

Tööstus 4.0 ja selle mõjud Eesti tööstusele ja haridusele



JÜRI RIIVES
Tallinna Tehnikaülikooli
professor,
IMECC juhatause esimees

Rahvapärased asjade internetiks nimetatud neljanda tööstusrevolutsiooni keskmesse tõusevad targad automatiseeritud töökohad ja mehhatroonika. Eesti on selles vallas rahvusvahelises konkurentsisis seni hästi toime tulnud, kuid arenguvõimalusi tuleks kasutada veelgi intensiivsemalt, kiirendades innovatsiooniprotsessi ja muutes õppetöö sisu.

Teadupärast on inimühiskond oma arengus jõudnud infoajastusse. Elame suurte muutuste ajajärgul. Tänapäeva globaalsed mõjutegurid on:

- ▶ demograafilised muutused (inimkonna vananemine ühelt poolt ja arvukuse kiire kasv teiselt poolt);
- ▶ globaliseerumine ja uute turgude kiire arenemine (Hiina, India, Brasiilia, Malaisia, Lõuna-Aafrika Vabariik, Austraalia jms);
- ▶ ressursside vähenemine (maavarad, fossiilsed kütused, vesi jms);
- ▶ kliimamuutused (globaalne soojenemine, ökosüsteemi riskid jt);
- ▶ innovatsiooni ja tehnoloogiliste muutuste plahvatuslik kasv (digitaliseerumine, nanostruktuurid,

vistuaaltehnoloogiad, arvutivõrgud, sensorsüsteemid, biomeditsiin jms);

- ▶ globaalne teadmuse kasv („pilvelahendused”, teadmusbaasid, ekspertsisüsteemid jms);
- ▶ personaallahendused (kiirprototüüpimine, kliendi soovidele vastavate toodete valmistamine jms).

Arengu kiire tempo on veel üks tänapäeva iseloomustav märksõna. Konkurentsivõime säilitamine ja jätkusuutlikkuse tagamine on muutunud äärmiselt oluliseks nii ettevõtetele, organisatsioonidele, regioonidele kui ka riikidele tervikuna. Regioonid püüavad konkurentsivõimet tagada oma tuntust ja tunnustust suurendades, kas siis turismi kaudu, rajades teaduslinnakuid või tekitades tootmisstruktuure ja klastreid. Sakslased ütlevad uhkusega, et nemad olid neljanda tööstusrevolutsiooni algatajad (ametliku nimetusega Industrie 4.0). Algatuse eesmärk oli nii Saksamaa kui ka kogu Euroopa konkurentsivõime ja tulemuslikkuse suurendamine. Uus tõus peab oluliselt muutma Euroopa positsiooni maailmaturul. Hüppelised muutused tähendavad ka täiesti uusi ärimudeleid, tootmisstruktuure ja insenerlikke lahendusi. Seetõttu muutusi, mis hakkavad aset leidma ühiskonnas ja tööstuses, kutsutakse ka neljandaks tööstusrevolutsiooniks.

Tööstusrevolutsioon on olemuselt muranguline ja pöördeline protsess tootmises, tehnoloogias, transpordis, materjalitehnika, tootmiskorralduses jms, mis avaldab olulist mõju kogu tootmise paradigmat ja kutsus esile olulisi muutusi ühiskonnas.

Tänapäeval päris ühest ja kõigi poolt heakskiidetud ning kooskõlastatud arusaama tööstusrevolutsioonide puhul ei olegi. 2014. aasta aprillis kuulutas Saksamaa riigikantsler Angela Merkel välja neljanda tööstusrevolutsiooni alguse (vt joonis 1). See leidis aset rahvusvahelise Hannoveri tööstusmessi avamisel. Algatust kureerivad ka Saksa riik, Saksa Majandus- ja Tehnoloogiaministeerium ning Haridus- ja Teadusministeerium. Projekt, kui seda niiviisi võib nimetada, on väga ambitsioonikas ning sellega on liitunud paljud teadusasutused ja ülikoolid, samuti mitmed tuntud tööstusettevõtted: Daimler AG, Festo AG&Co. KG, BMW AG, ABB Ltd, ThyssenKrupp AG, TRUMF GmbH&Co.KG jpt.

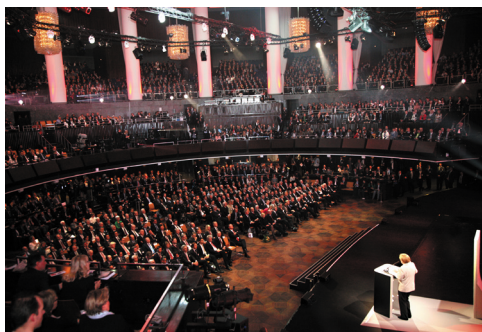
Mis see „Tööstus 4.0” siis on? Kas ja kuidas mõjutab see Eestit? On see hädavajalik või hoopis segane ja arusaamatu asi? Millised olid eelmised tööstusrevolutsioonid ja milles seisnes nende olemus? Need on usutavasti küsimused, mis tahaksid selgitamist ja vastuseid.

PILGUHEIT ÜHISKONDA MÕJUTANUD TÖÖSTUSREVOLUTSIOONIDELE. Tööstusrevolutsioonidest rääkides alustame algusest. Ühiskond on edasi liikunud nii evolutsiooniliselt kui ka revolutsiooniliselt. Inimühiskonna tegevuse algusperioodil oli domineeriv evolutsiooniline liikumine. Arengud muutuvad üha kiiremaks ja

seetõttu järjest sagedamini ilmnevad revolutsioonilised muudatused. Millised olid siis need eelmised kolm etappi, mis avaldasid mõju tööstusele ja muutsid inimühiskonda? **Esimene tööstusrevolutsioon** oli seotud aurumasina leiutamisega James Watti poolt 18. sajandi keskpaigas. Aurumasin aitas tööd mehhaniseerida ja masinat kasutati mitmesugustes rakendustes. Eelkõige võiks esile tuua auruveduri ja aurulaeva leiutamise ning tootmise mehhaniseerimise. Põllumajanduse osatähtsus hakkas vähenema ning siit sai alguse tööstuse võidukäik. Muutusid ka ühiskondlikud suhted. Haridus omandas uue väärtuse. Inseneriamet oli väga austusväärne.

Teise tööstusrevolutsiooni kulus juba hoopis vähem aega. 19. sajandi alguses võttis Henry Ford kasutusse automaatliinid, mis oligi tänapäevakeeles nn Tööstus 2.0 alguseks. Autotööstus on juba aegade algusest olnud kompleksse mehhaniseerimise ja automatiseerimise eestvedajaks. Nii ka automaatliinide oskuslik kasutamine Fordi autotehastes tegi võimalikuks masstootmise juurutamise ja tootlikkuse olulise kasvu. Tekkisid sotsiaal-majanduslikud süsteemid Fordism ja Taylorism.

Veelgi vähem kulus aega **kolmanda tööstusrevolutsiooni**. Võiks öelda, et selle tegelikuks käivitajaks olid inimeste järjest kasvavad vajadused ja soov omada



JOONIS 1. Kogu maailm saab teada uuest tööstusrevolutsioonist „Tööstus 4.0”

ikka huvitavamaid, ilusamaid ja funktsionaalsemaid ning järjest nutikamaid tooteid (mobiiltelefonid jms) ning võimsamaid tehnilisi lahendusi (nt tänapäeva autod). Fordi masstootmise süsteemid enam kliendikeskseks tootmiseks ei sobinud. Töösturitele tuli appi küberneetika. Siin on märgilise tähtsusega arvjuhtimisega tööpingid, programmeeritavad kontrollid, raalprogrammeerimine (CAD-xx), mikroprotsessorid (esimesed: Intel 4004 ja Intel 8008); automatiseeritud projekteerimise töökohad (UNIX; Unigraphics jpt); arvutivõrgud tööstuses. Kõige eelnimetatu integreeritud kasutamine viis kolmanda tööstusrevolutsiooni tekkeni 1980ndate alguses, mida kutsutakse arvutite abil tootmiseks (CIM – *Computer Integrated Manufacturing*).

Juba rohkem kui kolmkümmend aastat hiljem räägime uuest, **neljandast tööstusrevolutsioonist** – „Tööstus 4.0” (*Industry 4.0*). Praegu viimast tööstusrevolutsiooni kutsutakse asjade internetiks ja küberfüüsiliste süsteemide ajastuks (*Internet of Things and Cyber Physicals Systems*). Neljanda tööstusrevolutsiooni keskmesse tõusevad targad automatiseeritud töökohad, mis on võimalised suhtlema üle interneti ja lokaalvõrgustike ning iseseisvalt vastu

võtma asjalikke otsuseid. Robotite osatähtsus tootmises suureneb oluliselt. Robotiseeritud töökohad muutuvadki uute tootmissüsteemide kesketeks komponentideks. Neid on kerge ümber häälestada tootmise vajaduste järgi. Neid saab lülitada kiiresti tootmisvõrgustikesse ja varustada vajaliku informatsiooniga (*Plug & Produce*). Samas tekib suur vajadus tootmise pideva seire, olukordade ennustamise ja analüüsi ning tarkade otsuste vastuvõtmise järele tootmise eri tasanditel. Selleks siis ka uued andmehaldussüsteemid (*Big Data* ja *Cloud Computing*). Sellised lahendused annavad võimaluse kiiresti ümberkonfigureeritava tootmise teostamiseks, mis on täiesti jõukohane ka väikestele ja keskmise suurusega ettevõtetele (VKE). See omakorda on aluseks kliendikeskse tootmise korraldamisele (*mass customisation*) ja tagab ühiskonnas vajaduste parema rahuldamise.

Vajaduse neljanda tööstusrevolutsiooni järele põhjustasid ühelt poolt tööstustrateegiaga seotud muudatused ja teiselt poolt ühiskonna uued vajadused. Ka raalintegreeritud tootmise (CIM) praktiline realiseerimine põhjustas teatavaid komplikatsioone. Olulisemad mõjud ja vastumõjud, mis algatasid neljanda tööstusrevolutsiooni, on toodud tabelis 1.

Tekkinud reaalsus	Tegelikud vajadused
Automatiseeritud tootmissüsteemide liialt kõrge maksumus	Madal maksumus
Suur keerukus	Lihtsus
Vajadus väga kõrgete kompetentsinõuete järele	Suur paindlikkus ja lihtne käsitus
Kättesaadav suurtele firmadele	Ka VKE-del peaks olema võimalus
Efektiivsuse saavutamiseks on vajalikud suured tootmiskogused	Suur paindlikkus ja lihtne ümberseadistatavus
Seeriaviisiline tootmine	Kliendile orienteeritud tootmine
Paindlik automatiseerimine, väga kõrge tootlikkus	Targad, robotite kasutamisele orienteeritud lahendused ka VKE-dele

TABEL 1. Neljanda tööstusrevolutsiooni tekke tehnilised mõjutegurid

Alates raalintegreeritud tootmise rakedamisest ja loogilistest edasiarengutest küber-füüsiliste tootmissüsteemide suunas, on mehhatroonika osatähtsus majanduses aina suurenenud. Ka tänapäeva tooted sisaldavad suures osas mehhatroonika komponente.

MEHCHATROONIKA TÄHTSUSE KASV.

Eelmise sajandi 60ndate keskpaigast alates hakkas küberneetika etendama tööstuses suurt rolli. Järjest keerulisemaks muutusid nii tooted kui ka tootmissüsteemid. Vaja oli olla tootlikum ja pakkuda ühiskonnale ikka suuremate võimalustega ja huvitava- maid tooteid. Termin „mehhatroonika“ esitas esimest korda Jaapani firma Yaskawa insener Tetsuro Mori 1969. aastal ja see hakkas kohe tegema kiiret võidukäiku.

Mehhatroonika on multidistsiplinaarne valdkond, mis ühendab masinaehituse, elektroonika ja infotehnoloogiat. Mehhatrooniliste süsteemidega on tänapäeval väga tihedalt seotud mikroprotsessorid, täppismehaanika, sensorid, arvutitehnika, automaatjuhtimine, elektrisüsteemid jms. Mehhatroonika on keeruline ja suuremas osas ka nn kõrgtehnoloogiline valdkond. Mehhatroonika tüüpilised rakendusvaldkonnad on kosmosetehnoloogia ja lennukitööstus; autotööstus; täppismehhanismide tootmine; süsteemide (ka tootmissüsteemide) tehnoloogia; meditsiini-aparatuuri tootmine; kaitsetööstus; seire-, mõõte- ja kontrolliseadmete tootmine; biomehhatroonika; kommunikatsioonitehnoloogia jms.

Mehhatroonika kui valdkonna iseloomustamiseks on üsna kõnekas ja asjalik Prantsuse standardi NF E01-010 keskne definitsioon, mis sätestab, et mehhatroonika on sünergia loov integratsioon mehaanikast, elektroonikast, juhtimisteooriast ja arvutiteadusest, mille rakendused leiavad aset kas tootearenduses või tööstuses eesmärgiga parandada ja optimeerida eri lahenduste funktsionaalsust.

Mehhatroonikat saab vaadelda korraga kolmelt omavahel seotud tasandilt:

- ▶ mehhatrooniline süsteem: mehhatroonika komponentidest (robotid, sensorid, täiturid, kontrollid jms) koosnev automatiseeritud süsteem;
- ▶ tööstusrobot kui mehhatroonilise süsteemi keskne komponent, aga samas ka iseseisev mehhatroonika valdkonna toode;
- ▶ konkreetne valmistatav toode robotiseeritud tootmissüsteemides, mis samuti võib olla seotud mehhatroonika valdkonnaga.

Mehhatroonika on multidistsiplinaarne valdkond, mis ühendab masinaehituse, elektroonika ja infotehnoloogiat.

Seda esitabki joonis 2. Sellist pilti, eri variatsioonides, võib kohata tänapäeva tootmisettevõttes. Ka Eestis on küllalt ettevõtteid, kes kasutavad robotiseeritud töökohti, automatiseeritud tootmissüsteeme ning IT lahendusi tootmises. Nende arv pidevalt suureneb ja ka kasutatavad süsteemid muutuvad järjest keerulisemaks.

Joonisel 2 näeme esiteks täisautomatiseeritud tootmissüsteemi, mis on puhas mehhatroonika rakendusvaldkond. Teiseks tööstusrobotid, mis on omakorda mehhatrooniliseks süsteemiks. Aegade alguses oli isegi teatav sünonüüm mehhatroonika ja roboti vahel. Tegelikult on mehhatroonika palju laiem, nagu tõestas ka eellesitatud nimistu mehhatroonika tüüpilistest rakendustest. Kolmas osa joonisel 2 on tarktoode ise, mida antud tootmissüsteemis tööstusrobotite abil valmistatakse. Tänapäeva targad tooted on samuti mehhatroonilised süsteemid, millele on kohased mehhatroonikale omased tunnused (mehhaanika, elektroonika ja infotehnoloogia). See tarkade



JOONIS 2. Mehhatrooniline süsteem

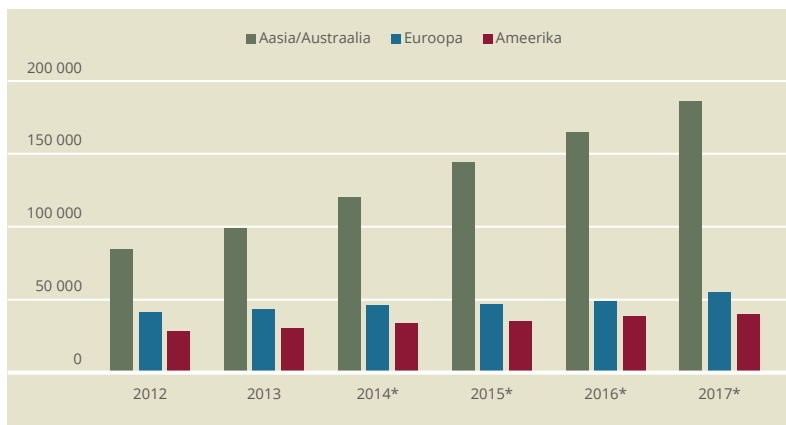
Allikas: Robotised Machine Tending

toodete nimistu on väga pikk ja tavaliselt me neid sellise lahtiarutava pilguga ei vaatle. Näitena võib tuua nutitelefone, moodsa televiisori, auto käigukasti, targa maja, meditsiiniaparatuuri, elektronmikroskoobi, auto. Peagi on raske leida tooteid, mis ei sisalda mehhatroonika komponente. Ka paljud tänapäeva mänguasjad on juba tüüpilised mehhatroonika valdkonna raketid. Selleks et neid tänapäeva mehhatroonilisi tooteid valmistada, kasutatakse üha rohkem tööstusroboteid.

ROBOTID MEIE ÜMBER. Robotite osatähtsus igapäevaelus ja tööstuses kasvab väga suure kiirusega. Võime öelda, et peagi on robotid täiesti meie ümber, seda nii otseses kui ka kaudses mõttes. Siinjuures keskendume vaid tööstusrobotitele ehk robotitele, mille rakenduskohaks on tootmine. Teadupärast robotite rakendusvaldkonnad üha suurenevad. Massiliselt kasutatakse roboteid ka põllumajanduses (nt lõpsirobotid), kodumajapidamises (muruniitmiseks, tubade koristamiseks); ohtlike tööde sooritamiseks (pommirobotid, allveerobotid,

avakosmoserobotid jms). Robotid on võimalised mängima muusikainstrumente, tegema teraapiaprotseduure ja veel palju muudki. Siinjuures keskendume tööstusrobotitele. Tööstusrobotite osatähtsuse kasvu näitab joonis 3. Tänapäeval on robotiseerimisega kõige kaugemale jõudnud Jaapan, Saksamaa, USA ja Suurbritannia. Valitsevaks rakendusvaldkonnaks on veel autotööstus, kuid ka teiste valdkondade osatähtsus on kindlal tõusuteel.

Robotiseerimine võib tuua kaasa VKEde võidukäigu. Seda eriti kahel põhjusel. Robotite maksumus järjest väheneb ja robotite kasutamise olemuses on oodata suuri muutusi (vt joonis 4). Siiani olid robotid natuke ohtlikud kaaslased, mis täitsid täpselt programmeeritud käsklusi. Ohutuse tagamiseks kujundati ettevõtte kindlate reeglite järgi nn ohutsoonid. Robotiseeritud töökohad olid ettevõtte tootmissüsteemides kindla paigutusega ja fikseeritud olemusega. Robotiseerimise areng liigub nn intelligentsete robotite arenduse suunas, mis annab võimaluse



JOONIS 3. Robotite arvukuse suurenemine

Märkus: * Prognosis



JOONIS 4. Robotite kasutamine enne ja lähitulevikussüsteem

Allikas: Robotised Machine Tending

nad „puurist välja päästa” ja luua paindlikud töökohad meie keskel. Mõlemad arengud annavad võimaluse kergesti ümberkonfigureeritavate töökohtade tekkeks, mis on väga oluline väikeettevõtetele, kus toodangu nomenklatuur võib kiiresti muutuda. Samuti muutub järjest lihtsamaks robotite programmeerimine ja nad varustatakse hulga erinevate anduritega, mis annavad neile üha enam inimkeskseid funktsioone. Arendused liiguvad lihtsamate robotiseeritud töökohtade suunas, kus teatavatel juhtudel ei vajata enam tootmis-seadet, vaid kõik vajalikud tööd saab teha robotite abil.

Euroopas on robotiseerimisel kahtlemata ka sotsiaal-poliitiline dimensioon. Seda on toonitatud ka mitmetes Euroopa tööstuse tulevikuteed käsitlevates materjalides. Nimelt ühelt poolt ühiskond vananeb kiiresti, töökohti tuleks aga Euroopa konkurentsivõime säilitamiseks juurde tekitada. Teisalt noored, kes on kasvanud heaoluühiskonnas, pole eriti vaimustatud rutiinsest tootmistööst, eriti veel juhul kui see ei pruugi olla ka väga ergonoomiline või on suisa tervisele kahjulik.

Tuntumad robotitootjad on Fanuc, KUKA, ABB, Comau, Motoman jt. Tänapäeval lisanduvad nn suurtele uued tulijad,

kes sageli pakuvad välja uusi nutikaid lahendusi ja leiavad usaldust ja poolehoidu. Uutel tulijatel ongi vaja millegi poolest eristuda ja pakkuda uusi lahendusi, mis kasutajatele oleksid hästi vastuvõetavad. 2013. aastal kasvas globaalne tööstusrobotite müük 12 protsenti aastataguse tulemusga võrreldes ehk jõuti uuele rekordtasemele – 178 000 tööstusrobotit aastas. Seega ületati ka prognoose (vt joonis 3).

Konkurentsipüsimiseks on ainuvõimalik tee suurema lisandväärtusega ja keerukamate toodete valmistamine.

Peamised robotite kasutusargumendid tööstuses on tootlikkuse suurendamine, toodete kvaliteedi tagamine ja tööohutuse parandamine. Ka Eestist võib tuua mitmeid positiivseid näiteid, kus robotiseerimise teel on osutunud võimalikuks tootlikkuse mitmekordne suurendamine. Tänapäeval on meil olemas ka vajalik kompetents, et planeerida robot-tehnilisi süsteeme just ettevõtte vajaduste järgi ning neid kiiresti ja otstarbekalt juurutada.

Tootmise puhul jääb püsima dilemma, milline peaks olema tööstuse arengutee ja millise kiirusega tuleks uutele tasanditele jõuda. Arendustegevus on teadupärast nii keeruline kui ka kallis.

On kaks peamist arengumudelit:

- ▶ odavale tööjõule rajatud väikese lisandväärtusega tootmine,
- ▶ kõrgtehnoloogiate kasutamisele rajatud suure lisandväärtusega toodete valmistamine.

Robotiseerimine eeldab teist tootmismudelit. Kuna Eestis jätkub nutikust ja odavast tööjõust ning ressurssidest me

enam rääkida ei saa, siis ainuvõimalik tee püsida konkurentsist on valmistada suurema lisandväärtusega ja keerulisemaid tooteid, mis eeldab ka keerukamaid ja enama automatiseeritud tootmissüsteeme. Kunagi ei saa midagi absoluutselt eitada ja täielikult välistada, seetõttu võib teataval määral ka lihtsamaid tooteid valmistada, peaaigi, et teeme seda kulusäästlikult.

TÖÖSTUS 4.0 MÕJU EESTI TÖÖSTUSELE JA HARIDUSSÜSTEEMILE.

Tööstus 4.0 on küll uus ja suur perspektiiv, kuid kohe ja läbimõtle mata kõike tegema tormata ei ole ilmselt otstarbekas. Eelkõige seetõttu, et tänapäeval on Tööstus 4.0-ga seotud palju lahtisi otsi: kasvõi ainevaldkonda käsitlevad tehnilised standardid, integreeritud süsteemide juriidilised küsimused ja ilmselt palju muudki. Teisalt liikumine tarkade tehaste (Smart Factories) ja tarkade toodete suunas on möödapääsmatu. Seda peame arvestama ja oma otsustes ka sellest lähtuma. Targa tehase põhitunnused on järgmised:

- ▶ energiaefektiivsed ja ressursisäästlikud tehnoloogiad;
- ▶ kiiresti ümberseadistatavad ja adaptiivsed tootmissüsteemid;
- ▶ uudsed automatiseerimise, protsesside jälgimise ja info-kommunikatsiooni-süsteemid;
- ▶ kulusäästliku tootmise põhimõtted;
- ▶ kontaktivabad sensorite süsteemid ning nende abil andmete kogumine, analüüs ja targad otsused;
- ▶ robotite massiline kasutamine.

Arengutempo nii ühiskonnas kui ka majanduses üha kiireneb. Märkimisväärselt on kasvanud infomaht ja tõusnud elutempo, konkurentsist rääkimata. Toote elutsüklil on järjest lühenenud, samas on pidev surve kogu tootmisprotsessi aja lühenemisele. Hinnasurve tootjatele aina suureneb.

See infoühiskonna paradigma nõuab ettevõtjalt vajadust omada piisavalt ressursse, oskust neid otstarbekalt kasutada, suurt paindlikkust ja palju teadmisi

Soome	Eesti	Läti
Automaatsüsteemide seadistaja	Mehhatroonik 4, 5	Mehhatroonik 3, 4, 5
Automaatsüsteemide korrashoiu tehnik	CNC tööpinkide operaator 4, 5	CNC tööpinkide operaator 3, 4, 5
Elektroonikasüsteemide seadistaja	CNC lehtmetalli tööpinkide operaator 4, 5	
	Robotsüsteemide operaator 4, 5 (koostamisel)	

TABEL 2. Mehhatroonika valdkonna õppekavad ja vastavad kutsequalifikatsioonitasemed

ning oskusi. Protsesse on vaja pidevalt täiustada ning juhtimissüsteeme arendada. Tänapäeval on edukad need, kes suudavad paremini koostöövõrgustikke arendada ja kasutada. Asjade internet annabki tegelikult võimaluse erinevate tööstusseadmete paremaks ja täiuslikumaks integreerimiseks ning koostöö edendamiseks. Informatsioon ja teadmised muutuvad kättesaadavamaks ja otsustusprotsess efektiivsemaks. Asjade internet ja Tööstus 4.0 tekitavad uue võimaluste ja vajaduste ümberhindamise. Ikka enam väärtustatakse nutikust ja paindlikkust, kiirust ja tulemuslikkust, tarkust ja teadmistepõhist otsustamist. Tegelikult rajaneb see kõik kompetentsidele ja uutele ärimudelitele.

Hea on tõdeda, et mehhatroonika valdkonnas tuleb Eesti rahvusvahelises konkurentsist hästi toime. Meil on selles valdkonnas nii arvestatavat teadust kui ka rahvusvaheliselt tuntud ettevõtteid. Samas arenguruumi on kahtlemata veel palju. Arengumootoriks on ettevõtete ja haridusasutuste üha laienev koostöö. Mehhatroonika valdkonna õpe toimub Eestis hariduse kolmel tasandil: kutseõpe (kutsekoolide tasand); tehnikuõpe (rakenduskõrgkool) ja inseneriõpe (ülikooli tasand). Õppeasutustel on tänapäeval päris heal tasemel õppelaboratooriumid, kuid õppekavad peaksid paremini vastama tööstuse vajadustele. Need vajadused on kirjeldatud kutsestandardites (vt www.kutsekoda.ee). Mehhatroonikaga

seotud kutseõppe süsteemi õppekavad ja vastavad kutsequalifikatsioonitasemed lähiriikide võrdluses on toodud tabelis 2.

Paraku muutused tööstuses toimuvad järjest kiiremini. Juurutatakse pidevalt uusi tehnoloogiaid, võetakse kasutusele üha moodsamaid tootmiseseadmeid, juurutatakse tootmise automatiseerimist tagavaid infotehnoloogilisi süsteeme (ERP – Enterprise Resource Planning; PLM – Product Lifecycle Management; MES – Manufacturing Execution System; MOMS – Manufacturing Operations Management System; MMS – Maintenance Management Systems, jms), milliseid on kokku kümneid ja kümneid.

Tööstus 4.0 tervikuna on väga komplitseeritud ja keeruline lahendus. Ka maailma juhtivad tööstusettevõtted teevad selles suunas alles esimesi samme. Samal ajal on toimivad tööstuslikud süsteemid juba olemas. Kuna mehhatroonika valdkond on Eestis piisavalt hästi arenenud, annab see meile häid võimalusi arenguks lähitulevikus. Neid arenguvõimalusi tuleks ära kasutada ja luua veelgi intensiivsemalt selleks eeldusi kahes suunas:

- innovatsiooniprotsessi kiirendamine (TAK programm, innovatsiooniosakud jms);
- õppeprotsessi sisukamaks muutmine, nähes ette uute didaktiliste võimaluste edendamist (lahendustele orienteeritud ehk innovatsioonipõhine õpe, arendustele orienteeritud ehk

tegevuspõhine õpe ja teostusele orienteeritud ehk töökohapõhine õpe).

Nii mikro- kui ka makrotasandil on alati pidev ressursside nappus. Seetõttu võiks uue arenguhüppe üheks põhiliseks

katalüsaatoriks olla institutsionaalne integreeritud kõrgtehnoloogilise tootmise kontseptsioon, mis annaks ka nutika spetsialiseerumise ideoloogiale suunatud väljundi.

KASUTATUD KIRJANDUS

CETINKUNT, S. (2007). Mechatronics. John Wiley & Sons, Inc.

DEFINITIONS OF „MECHATRONICS“. – <http://mechatronics.colostate.edu/definitions.html>

EFRA EUROPEAN FACTORIES OF THE FUTURE RESEARCH ASSOCIATION. – <http://www.effra.eu/>

FACTORIES OF THE FUTURE. (2013). Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020. European Commission. DG for Research and Innovation. – <http://www.effra.eu/attachments/article/129/Factories%20of%20the%20Future%202020%20Roadmap.pdf>

KAGEMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. National Academy of Science and Engineering acatech. – http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf

KIRTISI, K. Tööstusrobotid vallutavad tehaseid. (2015). LHV finantsportaal. – <http://fp.lhv.ee/news/4858921?locale=et>

MANUFUTURE – EE. – <http://www.manufuture.ee>

MANUFUTURE ROADMAP. – <http://www.manufuture.org>

RECOMMENDATIONS FOR IMPLEMENTING THE STRATEGIC INITIATIVE INDUSTRIE 4.0. 2013. Final report of the Industrie 4.0 working group. Federal Ministry of Education and Research.

ROBOTISED MACHINE TENDING WITH MOTOMAN ROBOTS. Yaskawa solutions for robotized machine tending.

ROBOTICS ONLINE. – <http://www.robotics.org>

ROBOTICS STATISTICS. – <http://www.itr.org/industrial-robots/statistics>

SA KUTSEKODA. – <http://www.kutsekoda.ee>

THE GERMAN STANDARDISATION ROADMAP INDUSTRIE 4.0. (2014). Version 1.0. VDE Association for Electrical, Electronic and Electric & information Technologies. – https://www.dke.de/de/std/documents/rz_roadmap%20industrie%204-0_engl_web.pdf