pystytty vähentämään, suuntaus on edelleen kohti automatisoitua tuotantoa (Kuva 20). Työntekijäintensiivinen valmistaminen ei ole enää mielekäs vaihtoehto (Christensen et al 2008). Voisimme olettaa, että lähitulevaisuuden tuotantolaitos on neljännen sukupolven tehdas, jossa henkilökohtainen robotti avustaa työntekijää manuaalisissa tehtävissä, jotka vaativat tarkkuutta, tai ovat luonteeltaan kuormittavia.

- 1.sukupolvi; käsityö, manuaalinen valmistus
- 2.sukupolvi; koneellinen valmistus
- 3.sukupolvi; automatisoitu valmistus
- 4.sukupolvi; robotti-ihminen yhteisvalmistus



Kuva 18. Työtapaturmien suhteellinen määrä amerikkalaisessa valmistusteollisuudessa. Lähde: www.heritage.org

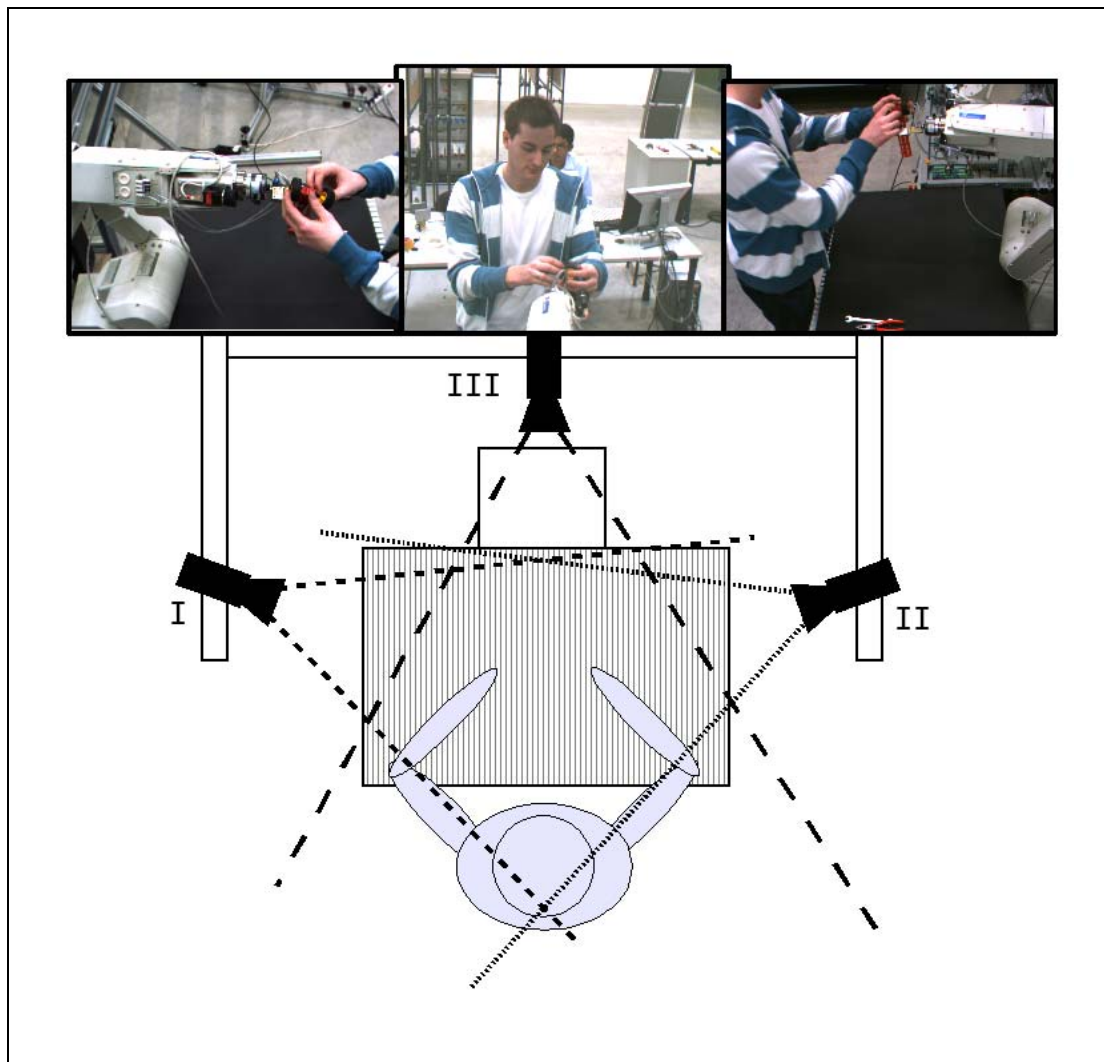


Kuva 19. Koulutusasteen muutos valmistusteollisuudessa. Lähde: www.heritage.org



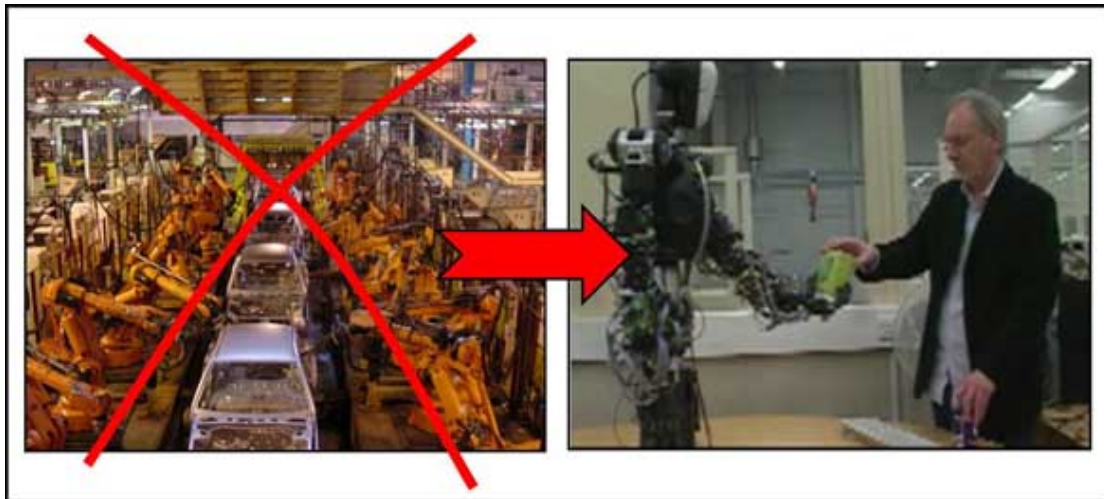
Kuva 20. Nykyaikainen robotisoitu tuotantolinja Nissan Co:n Kaminokawan tehtaalta (Photo by Junko Kimura/Getty Images AsiaPac). Lähde: [<http://www.zimbio.com/pictures/0BQbcWeTntM/Nissan+Opens+Tochigi+Plant+Production+Line/0JD2BX074w6>]

Pohdittava kysymys onkin, mitä tapahtuu kehittyneelle työturvallisuudelle ja tapaturmien määrälle, jos robotti otetaan avustamaan työntekijöitä esimerkiksi kokoonpanossa. Lisäksi pohdittavaa on, mitä sellaisia tuotantotehtäviä on olemassa, joissa tarvitaan robotin ja ihmisen yhtäaikaista työsuoritusta. Tutkimuslaitokset voisivat laatia tutkimusasetelman, jossa selvitetään, mihin robotin ja ihmisen välisellä yhteistyöllä pitäisi päästä. Onko tavoitteena robotin ja ihmisen konkreettinen yhdessä tekeminen, vai olisiko tavoitteena, että robotti ymmärtää ihmisen käskyjä ja mielialaa? Pienissä ja keskisuurissa yrityksissä robottisolulla pyritään tuottamaan moninaisia tehtäviä, jotka koostuvat sekä automaattisista, että manuaalisista työvaiheista. Laine et al (2007) ovat todenneet, että robotin lähelle pitäisi päästä tekemään manuaaliset työtehtävät joustavasti. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että robotin kaikkia laitteita ei tarvitsisi sulkea. Robotiikan uusilla multimodaalisilla tekniikoilla kuten sensoreilla ja kameratekniikalla mahdollistetaan robotin ja ihmisen yhteistoiminta esimerkiksi kokoonpanotehtävissä (Kuva 21) (Lenz et al 2008).

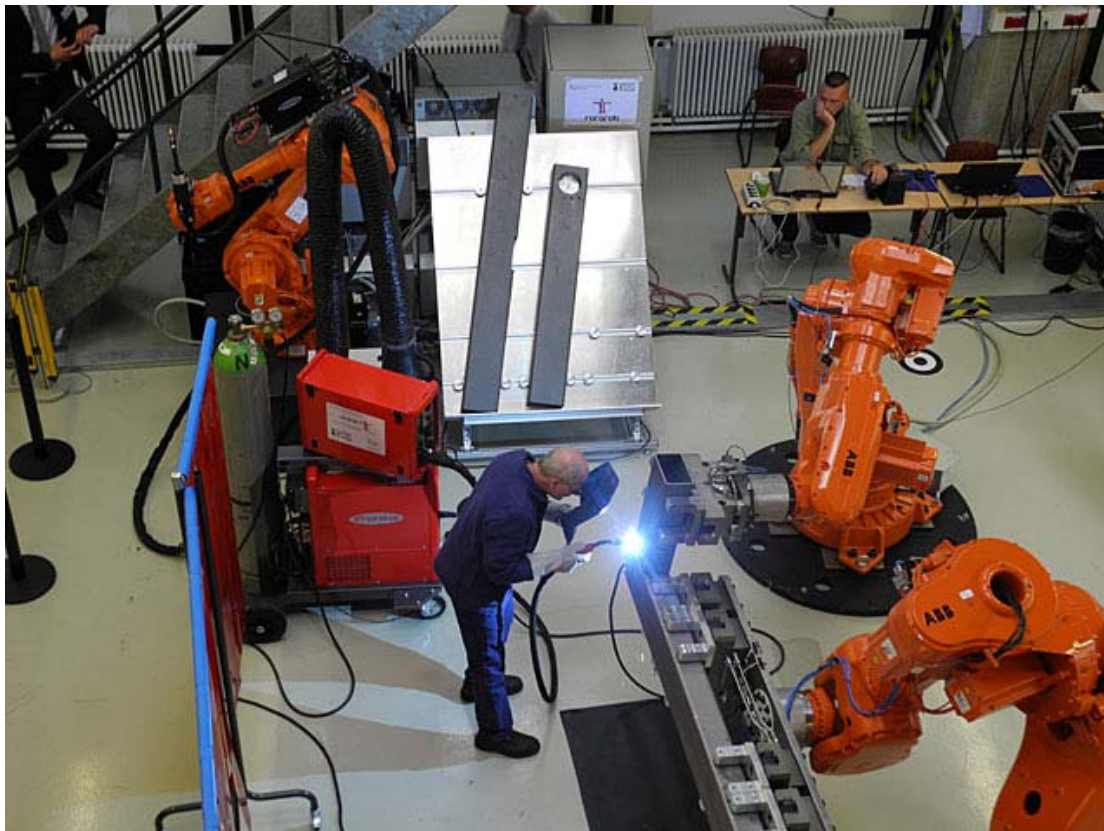


Kuva 21. Kameratekniikan hyödyntäminen robotti-ihminen yhteistyössä Lähde: <http://www6.in.tum.de/Main/StudentProjectsFullBodyTracking>

Tutkimuslaitokset ja yliopistot eri puolilla maailmaa kehittelevät parhaillaan humanoidi-tyyppisen robotin ja ihmisen yhteistyötä (Kuva 22). Lisäksi käynnissä on projekteja, joissa kehitetään ihmisen ja teollisuusrobotin yhteistyötä. Esimerkiksi Dortmundin teknillinen yliopisto on tekemässä RoRaRob-hanketta (Kuva 23), jossa robotit avustavat hitsaajaa tuubimaisen kappaleen kääntelyssä. Hankkeessa on mukana myös Saksan teollisuusministeriö sekä ryhmä yrityksiä. Hankkeen tavoitteena on parantaa työntekijän työergonomiaa ja organisaation tuottavuutta (TU 2012). Tutkijoiden mukaan robotin ja ihmisen välisen yhteistyön mahdollistajana ovat olleet nykyaikaiset turvajärjestelmät sekä kehittyneet sensorit (TU 2012).



Kuva 22. Kohti turvallista robotti-ihminen yhteistyötä. Lähde: Bristol Robotics Laboratory. <http://www.brl.ac.uk/projects/nrcg/index.html>



Kuva 23. Robotin ja ihmisen yhteistyö. Lähde: http://www.irpa.mb.tu-dortmund.de/cms/en/IRPA/Current_events/index.html

6.1 Työskentely robotin kanssa turvallisuuden näkökulmasta

Perinteisessä teollisuusrobotiikassa ja automatiikassa ihmisen pääseminen robotin lähelle on estetty tai kielletty turvallisuussyistä. Standardit määrittelevät minimietäisyydet ja suojalaitteet. Robotin aiheuttamia riskejä ovat robotin liikkeestä aiheutuvat puristumisriskit sekä robotin toimilaitteen, aktuaattorin, tai työkalun aiheuttamat isku-, pisto- tai leikkautumisvaarat. Lisäksi robotin työstämä kappale voi irrota ja sinkoutua hallitsemattomasti. Myös robottihitsauksessa aiheutuva säteily ja lämpö ovat riskitekijöitä.

Lainsäädännön ja standardien avulla suojellaan ihmisiä tapaturmilta ja tapaturmariskeiltä. Teollisuusrobotiikkaan liittyviä standardeja ovat mm. EN 349:1993+A1, joka määrittelee vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi. Vanha standardi SFS-EN 349 on tekniseltä sisällöltään samanlainen uuden painoksen EN 349+A1:n kanssa, joka on puolestaan vastaa tekniseltä sisällöltään standardia ISO 13854 (SFS 2012). Standardi määrittelee, että ihmisen kehon puristumisväli on minimissään 500mm. Käyttökelpoinen on myös standardi SFS-EN ISO 13857, joka määrittelee Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Tärkeä standardi robottilaitteiden suunnittelijoille on uudistettu standardi EN ISO 10218-1, joka koskee teollisuusrobottien ja robotiikkalaitteiden turvallisuusvaatimuksia. Suunnittelijoiden ja robottien robottirakentajien tulee ottaa huomioon myös koneturvallisuusstandardi SFS-EN 999+A1, joka koskee turvalaitteiden sijoitusta huomioiden kehon osien lähestymisnopeudet.

Voimassa olevan lainsäädännön ja standardien näkökulmasta pohdittava asia on, voidaanko teollisuusrobotiikan säännöksiä ja standardeja soveltaa sosiaaliseen robotiikkaan vai pitäisikö sosiaalisilla roboteilla olla omat standardit. Periaatteessa sosiaaliset robotit eivät välttämättä ole kosketuksessa ihmisen kanssa, niiden paino ja voima ovat vähäisiä, eivätkä ne tee työkaluilla tehtäviä. Niiden tehtävänä on vain tuoda mielihyvää ja avustaa työntekijää kognitiivisesti. Laajemman määritelmän mukaan sosiaalinen robotti voi myös avustaa työntekijää, jolloin lakien ja standardien tulkinta mutkistuu. Käytännössä suunnittelijat voivat kehittää sosiaalisen, avustavan

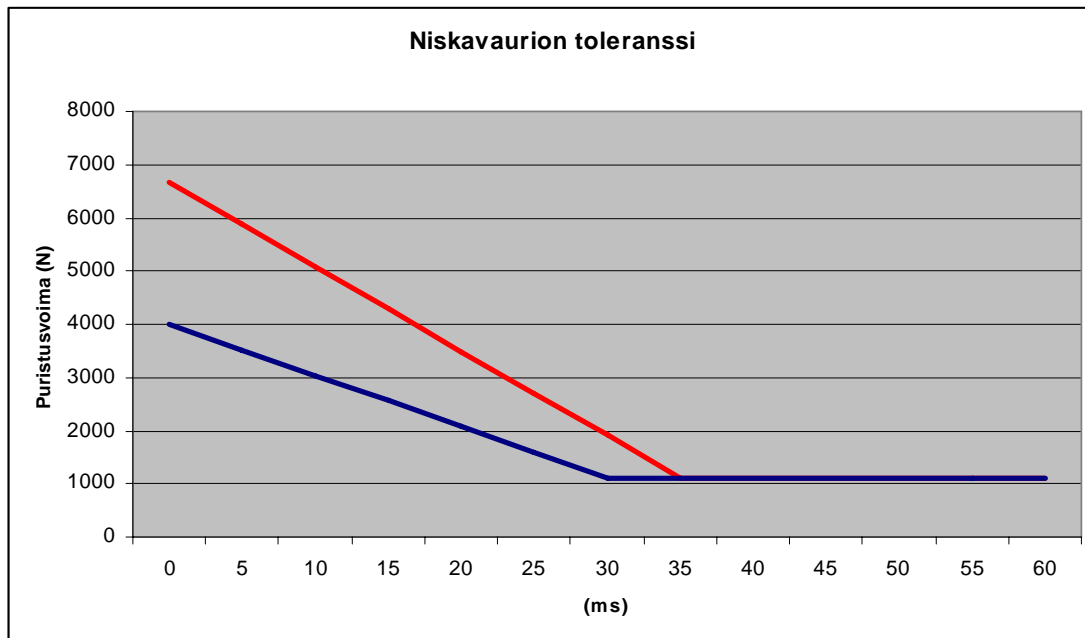
robotin, joka täyttää helposti voimassa olevan lainsäädännön ja standardien vaatimukset.

Teollisuusroboteissa käytetään voima-antureita, murtosokkia tai magneettikytkimiä estämään robotin törmäys ympäristöön. Ne eivät kuitenkaan pysty suojelemaan ihmistä iskuilta tai puristukselta. Standardi määrittelee, että ihmiseen kohdistuva maksimivoima saa olla 150 N ja maksimienergia 80 W (Malm 2008). Yamada et al (1997) ovat tutkimuksessaan todenneet, että ihmisen kipukynnys on noin 50 N, huomioiden kohdistuva voima ja kontaktiaika. Kipukynnys on kuitenkin yksilöllinen, mutta turvallisuusnäkökulmissa tuleekin ottaa huomioon alhaisin kipukynnys. Vastoin yleisiä uskomuksia, kipukynnys ei kasva kivuliaiden kokemusten kautta, vaan päinvastoin, hermosto reagoi herkemmin uusiin ärsykkeisiin (Ikeda et al 2003). Kudosvaurioihin ja luuston keston vaikuttaa myös henkilön ikä. Testeissä on todettu, että vanhemmilla henkilöillä on suurempi todennäköisyys saada murtumia kuin nuoremmilla (Yoganandan 1996)

Ihmiseen kohdistuvan iskun paikalla on myös suuri merkitys. Niskan alue ja pää ovat herkkiä kudos-, luusto- ja hermovaurioille. Mertz et (1978) ovat tutkineet niskaan kohdistuvia rasituksia aksiaalisen kuormituksen osalta sekä niskan flexio/ekstension osalta. Aksiaalisessa puristuksessa (Kuva 24) raja-arvoksi on saatu 4 kN (0 ms) ja 1.1 kN (30 ms). Mertz et al. (1978) ovat päätyneet niskan flexion osalta raja-arvoon 190 Nm, jolloin ei vielä tule sidekudos- tai luuvaurioita, mutta lihasvauriot ovat ilmeisiä. Ekstension osalta he ovat päätyneet raja-arvoon 57 Nm.

Robotin törmäystä ihmiseen ei ole tutkittu kovin paljoa. Haddadin et al (2010) ovat tehneet empiiristä tutkimusta, jossa he ovat testanneet ja analysoineet robotin työkalun, kuten terävän veitsen aiheuttamia pehmytkudosvaurioita. Haddadin et al (2010) toteavat, että empiirisiä tutkimuksia ei ole oikeastaan olleenaan, mutta teoreettisia tarkasteluja löytyy joitakin. Heidän tekemänsä tutkimustyö on erittäin merkityksellinen robotti-ihminen yhteistoiminnan todellisten riskien tunnistamiseksi. Pelkkä skenaariotyö ja erilaisten tilanteiden mallintaminen ei anna riittävää tietoa, mitä voi tapahtua robotin ja ihmisen välisessä törmäyksessä tai mitä voi tapahtua, jos robotin työkalu törmää ihmiseen. Aivoihin kohdistuvasta biomekaanisesta

kuormituksesta haitallisin on tilanne, jossa päähän kohdistuu lineaarista kiihtyvyyttä ja yhtä aikaa kulmakihtyvyyttä (King 2003).

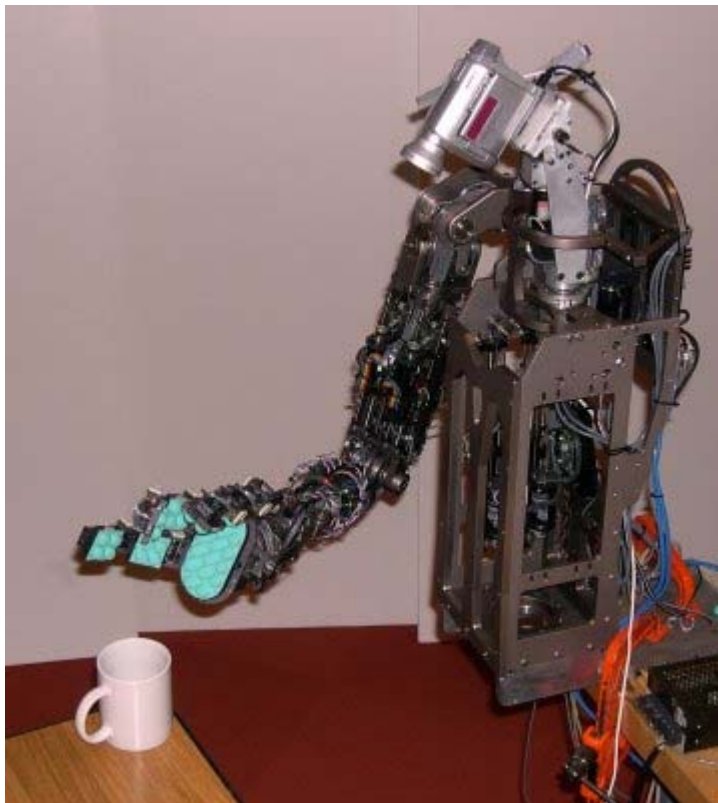


Kuva 24. Niskavaurion mahdollisuus. Sinisen linjan alla ei vaurioita. Sinisen ja punaisen linjan välillä vaurio mahdollinen. Punaisen linjan yläpuolella vauriot vakavia. Lähde: muokattu Mertz et (1978)

6.2 Robotin kyky nähdä, tarttua ja ymmärtää

Konenäköön pohjautuvat turvalaitteet ovat tulossa käyttöön myös teollisuusrobotiikassa (Malm 2008). Sosiaalisessa robotiikassa konenäköä on sovellettu jo jonkin aikaa. Itsestään kulkeviin ajoneuvoihin kehitettävä konenäköjärjestelmä (Hadhazy 2010) voisi olla sovellettavissa myös teollisuusympäristössä. Tutkijoiden tavoitteena on kehittää ajoneuvon konenäkösovellus vastaamaan ihmisen näkökykyä ja visuaaliseen informaatioon liittyvää päätöksentekoa. Teollisessa ympäristössä voisi olla mobiili teollisuusrobotti, joka pystyy navigoimaan ja näkemään esteet ja ihmiset. Vaatimuksena on, että liikkuva robotti ymmärtää kuva- ja paikkatiedostaan myös esteen semanttisen merkityksen ja kolmiulotteisen luonteen. Tutkijat ovat kehitelleet algoritmeja, joiden avulla voidaan 2D kuvasta muodostaa reaaliaikaisesti olettaa kohteen 3-ulotteista muodosta. Lisäksi he ovat laatimassa älykkäitä algoritmeja, joiden avulla voidaan arvioida, mitä materiaalia kohteen alla on (Rusu et al 2009, Fairfield & Urmson 2011). MIT:n emeritusprofessori Rodney Brooks on sanonut, että seuraavan

sukupolven teollisuusroboteissa tulisi olla kehittynyt konenäkö. Hänen mukaan teollisuusrobotit eivät ole kehittyneet kovin paljon 50 vuoden aikana ja ne tekevät edelleen yksinkertaisia, toistavia liikkeitä. Niistä puuttuu älykkäitä sensoreita, jotka mahdollistavat niiden käyttämisen ihmisen rinnalla. Brooks esittää ajatuksen, että robottien tulisi olla älykkäämpiä ja helpompia käyttää. Hän näkee robottien älykkyyden kehittämisessä todellisen revoluution mahdollisuuden (Grifantini 2011a). Brooks on myös lähtenyt mukaan uuden sukupolven teollisuusrobottien kehittämisessä perustamalla yrityksen Heartland Robotics:n, jonka tavoitteena on rakentaa edullisia, herkkään kosketukseen pystyviä robotteja (Kuva 25) (Heartland Robotics 2012). Myös Baerveldt (1992) on jo aika varhaisessa vaiheessa esittänyt idean kuvan- ja puheentunnistuksen käyttämisestä robotin ja ihmisen työskentelystä samalla alueella.



Kuva 25. Herkän kosketuksen Obrero-robotti. Lähde: http://nextbigfuture.com/2008_08_31_archive.html

Kuvankäsittelytekniikan ja tartuntaelinten nopea kehittyminen on johtamassa uuteen aaltoon robotti-ihminen yhteistyössä. NASA ja GM ovat kehittäneet Robonaut 2:n (Kuvat 26, 27), joka pystyy tekemään töitä turvallisesti ihmisen kanssa. USA:n hallitus on myöntänyt amerikkalaisille yrityksille 500 miljoonaa dollaria

valmistusteknologian kehittämiseen. Siitä 70 miljoonaa kohdennetaan suoraan robotiikan kehittämiseen (Grifantini 2011 b). Robonaut 2:n tavoitteena on olla tiimijäsen, joka pystyy kommunikoimaan astronauttien kanssa. Lisäksi GM on kiinnostunut käyttämään Robonaut 2:n kehittämistyöstä saatavia tuloksia tuotantolaitoksissaan (Sausser 2010). Myös japanilaiset ovat kehittäneet ihmisiä avustavan robotin, jonka toivotaan tulevaisuudessa pystyvän myös autonomiseen työskentelyyn. Robotin nimi on HRP-4C (Kuva 28) ja se on kehitetty yhteistyössä Kawada Industriesin ja Japanin kansallisen tiede- ja teknologiainstituutin (AIST) yhteistyönä. HRP-4C:n humanoidimallia (kuva 28) voidaan käyttää mm. asiakastilaisuuksia ja viihdeteollisuuden tehtävissä. AIST:lla on ollut käynnissä vuosien ajan humanoidiroboti projekti (HRP), missä tutkijat ovat kehitelleet kävelevää robottia tutkimusalusiksi (Kuva 29) (Hirukawa et al 2004). Kawada Industries on kehitellyt myös teollisuusrobottien turvallisuusvaatimukset täyttävän, työntekijää avustavan robotin NEXTAGE:n (Kuva 30). Se on kaksikäinen ja sitä pystytään käyttämään monissa eri kokoonpanotehtävissä. Robotti on myös helposti liikuteltavissa paikasta toiseen (Kawada Industries 2012).



Kuva 26. Robonaut 2. Lähde: <http://www.technologyreview.com/computing/24523/>



Kuva 27. Robonaut 2:n käsimäinen manipulaattori. Lähde: iStockphoto.
<http://www.mnn.com/green-tech/research-innovations/stories/general-motors-nasa-work-together-on-r2-robot>



Kuva 28. Tulevaisuuden robottityöntekijä HRP-4C ja HRP-4C. Humanoid malli.
Lähteet: <http://pinktentacle.com/2010/09/hrp-4-athletic-robot-worker/> ja
<http://www.aist.go.jp>



Kuva 29. HRP-2 avustamassa seinäpanelin asennuksessa. Lähde: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889004000946>

7 Teollisuuden rakennemuutos sosiaalisen robotiikan vauhdittajana

Amerikkalaisten tutkijoiden mukaan amerikkalainen yhteiskuntarakenne tulee muuttumaan siten, että enää ei synny kymmeniä tuhansia ihmisiä työllistäviä teollisuusjättiläisiä, vaan erikoistuneita pieniä ja keskisuuria yrityksiä. Myös valmistuslinjat tulevat muuttumaan siten, että yrityksiltä vaaditaan nopeaa reagointia ja mahdollisuus muuttaa tuotantoketjua lyhyessä ajassa. Koska tuotantolinjan muutosta ei ole kannattavaa tehdä kovin usein, yritykset eivät pysty tarjoamaan piensarjoja tilaajille, jos valmistettävien tuotteiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan paljon.

Käytännössä se tarkoittaa, että yritysten tulee panostaa automaatioon ja nopeasti modifioitaviin tuotantolinjoihin. Yksi ratkaisu on liikkuvat robotit, jotka siirtyvät työkohteeseen tarpeen mukaan, kuten NEXTAGE-robotti (Kuva 30). Pienessä tuotantolaitoksessa voisi olla kaksi robottia, jotka hoitavat useita eri tehtäviä. Tehtävän vaihtuessa robotti hakee itselleen uuden työkalun ja ohjelman. Jotta tuotantotilassa liikkuva robotti olisi turvallinen, se pitää varustaa uuden teknologian

antureilla, jotka pystyvät havainnoimaan ympäristön reaaliaikaisesti. Robotilla tulee olla kyky tehdä ympäristöstään semanttisia havaintoja.



Kuva 30. Kawada Industries:n kehittämä NEXTAGE robotti. Lähde: <http://www.designboom.com/weblog/cat/20/view/8292/nekusuteji-nextage-robot.html>

Koska robotti olisi liikkuva ja pystyisi tekemään useita asioita, sen käyttäjäkuntakin olisi laajempi kuin perinteisessä teollisuusrobotiikassa. Robotin turvallinen käyttö edellyttää, että käyttäjät tuntevat laitteen ja osaavat tehdä oikeat ohjelmat. Robotin moninainen käyttö olisi helpompaa, jos robottiin laaditaan sosiaalinen käyttöliittymä, joka tunnistaa käyttäjän ja käyttäjän osaamisen. Robotin tulisi tunnistaa käyttäjän tunnetila, esimerkiksi kokeeko käyttäjä epävarmuutta robotin ohjelmoinnissa. Jos robotti toteaa, että käyttäjä on epävarma ohjelman tekemisessä tai yleensäkin robotin käyttämisessä, robotti ohjaa, neuvoo ja tekee varmistuksia. Jos robotti toteaa, että käyttäjällä ei ole lainkaan edellytyksiä laitteen käyttöön, se ei ota tehtyä ohjelmaa vastaan. Sosiaalinen käyttöliittymä voi tunnistaa ilmeitä, eleitä ja puhetta. Robotin tekninen käyttöliittymä voi tunnistaa syötetyn koodin ja siinä olevat epäloogisuudet. Näiden yhteistuloksena robotti voi päätellä, onko käyttäjä kokenut ammattilainen, harjoittelija tai henkilö, joka ei saisi käyttää konetta.

7.1 Robotti-ihminen vuorovaikutuksen tulevaisuus

Robotti-ihminen vuorovaikutuksen edistämiseksi tarvitaan nopeita, turvallisia, kustannustehokkaita ja luotettavia robotteja (Hollerbach et al 2008). Se tarkoittaa robotteja, joissa on korkea suorituskyky painoonsa nähden, turvallinen käyttöliittymä, kestävä rakenne, riittävä reagointinopeus ja tehokkuus. Nykyiset robotin toimilaitteet, aktuaattorit, ovat painavia ja rajoittuneita tekemään vain tiettyjä toimintoja. Tulevaisuuden robotilta odotetaan muuntautumiskykyä, käyttövarmuutta ja turvallisuutta.

Mobilisoitujen robottien energiankulutus on yksi tärkeä tulevaisuuden pullonkaula, joka pitää ratkaista. Vaihtoehtoina on kehittää rakenteellisesti kevyitä, mutta toiminnallisesti tarkkoja robotteja. Yhtenä vaihtoehtona on myös käyttää perinteisen akku ja sähkömoottori kokonaisuuden sijasta kemiallista energiaa, monopropellantteja (Hollerbach et al 2008). Niiden ongelmana on turvallisuus ja kemikaalien käsittelyyn liittyvät riskit (Hollerbach et al 2008). Energiakenttien käyttöä robottien energialähteenä tutkitaan, mutta ei ole mitään varmuutta, että siitä tulisi vallitseva teknologia joka syrjäyttäisi lithium- akut. Wilkinson (2000) on ideoinut jopa mikrobeja hyödyntävän polttokennon autonomisen robotin energialähteenä (Kuva 31). Jos Wilkinsonin (2000) ajatukset ja tutkimukset edistyvät riittävän hyvin, meillä saattaa olla työpaikalla sosiaalinen robotti, joka tulee 'tankkaamaan' itsensä kahvitunnilla.



Kuva 31. Mikrobiologisesti kulkevan robotin prototyyppi. Lähde: Wilkinson, S. (2000)

Tulevaisuuden robottien materiaalit tulevat olemaan moninaisia. Uusien materiaalien ja rakenteiden kehittäminen mahdollistaa suorituskykyisten robottien rakentamisen keveistä ja pehmeistä materiaaleista, jotka ovat turvallisia robotille ja käyttäjille (Hollerbach et al 2008).

Tulevaisuuden strategia tähtää ihminen-robotti yhteistyössä automaattisiin sovelluksiin, jossa robotti oppii ihmisen toimintaa havainnoimalla ilman erillistä ohjelmointia (Hollerbach et al 2008). Sovelluksia voidaan käyttää mm. teollisuuden varastoissa ja asennustehtävissä. Oma sovelluskohteensa ovat robotit, jotka pelastavat tai suojelevat ihmisiä. Ne pystyvät kommunikoimaan ohjaajansa kanssa sekä myös keskenään. Sosiaalinen robotti voi olla sosiaalinen myös toiselle robotille.

Robotin autonomisessa toiminnassa ollaan vielä kaukana verrattuna ihmisen toimintaan (Hollerbach et al 2008). Tutkijat ovat kuitenkin hahmottaneet, että tulevaisuudessa työntekijää avustava teollisuusrobotti voisi itsenäisesti valita ja suorittaa uuden työtehtävän ilman erillistä ohjelmointia (Hollerbach et al 2008). Liikenne- ja logistiikkaratkaisuissa voisi sovelluksena olla itsenäiseen päättelyyn kykenevä robotti, joka osaa ongelmatilanteessa valita toisen reitin tai ilmoittaa matkustajille, että pitää vaihtaa kulkuneuvoa. Autonomisen robotin tulee ymmärtää

ympäristönsä kontekstit ja visuaalisen informaation semantiikka, jotta se osaa tehdä oikeita päätöksiä muuttuvassa ympäristössä.

Avainasiana robotiikan tulevaisuudessa on ihmistä avustavien robottien luotettavuus ja kestävyys (Hollerbach et al 2008). Robotiikan suunnittelijoilta se edellyttää kehittyneiden ohjelmien luomista, virhetoimintojen ymmärtämistä ja vikatilojen automaattisen korjauksen ohjelmoimista. Ailahtelevainen, itseään jatkuvasti 'buuttaava' sosiaalinen robotti ei kiinnosta käyttäjiä kovin pitkään. Robotin tulisi myös uudistua, olla yllätyksellinen positiivisessa mielessä ja osata tulkita reaaliaikaisesti ihmisen viestintää.

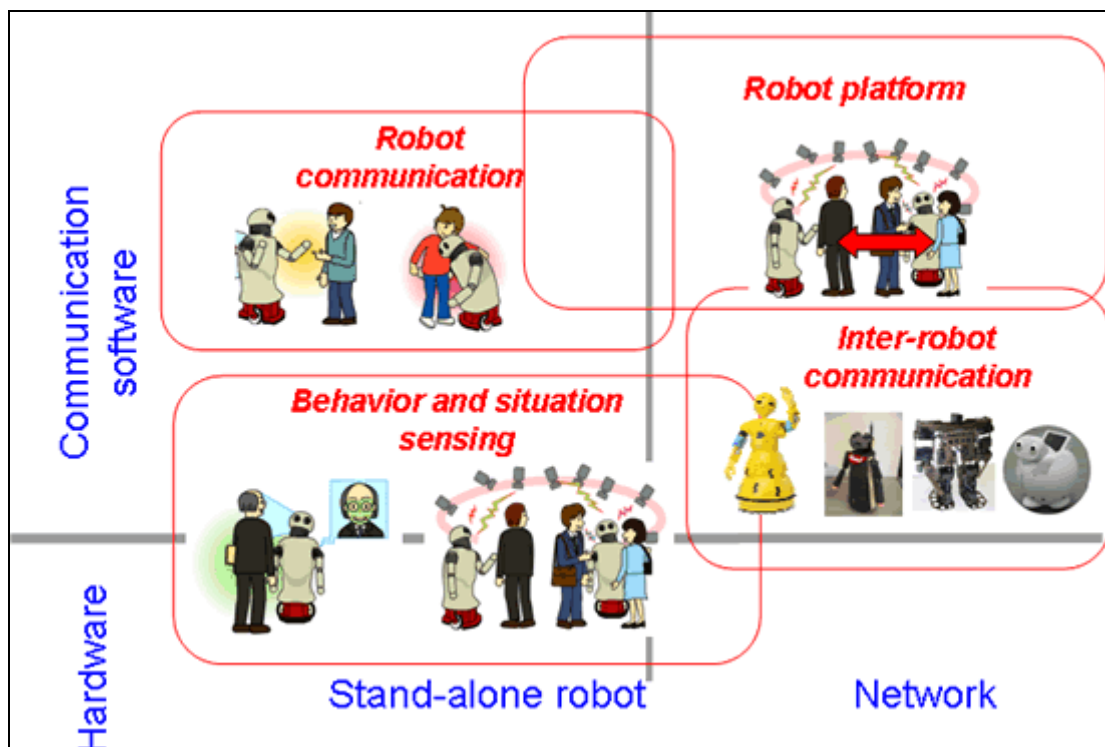
8 Johtopäätökset

Sosiaalinen robotiikka kiinnostaa ihmisiä joka puolella maailmaa. Sosiaalisen robotiikan määritelmä on vielä vähän hämmentävä ja usein se sekoitetaan palvelurobotiikkaan. Palveluroboteissa ei tarvitse olla yhtään sosiaalisen kanssakäymisen muotoa, kuten puheentunnistusta tai käyttäjän mielialan tunnistamista. Palvelurobotit ovat suunniteltu tekemään tietty tyotehtävä, esimerkiksi leikkaamaan nurmikko tai kuvaamaan maan alla olevan putkilinjan kunto. Palvelurobotteja on kehitelty myös palvelemaan ihmisiä, ottamalla esimerkiksi ruokatilaus vastaan tai tankkaamaan auto (Kuva 32).
















Kuva 32. Auton tankkausrobotti. REIS Robotics:n ensimmäinen palvelusovellus. Lähde: <http://www.reisrobotics.de/reisrobotics/us/Reis+Robotics/HISTORY.html>

Robottiikan tutkimusta tekevien tutkimuslaitosten ja yliopistojen tutkimusalueet ovat vielä aika hajanaiset, tai tarkka rajanvetoa siitä, mihin kategoriaan robottitutkimukset kuuluvat ei ole määritelty. Tunnettu japanilainen ATR tutkimuslaitos esimerkiksi on ryhmitellyt verkottuneiden robottien projektissaan robotit kuvan 33 mukaisesti neljään lokeroon (ATR 2012). Guizzo (2010) on luokitellut lapsia jäljittelevät robotit niiden ulkonäön ja toiminnallisuuden mukaisesti kuvan 34 mukaiseen matriisiin. Samaa analogiaa voisi soveltaa työntekijää avustavien sosiaalisten robottien luokittelussa.



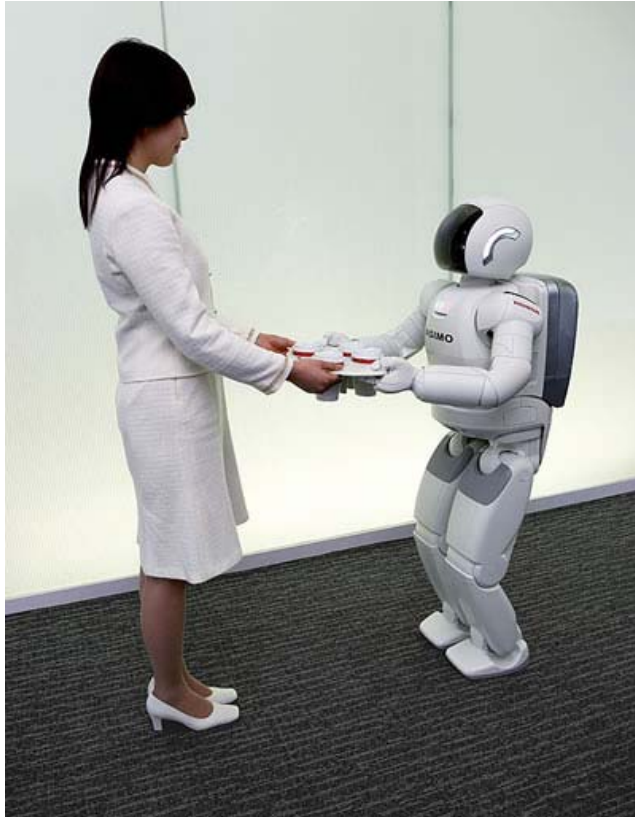
Kuva 33. Robottiikan luokittelua käyttötarkoituksen mukaan. Lähde: ATR.
[<http://www.irc.atr.jp/ptNetworkRobot/networkrobot-e.html>]

		ADVANCED CAPABILITIES			
ROBOTIC APPEARANCE	 <p>NAO is a little French humanoid created by Aldebaran Robotics. It talks, tracks faces, and with 25 degrees of freedom, it can even perform Michael Jackson choreography.</p>	 <p>NEXI is the size of a 3-year-old child and was conceived at MIT's Media Lab. With a 15-degree-of-freedom face, this little social bot can show you when it's happy, sad, mad—or bored.</p>	 <p>ICUB has multiple parents—11 European robotics labs. The size of a 3½-year-old, it's learning to walk, talk, and handle objects. It's probably the most advanced—and expensive—artificial child ever built.</p>	 <p>DIEGO-SAN is the progeny of roboticists at the University of California, San Diego, and the Japanese firm Kokoro Co. They're teaching it to walk and hold objects—and they're also designing a smaller head.</p>	HUMAN APPEARANCE
	 <p>M3-NEONY is an Osaka University offspring. The robot has 90 tactile sensors, 22 motors, 2 cameras, a compact computer, and a fancy name. M3 stands for "man-made man."</p>	 <p>SIMON is the child of Georgia Tech researchers. This social robot has an expressive face, articulated torso, dexterous hands, and supercute ears.</p>	 <p>CB2 was born at Osaka University, in Japan. This robot mimics how infants learn by interacting with the world. And with 51 pneumatic actuators, it's powered by air.</p>		
	 <p>ZENO is a small, cartoon-like humanoid designed at Hanson Robotics, in Richardson, Texas. It talks, understands speech, and can learn names and faces. It also has big green eyes that look as if they're ready to shoot lasers.</p>	 <p>KOJIRO is a very special mechanical child built at the University of Tokyo. It has a flexible spine and a body that mimics our musculoskeletal system. Added bonus: You can control it with a PlayStation joystick.</p>	 <p>ROBOTINHO is the mechanical child of engineers at the University of Bonn, in Germany. They use the robot as a museum guide—and also to play robot soccer.</p>	 <p>REPLIEE R1 is a copy of a real 4-year-old girl. Built at Osaka University, it has nine DC motors in its head, prosthetic eyeballs, and silicone skin. Opinions on how cute it is are mixed.</p>	
	 <p>YOTARO is a baby robot that giggles, cries, and simulates a runny nose—but <i>not</i> a spilled diaper. Researchers at the University of Tsukuba, in Japan, designed it to show how rewarding babies can be. Really.</p>	 <p>REALCARE BABY is a lifelike doll by Realityworks, in Eau Claire, Wis. You have to feed, burp, rock, and diaper the cyberinfant around the clock or it will cry—a real, recorded baby cry.</p>			
		LIMITED CAPABILITIES			

Kuva 34. Robottien luokittelua ulkonäön ja toimintakyvyn mukaan. Lähde: Guizzo (2010).

Keskusteluissa tutkijoiden ja muiden asiantuntijoiden sekä teollisuuden edustajien kanssa herää ensimmäisenä kysymys siitä, onko tavoitteena tehdä virtuaalinen robotti vai fyysinen laite. Virtuaalisen robotin toteuttaminen on paljon helpompaa kuin mekaanisen robotin valmistaminen. Toisaalta virtuaalinen robotti ei ole mobiili, ellei siinä ole sellaista älykkyyttä, että se osaa tulla oikeaan kuvaruutuun työpaikalla työntekijää seuraten. Toinen kysymys joka askarruttaa ihmisiä on robotin ulkomuoto. Siitäkin on olemassa useita määritelmiä, joita käytetään ristiin tai ainakin hyvin sekavasti. Ihmisiä jäljittelevistä roboteista käytetään usein samassa tarkoituksessa sanoja humanoidi tai androidi, vaikka niiden välillä on vivahde-ero. Humanoidi-robotti voi olla ihmisenkaltainen kahdella jalalla etenevä robotti tai vain torso, jolla on

robottikädet. Esimerkiksi Hondan kehittämä ASIMO (Kuva 35) on humanoidi-robotti. Androidi on ihmisen ulkonäköä jäljittelevä robotti, jonka tavoitteena on sulautua ihmisjoukkoon. Esimerkiksi Geminoid F (Kuva 36) on androidi.

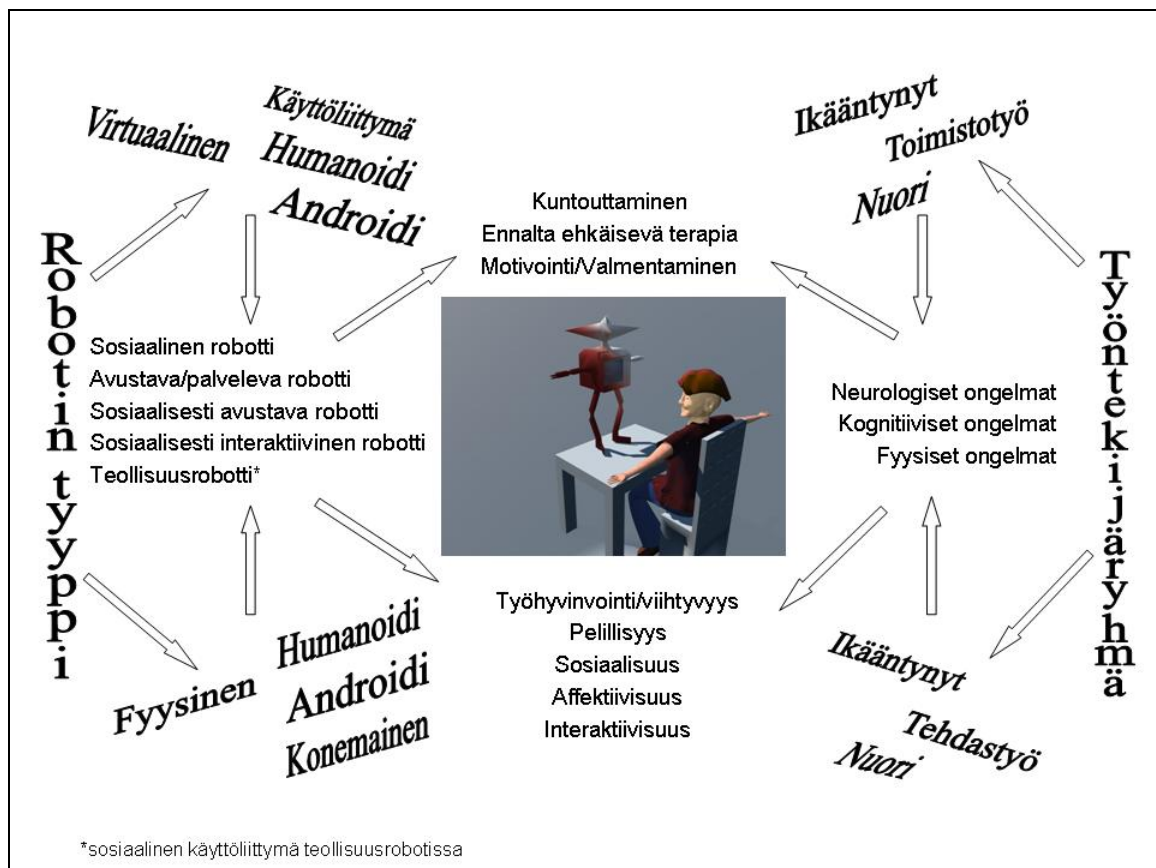


Kuva 35. Hondan kehittämä humanoidi-robotti ASIMO. Lähde: <http://www.gearfuse.com/japan-drafting-new-advanced-robotics-rules-asimovs-laws-of-robotics-becoming-a-reality/>



Kuva 36. Androidi-robotti Geminoid F. Lähde: <http://pinktentacle.com/tag/kokoro/>

Työntekijää avustavan sosiaalisen robotiikan luokittelussa voisi olla hyödyllistä pohtia, mihin käyttötarkoitukseen robottia tarvitaan, mikä on kohderyhmä ja minkälaisella robottisovelluksella haluttu hyöty saadaan aikaan (Kuva 37). Robotiikkaa hyödynnetään terapiassa, mutta sitä voidaan käyttää myös ennaltaehkäisevässä terveydenhuollossa esimerkiksi ikääntyneen työntekijän kognitiivisten toimintojen motivoijana tai uusien asioiden opettamisessa. Sosiaalista robotiikkaa voidaan hyödyntää myös stressin ja masennuksen oireiden hoitamisessa.



Kuva 37. Sosiaalisen robotiikan luokittelua

Sosiaalisen robotiikan osalta ei tule unohtaa myöskään robotin tuomaa mielihyvän tunnetta, sosiaalisia ja interaktiivisia elementtejä tai viihteellistä pelillisyyttä. Nämäkin vaikuttavat positiivisesti robotin käyttäjän mieleen, motivaatioon ja kiinnostukseen käyttää robottisovellusta uudelleen.

Kun organisaatio on selvittänyt, mitä robotiikan avulla hoidettavia tai kehitettäviä asioita työntekijöillä on, seuraava tehtävä on suunnitella 'roadmap' sosiaalisen robotiikan hyödyntämiseksi. Vaihtoehtoisia reittejä on useita, riippuen tavoiteltavista tuloksista ja ratkaistavista ongelmista. Organisaation tuottavuuden kehittäminen, terveystalokustannusten vähentäminen ja työntekijän toimintakyvyn ylläpitäminen ovat kuitenkin jokaisen reitin kohdalla taustalla olevia tekijöitä. Esimerkiksi, uuden työntekijän perehdyttämisessä työstökoneen käyttämiseksi voitaisiin käyttää työstökoneeseen integroitua sosiaalista käyttöliittymää, joka osaa arvioida uuden työntekijän osaamisen ja kokemuksen työntekijän ilmeistä, eleistä ja vastauksista. Toisena esimerkkinä voisi olla ikääntynyt työntekijä, jonka fyysiset voimavarat ja ajoittain myös heikentynyt muisti eivät mahdollista täyden työpanoksen antamista. Sellaisessa tilanteessa voisimme käyttää apuna sosiaalista robottia tai sosiaalisesti

avustavaa robottia, riippuen siitä, miten paljon työntekijä tarvitsee fyysistä apua. Alentuneeseen työkykyyn ja muistiongelmien liittyen on hyvä huomioida, että tilanne on stressaava myös työntekijälle itselleen. Usein ajatellaan vain, että yritys kärsii tappiota tai menettää tuottavuutta, kun työntekijät eivät ole täysin työkykyisiä, mutta masentava tunne on myös työntekijän puolella.

Sosiaalisen robotiikan interventiotutkimuksia ei ole tehty työikäisten osalta, johtuen siitä, että sosiaalinen robotiikka on nuori tutkimusalue, johon liittyy useita eri tieteenalvoja. Monitieteisen ryhmän kasaaminen ja mielenkiintoisen empiirisen tutkimusasetelman laatiminen ovat haastavia teollisuusympäristössä verrattuna esimerkiksi päiväkodissa olevien autististen lasten tutkimiseen.

Yritysten kansainvälisen kilpailukykyyn ylläpitäminen ja kansantalouden kehittäminen vaativat kuitenkin, että organisaatioiden tuottavuutta tulee kehittää ja terveyskustannuksia alentaa. Inhimilliset näkökulmat puoltavat, että jokaisen työikäisen tulisi saada olla terveenä ja työkykyisenä koko työuransa ajan. Vaatimuksena se on aika kova, mutta periaatteena on, että teknologian avulla voisimme auttaa niitä, jotka haluavat nopeasti kuntoutua sairauden jälkeen työelämään takaisin, ja niitä, jotka haluavat pysyä työelämässä mahdollisimman pitkään. Teknologisesti kehittyneenä maana voimme hyödyntää yritysten, tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen osaamista ja kehittää työikäisille sosiaalisen robotiikan sovelluksia, joilla saadaan kilpailuetua muihin maihin verrattuna. Sosiaalisen robotiikan käyttämiselle työntekijän apuna ei ole lainsäädännöllistä estettä, kun otetaan huomioon robotin ominaisuudet. Työntekijää fyysisesti avustavien robottien käyttö tulee yleistymään lähitulevaisuudessa, kun tutkimuslaitokset viranomaiset saavat lisää empiirisiä tutkimustuloksia. Esimerkiksi saksalaiset ovat parhaillaan tutkimassa robottien ja ihmisten yhteistyötä. Tietotekniikan komponenttien, kuten sensoreiden ja prosessorien nopea kehittyminen mahdollistaa, että työntekijän kanssa samassa tilassa oleva robotiikka on turvallista ja luotettavaa. Sosiaalisen robotiikan hyödyntämiseksi tarvitaan vielä hyvää monialaista empiiristä tutkimusta, jossa saadaan selville sosiaalisen robotiikan hyödyt pitkällä aikavälillä.

Lähteet

- Astandis (2012) Austrian Standards Institute.
[<https://www.astandis.at/shopV5/Preview.action;jsessionid=AB5A6DA2284E55145EE14FBF91546EE6?preview=&dokkey=405086&selectedLocale=en>]
- ATR (2012) ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories. IRC, Intelligent Robotics and Communication Laboratories. Kyoto, Japan.
[<http://www.irc.atr.jp/ptNetworkRobot/networkrobot-e.html>]
- Baerveldt, A.-J. (1992) "Cooperation between man and robot: interface and safety," Robot and Human Communication, 1992. Proceedings., IEEE International Workshop pp.183-187, 1-3 Sep 1992
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=253891&isnumber=6463>]
- Ball, R. (2004) Workplace Stress Sucks \$300 Billion Annually From Corporate Profits.
[<http://www.tmcnet.com/call-center/1104/cccrm1.htm>]
- Barker B., Ansorge, J. (2007) Robotics as Means to Increase Achievement Scores in an Informal Learning Environment. *Journal of Research on Technology in Education* 39(3), 229–243. ISTE (International Society for Technology in Education)
- Bogdan Rusu, R., Sundaresan, A., Morisset, B., Hauser, K., Agrawal, M., Latombe, J.-C., Betz, M. (2009) Leaving Flatland: Efficient real-time three-dimensional perception and motion planning. *Journal of Field Robotics*, 26: 841–862.
- Brock, O., Thomasmeyer, B., Christensen, H. (2008) The CCC workshop on service robotics. The Computing Community Consortium (CCC) study on Robotics 2008.
- Cannata, G., Maggiali, M., Metta, G., Sandini, G. (2008) An Embedded Artificial Skin for Humanoid Robots. *Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*. Seoul, Korea, August 20 - 22, 2008
- Christensen, H., Goldberg, K., Kumar, V., Trinkle, J. (2008) The workshop on manufacturing and automation robotics, June 17, 2008 in Washington, DC, USA. The Computing Community Consortium (CCC) study on Robotics.
- Connors, I. (2010) Keeping Manufacturing Strong in Minnesota. *Positively Minnesota Magazine*, October 2010. Minnesota Dpt. of Employment and Economic Development
[http://www.positivelyminnesota.com/Data_Publications/Economic_Trends_Magazine/October_2008_Edition/Keeping_Manufacturing_Strong_in_Minnesota.aspx]
- Cooper, C. (2008) Konferenssiesitys. Lontoo
[<http://www.enterprise-for-health.org/management-conference/london-october-2008/conference-publication-2008/>]
- Corke, P., Roberts, J., Cunningham, J., Hainsworth, D. (2008) "Mining Robotics". In: Siciliano, B. and Khatib, O., eds. *Springer Handbook of Robotics* : Springer; 2008; pp. 1127-1150.
- Critchley, H., Elliott, R., Mathias, C., Dolan, R. (2000) Neural Activity Relating to Generation and Representation of Galvanic Skin Conductance Responses: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*, 15 April 2000, 20(8): 3033-3040. [<http://neuro.cjb.net/content/20/8/3033.full>]

- Echelmeyer, W., Kirchheim, A., Wellbrock, E. (2008) Robotics-logistics: Challenges for automation of logistic processes. Automation and Logistics, 2008. ICAL 2008. IEEE International Conference
- Eriksson, J., Mataric, M., and Winstein, C. (2005) Hands-off assistive robotics for post-stroke arm rehabilitation. In Proceedings of the International Conference on Rehabilitation Robotics, Chicago, IL, Jun-Jul 2005.
- Factorycontrol (2012) [http://www.factorycontrol.nl/userfiles/KUKA_Robocoaster.pdf]
- Fairfield, N., Urmson, C. (2011) "Traffic light mapping and detection," Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.5421-5426, 9-13 May 2011.
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5980164&isnumber=5979525>]
- Feil-Seifer, D., Mataric, M. (2005) "Defining socially assistive robotics," Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005. 9th International Conference on , vol., no., pp. 465- 468, 28 June-1 July 2005
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1501143&isnumber=32216>]
- Fukui, R., Shodai, M., Mori, T., Sato, T. (2007) Development of an intelligent container prototype for a logistical support robot system in living space. Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ
- GENELEC (2012) European Committee for Electrotechnical Standardization. Project : EN 50410:2008.
[http://www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:110:3612961856263131:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID,FSP_PROJECT:,25,15719]
- Greenberg, P., Kessler, R., Birnbaum H., et al. (2003) The economic burden of depression in the United States: how did it change between 1990 and 2000? J Clin Psychiatry. 2003 Dec;64(12):1465-75
- Grifantini, K. (2011 a) Workplace Robots Need a Better View. Technology Review. MIT. May 2011. [[ww.technologyreview.com/computing/37537/?nlid=4459&a=f](http://www.technologyreview.com/computing/37537/?nlid=4459&a=f)]
- Grifantini, K. (2011 b) Safer Robots Will Improve Manufacturing. Technology Review. MIT. July 2011. [<http://www.technologyreview.com/business/37949/>]
- Gogola, M., Barth, E., Goldfarb, M. (2002) "Monopropellant powered actuators for use in autonomous human-scaled robotics," Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on , vol.3, no., pp.2357-2362, 2002
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1013584&isnumber=21827>]
- Gorle, P. & Clive, A. (2011) Positive Impact of Industrial Robots on Employment. February 2011. Metra Martech Ltd.
[http://www.theengineer.co.uk/Journals/1/Files/2011/11/11/Metra_Martech_Study_on_robots.pdf]
- Guizzo, E. (2010) The Robot Baby Reality Matrix. Some robot babies look real. Some act real. A few do both. IEEE Spectrum. White Paper. July 2010.
[<http://spectrum.ieee.org/robotics/humanoids/the-robot-baby-reality-matrix>]

- Guizzo, E. (2011) Obama Commanding Robot Revolution, Announces Major Robotics Initiative. IEEE Spectrum, Robotics.
[<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/obama-announces-major-robotics-initiative>]
- Haddadin, S., Albu-Schäffer, A., Hirzinger, G. (2010)"Soft-tissue injury in robotics," Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.3426-3433, 3-7 May 2010
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5509854&isnumber=5509124>]
- Hadhazy, A. (2010) Self-Driving Cars Could See Like Humans. Live Science. April 2010.
[<http://www.livescience.com/6310-driving-cars-humans.html>]
- Heartland Robotics (2012) Vision. Machines and man, working side-by-side.
[<http://www.heartlandrobotics.com/vision.html>]
- Hall, M., Vasko, R., Buysse, D., Ombao, H., Chen, Q., Cashmere, D., Kupfer, D., Thayer, J. (2004)Acute Stress Affects Heart Rate Variability During Sleep. Psychosomatic Medicine 66:56-62 (2004).
- HHS. (2012) The Department of Health and Human Services, U.S. Food and Drug Administration Viitattu 3.1.2012. [<http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationSafety/ElectromagneticCompatibilityEMC/ucm116647.htm>]
- Hietikko, M., Malm, T., Alanen, J. (2009) Koneiden ohjaujärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Ohjeita ja työkaluja standardien mukaisen turvallisuusprosessin luomiseen. VTT Tiedotteita 2485. Espoo 2009. [<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2485.pdf>]
- Hirukawa, H., Kanehiro, F., Kaneko, K., Kajita, S., Fujiwara, K., Kawai, Y., Tomita, F., et al. (2004). Humanoid robotics platforms developed in HRP. Robotics and Autonomous Systems, 48(4), 165-175.
[<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921889004000946>]
- Hollerbach, J., Mason, M., Christensen, H. (2008) The CCC Workshop on Emerging Technologies and Trends. August 2008 at Snobird, Utah, USA. The Computing Community Consortium (CCC) study on Robotics.
- Hoshi, T., Shinoda, H. (2006) "Robot Skin Based on Touch-Area-Sensitive Tactile Element" Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation Orlando,Florida - May 2006.
- IAAPA (2012) The International Association of Amusement Parks and Attractions.
[<http://www.iaapa.org/europe/Safetylegislation.asp>]
- IFR (2012) International Federation of Robotics. Service Robots. Provisional definition of Service Robots. [<http://www.ifr.org/service-robots/>]
- Ikeda, H., Heinke, B., Ruscheweyh, R., Sandkühler, J. (2003) Synaptic plasticity in spinal lamina 1 projection neurons that mediate hyperalgesia. Science, 299, 1237 - 1240.
- Intel Corporation (2012) Backgrounder. Robots: Artificial Agents Get Real. Intel's Embedded Technology Brings Robots to Life.
[http://download.intel.com/newsroom/kits/embedded/pdfs/Robotics_Backgrounder.pdf]

- ISO (2012) International Organization for Standardization.
[http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53820]
- Jockusch, J., Walter, J., Ritter, H. (1997) "A Tactile Sensor System for a Three-Fingered Robot Manipulator", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3080-3086, 1997.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E., Seniut, M., Dzemyda, G., Stankevici, V., Simkevičius, C., Stankevici, T., et al. (2011) Web-based Biometric Computer Mouse Advisory System to Analyze a User's Emotions and Work Productivity, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 24, Issue 6, September 2011, Pages 928-945, ISSN 0952-1976, [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197611000662>]
- Kawada Industries (2012) Next-Generation Industrial Robot NEXTAGE. Special Features. [<http://global.kawada.jp/mechatronics/nextage.html>]
- King, A., Yang, K., Zhang, L., Hardy, W., Viano, D. (2003) Is head injury caused by linear or angular acceleration? In Proceedings of International Conference of Biomechanics of Impact (IRCOBI), Portugal.
- Kozima, H., Nakagawa, C., Yasuda, Y. (2007) Children–robot interaction: a pilot study in autism therapy, In: C. von Hofsten and K. Rosander, Editor(s), Progress in Brain Research, Elsevier, 2007, Volume 164, Pages 385-400.
[<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612307640217>]
- Kuivanen, R., Malm, T., Määttä, T., Suominen, J., Tiusanen, R. (1988) Safety equipment for human detection. Tiedotteita / Valtion teknillinen tutkimuskeskus : 867. Espoo
- Laine, E., Latokartano, J., Malm, T., Salmi, T., Vihinen, J. (2007) Vuorovaikutteisen robotiikan uudet tekniikat, SAS julkaisusarja nro 34, ISBN 9789525183337, 2007.
- Lenz, C., Nair, S., Rickert, M., Knoll, A., Rosel, W., Gast, J., Bannat, A., Wallhoff, F. (2008) "Joint-action for humans and industrial robots for assembly tasks," Robot and Human Interactive Communication, 2008. RO-MAN 2008. The 17th IEEE International Symposium. pp.130-135, 1-3 Aug. 2008
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4600655&isnumber=4600621>]
- Lo A., Guarino P., Richards L., Haselkorn, J., Wittenberg, G., Federman, D., et al. (2010) Robot-Assisted Therapy for Long-Term Upper-Limb Impairment after Stroke. N Engl J Med 2010; 362:1772 – 1783 [<http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMoa0911341>]
- Malm, T., Kivipuro, M., Tiusanen, R. (1998) Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus. VTT tiedotteita. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tampere
[<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1938.pdf>]
- Malm, T., Viljanen, A. (toim.) (2003) Suojaustekniikan käsikirja. Tekninen tiedotus 6/2003. Teknoliiteollisuus ry, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Helsinki 2003
- Malm, T. (toim.) (2008) Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Suomen robotiikkayhdistys Ry. ISBN 978-951-97329-4-7

- Mataric', M., Okamura, A., Christensen, H. (2008) the workshop "A Research Roadmap for Medical and Healthcare Robotics", June 19-20, 2008 in Arlington, Virginia, USA. The Computing Community Consortium (CCC) study on Robotics.
- McFarland, R. (1985) Relationship of skin temperature changes to the emotions accompanying music. *Biofeedback Self Regul*, 10 (3) (1985), pp. 255–267
- Mertz, H., Hodgson, V., Murray Thomas, L., Nyquist, G. (1978) An assessment of Compressive Neck Loads Under Injury-Producing Conditions, *The Physician and Sport Medicine*, November 1978.
- Nakata, A., Ikeda, T., Takahashi, M., Haratani, T., Hojou, M., Fujioka, Y., Swanson, N., Araki, S. (2006) Impact of psychosocial job stress on non-fatal occupational injuries in small and medium-sized manufacturing enterprises. *American Journal of Industrial Medicine*, 49: 658–669.
- NAP (2007) *Rising Above The Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future*. The National Academies 2007.
[<http://www.utsystem.edu/competitive/files/RAGS-fullreport.pdf>]
- Nof, S (Ed.). (1999) *Handbook of Industrial Robotics*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-17783-0
- Okumura, Y., Higuchi, T. (2011) Cost of depression among adults in Japan. *Prim Care Companion CNS Disord*. 2011;13(3)
- OSHA (2012) *Stress in Europe*. [http://osha.europa.eu/en/topics/stress/index_html]
- Owensworth, T., Shum, D. (2008) Relationship between executive functions and productivity outcomes following stroke. *Disabil Rehabil*. 2008;30(7):531-40.
- Park, Y.-L., Chen, B.-R., Wood, R. (2011) Soft Artificial Skin with Multi-Modal Sensing Capability Using Embedded Liquid Conductors, *IEEE Sensors Conference*, Limerick, Ireland, Oct. 2011.
[http://people.seas.harvard.edu/~yelpark/publications/Park_Sensors11.pdf]
- Raade, J., Kazerooni, H. (2005) "Analysis and design of a novel hydraulic power source for mobile robots," *Automation Science and Engineering*, *IEEE Transactions on* , vol.2, no.3, pp. 226- 232, July 2005
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1458715&isnumber=31395>]
- Rosch, P. (2001) *Health And Stress: The Newsletter of the American Institute of Stress*. No. 3
- Sauser, B. (2010) *A Giant Leap for Humanoid Kind*. *Technology Review*. MIT. February 2011. [<http://www.technologyreview.com/computing/24523/>]
- Schraft, R., Meyer, C., Parlitz, C., Helms, E. (2005) "PowerMate – A Safe and Intuitive Robot Assistant for Handling and Assembly Tasks," *Robotics and Automation*, 2005. *ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on* , vol., no., pp. 4074- 4079, 18-22 April 2005
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1570745&isnumber=33250>]

- Sewell, C., Blevins, N., Peddamatham, S., Tan, H. (2007) "The Effect of Virtual Haptic Training on Real Surgical Drilling Proficiency," EuroHaptics Conference, 2007 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2007. pp.601-603, 22-24 March 2007
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4145256&isnumber=4145131>]
]
- SFS (2012) SFS-Käsikirja 29-2. Kuljettimet. Osa 2: Kuljettimien komponentit, kuljetushihnat, kuljetinketjut ja ketjupyörät. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki.
[http://www.sfs.fi/julkaisut/sfs_julkaisut/sfs_kasikirjat/kk29_2.html]
- Sherk, J. (2010) Technology Explains Drop in Manufacturing Jobs. Backgrounder, no.2476, October 2010. The Heritage Foundation.
[http://thf_media.s3.amazonaws.com/2010/pdf/bg2476.pdf]
- Siirilä, T., Pahkala, J. (1999) EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus, Fimtekno Oy, Helsinki, Otavan kirjapaino Oy, Keuruu, 1999.
- Sobocki, P., Jönsson, B., Angst, J., Rehnberg, C. (2006) Cost of depression in Europe. J Ment Health Policy Econ. 2006 Jun;9(2):87-98
- Someya, T., Sekitani, T., Iba, S., Kato, Y., Kawaguchi, H., Sakurai, T. (2004) "A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Volume 101, Issue 27, pp. 9966-9970
- Strokeback (2012). [http://www.strokeback.eu/project_motivation.html]
- Strokecenter (2012) [<http://www.strokecenter.org/patients/about-stroke/stroke-statistics/>]
- Strother, J. (2011) South Korean Students Learn English from Robot Teacher. March 2011. Voice of America. [<http://www.voanews.com/english/news/asia/South-Korean-Students-Learn-English-from-Robot-Teacher-117640783.html>]
- Trafton, A. (2010) Robotic therapy helps stroke patients regain function. MIT News.
[<http://web.mit.edu/newsoffice/2010/stroke-therapy-0419.html>]
- Tsetserukou, D., Neviarouskaya, A., Prendinger, H., Kawakami, N., Tachi, S. (2009) "Affective haptics in emotional communication," Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009. 3rd International Conference.
[<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5349516&isnumber=5349257>]
]
- TU (2012) Technische Universität Dortmund. Faculty of Mechanical Engineering. Industrial Robotics and Production Automation (IRPA). [<http://www.irpa.mb.tu-dortmund.de/cms/en/Research/Projects/rorarob/index.html>]
- UMDN (2012). University of Medicine & Dentistry of New Jersey. Newark. New Jersey. US.
[<http://www.theuniversityhospital.com/stroke/stats.htm>]
- Wessel, R. (2008) At Glass Factory, RFID Boosts Worker Safety and Productivity.
[<http://www.rfidjournal.com/article/view/4476>]

- Wilkinson, S. (2000) “Gastrobots”—Benefits and Challenges of Microbial Fuel Cells in Food Powered Robot Applications. *Autonomous Robots* 9, 99–111, 2000
- Yoganandan, N., Pintar, F., Boyton M., Begeman, P., Prasad, P., Kuppa, S., Morgan, R., Eppinger, R. 1996. *Dynamic Axial Tolerance of the Human Foot-Ankle Complex*, 962426, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA.

Liite 1: Robotiikan turvatekniikkaa

Valokytkimet

Yleisesti käytetään infrapuna-alueella toimivia ledejä. Lähetin-vastaanotin systeemi. Optiset anturit ovat yksittäisiä antureita, jotka kytketään logiikkaan, jotta ne toimisivat. Antureissa on myös itsediagnostiikka, joka ongelmatilanteessa estää anturin toimimisen (Malm 2008).

Valoverho

Yhteen säteeseen perustuva valokytkin soveltuu kulkuaukkojen valvontaan. Valoverho soveltuu raajojen pääsy koneen työalueelle. Valonsäteiden minimietäisyyksistä on ohjeet (sormet 14 mm. käsi 30mm ja keho 40mm.) (Malm et al 1998). Valoverhon vastaanottimen ja lähettimen välinen etäisyys voi olla jopa 50 metriä. Valoverhon reagointiaika on valmistajan mukaan vain muutamia millisekunteja. (Malm 2008). Valoverholle voidaan opettaa hyväksyttävän kappaleen aiheuttamat valonsäteen katkeamiset lähettimen ja vastaanottimen välillä. Kaikki siitä poikkeavat kappaleet aiheuttavat pysäytyskäskyn (Malm 2008).

Tuntomatot

Mekaaniset kytkimet ovat yleisesti käytettyjä turvalaitteita. Ne ovat yksinkertaisia ja luotettavia. Mattojen pitää täyttää standardissa SFS-EN 1760-1 asetetut vaatimukset (reagointiaika, staattisen kuormituksen kesto, vaadittava toimintavoima) (Kuivanen et al 1988).

Yleisesti käytetty tekninen ratkaisu on sähköisen piirin sulkeutuminen. Maton asetuksessa tulee huomioida etäisyydet, jotta kone ehtii pysähtymään ennen kuin ihminen ehtii koneen vaara-alueelle. Laskennassa käytetään kävelynopeutta 1,6 m/s. (Malm et al 1998)

Suojaportit

Aidatun robotin turvallisuus varmennetaan robotin ohjaukseen liitetyillä rajakytkimillä. Rajakytkimen suunnittelussa pitää ottaa huomioon robotin liike-energia ja pysähtymiseen tarvittava aika. Turvallinen vaihtoehto on erillinen kytkin, jota painaessa saa mahdollisuuden avata suojaportti. Tai vaihtoehtoisesti anturi, joka kertoo, että kone on pysähtynyt. Kytöntä painaessa, robotti voisi jo siinä vaiheessa lopettaa toiminnan. Robotti ei saa lähteä käyntiin itsestään, kun turvaportti suljetaan. (Siirilä & Pahkala 1999)

Suojaportteissa voidaan käyttää myös koodattuja magneetteja. Turvakytkimiin liittyvät normit ovat hyvällä tasolla ja varmistavat, että aidattu robotti ei aiheuta vaaraa, kun portti avataan (Malm 2008)

Turvalaserskanneri

Laserskanneria voidaan käyttää ihmisen havaitsemiseen. Sitä voidaan käyttää myös valoverhon sijasta (Siirilä & Pahkala 1999). Toiminta perustuu lähetetyn valonsäteen paluuaikaan (Malm 2008).

Turvaskannereiden resoluutio on pienimmillään 30 mm. Resoluutiovaatimus ihmisen havaitsemiseksi on 70 mm (SFS-EN ISO 10218) (Malm 2008)

Ultraäänianturit

Antureina voidaan käyttää myös ultraääniantureita, jotka perustuvat lähetetyn äänen heijastumisen havaitsemiseen. Anturi kertoo kohteen etäisyyden anturista. (Malm et al. 1998). Ultraääniantureita häiritsevät muut ultraäänit, joita syntyy esim. hitsauksessa (Malm & Viljanen 2003). Ultraääni ei sovi ensisijaiseksi turvalaitteeksi (Malm & Viljanen 2003).

Passiivinen infrapunälähetin

Lämpösäteilyyn perustuvaa infrapuna-anturia voidaan käyttää tilojen valvonnassa, mutta turvalaitteena ne ovat liian epävarmoja (Malm & Viljanen 2003)

Keinoiho

Keinoiho on anturiverkko, joka tuntee siihen kohdistuvan paineen. Keinoiho voi aistia myös lämmön tai valon. Keinoihon soveltaminen on sidoksissa palvelurobotiikkaan ja ihmisen kaltaisiin robotteihin, androideihin. Teollisuusrobotiikassa keinoihon soveltaminen on vähäistä (Nof 1999). Keinoihoa käytetään pääasiassa humanoidi- ja androidirobottien tuntoaistissa ja koskettavan kappaleen, esimerkiksi käden muodon tunnistamisessa. (Cannata et al. 2008)

Keinoiho on yleensä valmistettu pehmeistä kumipohjaisista materiaaleista (Someya et al 2004). Viime aikoina tutkijat ovat rakentaneet humanoidien keinoihon silikonista. (Hoshi & Shinoda 2006) Tutkijat ovat kehitelleet myös uusia silikonista valmistettuja, sähköä johtavaan nesteeseen perustuvia keinoihoantureita (Park et al 2011)

Keinoihoa voidaan käyttää robotissa tartuntavoiman valvontaan, mutta yleensä nämäkin sovelluksen ovat palvelurobotiikan ratkaisuja (Joskus et al 1997). Keinoiholle ei ole olemassa turvallisuusstandardeja, joten sitä ei voida käyttää robottiturvallisuudessa (Malm 2008).

RFID

RFID on radiotaajuksinen turvakytin, jota voidaan käyttää turvalaitteena matalan riskitason kohteissa (Malm 2008). RFID teknologiaa voidaan käyttää myös henkilöiden tunnistamiseen ja esimerkiksi sairaalaympäristössä potilasturvallisuuden parantamiseen (HHS 2012) sekä teollisuuslaitoksen työturvallisuuden kehittämisessä (Wessel 2008).