

TARTU ÜLIKOOL
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Tehnoloogiainstituut

Erki Viidalepp

IT-lahenduse arendamine tootmisettevõtetele tootmistõhususe mõõtmiseks ning
parendamiseks Evocon OÜ näitel

Magistritöö arvutitehnika erialal (30 EAP)

Juhendajad:

M.Sc.Eng. Roman Zahharov

Prof. Urmas Varblane

Tartu 2016

Resüme

“IT-lahenduse arendamine tootmisettevõtetele tootmistõhususe mõõtmiseks ning parendamiseks Evocon OÜ näitel” lühikokkuvõte:

Käesoleva töö raames valmib veebiteenus, mille abil on võimalik tootmisettevõtetes mõõta ning visualiseerida tootmistõhusust ning saada sisendit tootmisprotsesside parendamiseks. Tootmisettevõtete tootlikkuse tõstmine läbi protsesside parendamise on tänapäevases tiheneva konkurentsiga maailmas järjest olulisem. Töö alguses analüüsitakse tootlikkuse mõõtmise teooriat ning mõõtmise olukorda Eestis. Töö teises pooles kirjeldatakse arendatava pilveteenuse arhitektuuri, riistvara ja tarkvara loomise projekti ning põhjendatakse tehtud valikuid. Töö lõpus analüüsitakse loodud süsteemi vastavust nõuetele ning kirjeldatakse tekkinud probleeme.

Võtmesõnad: Tootlikkus, tootmistõhusus, pilvepõhine teenus, riistvara, tarkvara.

CERCS: P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria).

“Developing cloud-based web application for measuring and improving production efficiency using Evocon OÜ as an example” Abstract:

The aim of this thesis is to develop a web based cloud application that helps manufacturing companies measure and visualize their productivity and gain insights to improve their processes. Production efficiency is an increasingly important factor for manufacturing companies for staying ahead in the ever changing marketplace. The first part of the thesis concentrates on productivity measuring theory and measuring of productivity in Estonian manufacturing companies. Afterwards, a project for developing a cloud based production efficiency measuring systems architecture, hardware and software is presented. In conclusion, requirements are checked and validated followed by the discussion of emerged issues.

Keywords: Efficiency, production efficiency, cloud based service, SaaS, hardware, software.

CERCS: P170 Computer science, numerical analysis, systems, control.

Sisukord

Resüme	2
Sisukord	3
Jooniste loetelu	4
Tablelite loetelu	4
Lühendid, mõisted	5
1 Sissejuhatus	7
2 Tootmisettevõtete tootlikkus ja seda mõjutavad tegurid	9
2.1 Tootlikkus	9
2.2 Tootlikkuse komponendid	10
2.3 Tootlikkuse mõõtmine ja parendamine	11
2.4 Tootlikkuse mõõtmine Eestis	13
2.5 Tarkvaralahendused tootlikkuse mõõtmiseks	14
3 Evoconi lahendus tootlikkuse mõõtmiseks ja parendamiseks	16
3.1 Projekti plaan	18
3.2 Nõuded	21
3.2.1 Arhitektuurilised eesmärgid ja nõuded:	21
3.2.2 Nõuded riistvarale:	21
3.2.3 Nõuded tarkvarale:	22
3.3 Arhitektuur	22
3.4 Riistvara	24
3.4.1 Andmete kogumine	24
3.4.2 Eelmine andmeloger ja uus eraldatud arhitektuur	24
3.4.3 Uue andmelogeri korpus ja ühendamine	25
3.4.4 Riistvara	26
3.4.5 Tarkvara	26
3.4.6 Mõõterežiimid	29
3.5 Veebiteenus	30
3.5.1 Arhitektuur	30
3.5.2 Turvalisus	31
3.5.3 Rakendused	31
3.5.4 Veebiteenuse struktuur	31

4	Tulemuste analüüs	36
4.1	Esinenud probleemid.....	36
4.2	Nõuetele vastavus.....	37
5	Kokkuvõte.....	38
6	Summary.....	39
	Lihtlitsents	43

Jooniste loetelu

Joonis 1:	<i>OEE arvutusel põhinev raiskamiste skeem.</i>	12
Joonis 2:	<i>Informatsioonisüsteemide tasemed tööstusettevõttes.</i>	16
Joonis 3:	<i>Pilvelahenduste ja Evoconi teetähised.</i>	17
Joonis 4:	<i>Veebilahenduse arhitektuuri skeem.</i>	24
Joonis 5:	<i>Pilt eelmisest andmelogerist.</i>	25
Joonis 6:	<i>Pilt uuest andmelogerist.</i>	26
Joonis 7:	<i>Andmelogeri programmi tööskeem.</i>	28
Joonis 8:	<i>Eelmise versiooni tööjaama vaade.</i>	33
Joonis 9:	<i>Uue versiooni tööjaama vaade.</i>	34

Tablelite loetelu

Tabel 3.1	Arendusprojekti tööplaan.	18
------------------	---------------------------------------	-----------

Lühendid, mõisted

VPC (ingl. Virtual Private Cloud) – Avalikus pilves virtuaalselt isoleeritud pilveressurs.

AngularJS – Veebiraamistik dünaamiliste veebilehtede loomiseks.

API (ingl. Application Programming Interface) – rakendusliides.

AWS (Amazon Web Services) – pilveteenuste pakkumisega tegelev Amazon.com allüksus.

BI (ingl. Business Intelligence) – ärianalüüs.

CNC (ingl. Computer Numerical Control) – arvjuhitav seade, näiteks freespink.

CPS (ingl. Cyber-Physical Systems) – küberfüüsikalised süsteemid.

CSS (ingl. Cascading Style Sheets) – stiililehed, mis määravad HTML dokumendi kujunduse.

DHCP (ingl. Dynamic Host Configuration Protocol) – dünaamiline hostikonfiguratsiooni protokoll.

ERP (ingl. Enterprise Resource Planning) – ettevõtte ressurside planeerimise süsteem.

HTML5 (ingl. HyperText Markup Language) – veebilehe markeerimiskeel.

HTTP (ingl. HyperText Transfer Protocol) – veebilehtede edastamise protokoll.

HTTPS (ingl. HyperText Transfer Protocol Secure) – turvaline veebilehtede edastamise protokoll, mis kasutab turvalise ja krüpteeritud ühenduse saavutamiseks TLS protokoll.

IaaS (ingl. Infrastructure as a Service) – infrastruktuuriteenus mis pakub virtuaalset pilvearvutusressurssi.

IoS (ingl. Internet of Services) – teenuste Internet.

IoT (ingl. Internet of Things) – asjade Internet ehk nutistu.

IP-aadress (ingl. Internet Protocol address) – internetiaadress.

KPI (ingl. Key Performance Indicator) – tulemuslikkuse võtmenäitaja või võtmemõõdik.

M12 pistik – IEC 61076-2-101 standardile vastav tööstusautomaatikas kasutatav ümmargune ühenduspistik.

MES - (ingl. Manufacturing Execution System) – tootmise täideviimise süsteem.

NTP – (ingl. Network Time Protocol) – võrguaja protokoll.

OEE (ingl. Overall Equipment Efficiency) – seadme kogumõjususe mõõdik.

PLC (ingl. Programmable Logic Controller) – tööstuskontroller.

RFID (ingl. Radio-frequency identification) – raadiolainetel töötav identifitseerimistehnoloogia.

RS-232 – jadaliides väliste seadmete arvutiga ühendamiseks.

SaaS (ingl. Software as a Service) – tarkvara teenusena.

SBC (ingl. single-board computer) – ühest trükkplaadist koosnev miniarvuti.

TCP/IP - (ingl. Transmission Control Protocol / Internet Protocol) – võrgu transpordikihi protokoll.

TLS (ingl. Transport Layer Security) - võrgu transpordikihi turbeprotokoll.

TPM (ingl. Total Productive Maintenance) - kõikehõlmav tulemuslik hooldus.

UI/UX (ingl. User Interface / User Experience) – kasutajaliidese visuaalne kujundus, kasutajakogemuse kujundus.

WebSocket – TCP ühenduse kaudu täisdupleks suhtlust võimaldav protokoll.

1 Sissejuhatus

Eesti majanduse visioon aastatel 2014-2020 on tõsta tootlikkust ja ergutada ettevõtlust ning innovatsiooni. [1] IT-lahenduste kasutamise suurendamine erinevates tööstusharudes on antud visiooni elluviimise keskmes. E-äri uuringust selgub, et suur osa Eesti tööstusettevõtetest kasutab äritegevusi toetavaid IT-lahendusi. Samas kasutab tootmist ja tootearendust toetavaid IT-teenuseid vaid 25% uuringus osalenud ettevõtetest. [2] Selleks, et Eesti ühiskond tervikuna saaks areneda postindustriaalsesse teadusmahukasse majandusse peab töötlev tööstus saavutama tootlikkuse kasvu läbi tehnoloogiliste uuenduste. [3] Eelnevale tuginedes on selge, et uute tehnoloogiate ning IT-teenuste kasutuselevõtt tööstussektoris ning sellest tulenev tootlikkuse kasv on kesksel kohal Eesti majanduse ning tootmisettevõtete konkurentsivõimelisuse parandamiseks.

Üksiku tööstusettevõtte tasandil on konkurentsivõimelisuse suurendamiseks lisaks järjepidevale suuremat lisandväärtust pakkuvate toodete arendamisele vajalik ka kvaliteedi- ja tootmisprotsesside täiustamine. Pilvetehnoloogia areng ja mobiilsete seadmete muutumine laiatarbe tehnoloogiaks on viimase kümnendi jooksul jõuliselt mõjutanud teenindus-, telekommunikatsiooni-, põllumajanduse-, transpordi- ja finantssektorit. Nende uuenduste mõju on nii kaudselt kui otseselt jõudnud ka töötlevasse sektorisse. Saksamaa Liitvabariigi valitsuse algatatud riikliku programmi Tööstus 4.0 (*Industrie 4.0*) raames rakendatakse erinevaid tehnoloogiaid nagu nutistu (IoT), küberfüüsikalised süsteemid (CPS) ja teenuste internet (IoS) tarkade tootmisüksuste loomiseks eesmärgiga automatiseerida ja tõhustada erinevaid protsesse tootmises. [4] Samasuguse eesmärgi poole püüeldakse ka teistes tööstusriikides. Näiteks Ameerika Ühendriikides teevad tööstused, tarnijad, ülikoolid, valitsusasutused ning laborid koostööd *Smart Manufacturing Leadership Coalition* projekti raames [5].

Tööstus 4.0 programmi tutvustamiseks on loodud mitmeid demonstratiivseid tootmisliine ning tehnoloogiaid tutvustavaid mudeleid. [6–8] Bosch Rexroth on valmis ehitanud ja igapäevaselt kasutusse võtnud tootmisliini, mida läbivad tooted annavad RFID märgiste abil masinatele teada, mis toodetega teha või kuhu neid edasi suunata. [9] Tööstus 4.0 visiooni jõudmine keskmise ja väikese suurusega tootmisüksustesse Eestis ning teistes riikides võtab

investeeringu suuruse, turvariskide kõrvaldamise ning tööliste koolitamise vajaduse tõttu veel aastaid aega. [6]

Käesoleva magistr töö eesmärk on luua tänapäevastel IT-lahendustel põhinev tööriist tootmistõhususe automaatseks mõõtmiseks ning visualiseerimiseks erineva suuruse ning profiiliga tootmisettevõtetes.

Eesmärgi saavutamiseks analüüsitakse töö esimeses osas kirjanduse põhjal tootmistõhususe mõõtmise metoodikat ning selleks maailmas laialt kasutatavat mõõdikut, seletatakse kasutatavaid mõisteid ning selgitatakse probleemi olulisust. Lisaks antakse ülevaade tootlikkuse mõõtmiseks ja parendamiseks kasutatavatest praktikatest Eesti tootmisettevõtetes

Töö teises osas tutvustatakse ning analüüsitakse autori kaastööl Eesti ettevõttes Evocon OÜ arendatavat pilveteenust. Loodav teenus võimaldab erineva suurusega tootmisettevõtetes kergesti ning kättesaadava hinna juures reaalajas mõõta ja visualiseerida tootmistõhusust ning tulemuslikkuse võtmenäitajaid ja saada informatsiooni protsesside parendamiseks. Arenduse eesmärk on automaatset tootmise mõõtmist ning visualiseerimist pakkuda turul olevatest süsteemidest lihtsamini ning mugavamini ja tänapäevasema kasutajaliidesega ning seeläbi aidata suurendada Eesti ja kogu maailma tööstusettevõtete tõhusust. Motivatsioon arenduse algatamiseks on tahvelarvutite ja nutitelefonide kiire levik ning nutistu ja pilvearvutuse tehnoloogiate arenemine, mida kasutades on võimalik automaatne tootmise jälgimine viia väiksemate kuludega suurema hulga tootmisettevõtetele.

Käesoleva magistr töö autor tegeleb Evocon OÜ-s riistvara valdkonna arenduse juhtimisega, vastutades tootmisprotsessidest andmete kogumise tehnilise arhitektuuri eest. Lisaks sellele panustab autor teenuse teiste osade sisulisse arendamisse eesmärgiga suurendada lahenduse väärtuspakkumist tootmiskeskonnas, sõltumata kliendi ettevõtte tööstussektorist ning kaustatavast seadmepargist (sh seadmepargi kaasaegsusest). Autori igapäevaste töökohustuste hulka kuulub veel süsteemi paigaldusprotsessi koordineerimine ja parendamine ning tehnilise toe pakkumine kasutajatele.

2 Tootmisettevõtete tootlikkus ja seda mõjutavad tegurid

2.1 Tootlikkus

Tootlikkuse (ingl. *productivity*) mõistet defineeritakse tööstuses kõige laiemalt kui väljundite suhet sisenditesse. [10] Olenevalt mõõdetavast süsteemist võivad väljunditeks olla näiteks toodang ja teenused ning sisenditeks aja-, materjali-, tööjõu- ja elektrikulu. Toodangu mahtu ehk väljundit on võimalik suurendada muutes sisendit väljundiks varasemast tõhusamalt või kasutades rohkem sisendit ja saades seeläbi rohkem väljundit. Kuna tänapäeva globaalselt tihenevas konkurentsisis on kasvavalt oluline ressursside säästlik kasutamine ning sisendeid ei ole võimalik suurendada lõputult, jääb ainsaks võimaluseks tootlikkust kasvatada muutes sisendit väljundiks järjest efektiivsemalt. Sisendite tõhusamalt väljunditeks muutmiseks tuleb süsteemist elimineerida raiskamine.

Tootlikkust saab mõõta naturaalihikutes või väärtuspõhiselt. Naturaalihikutes väljendatavat tootlikkust nimetatakse ka tehniliseks tootlikkuseks, mille puhul kasutatakse sisendite ja väljundite ühikutena näiteks kilogramme, toodangu tükke, meetreid, operatsioone, liitreid jne. Väärtuspõhise ehk majandusliku tootlikkuse puhul väljendatakse sisendeid ja väljundid rahaühikutes. Väärtuspõhine tootlikkus arvestab seega hetkel majanduses kehtivate hindadega. Tootlikkuse näitajaid saab jagada ka vastavalt sellele, kui mitme sisendkulu mõju tootlikkusele vaadatakse. Osatootlikkuse puhul vaadatakse väljundi(te) suhet ühte sisendisse. Tegurirühma tootlikkuse puhul vaadatakse väljundi(te) suhet mitmesse sisendisse ning kogutootlikkuse puhul väljundi(te) suhet kõikidesse kasutatud sisenditesse. [11]

Käesolevas magistritöös keskendutakse tehnilise tootlikkuse mõõtmisele ja parendamisele ning loodav tarkvara võimaldab mõõta osatootlikkust (aeg, operaator, tooteartikkel) ja tegurirühma tootlikkust.

2.2 Tootlikkuse komponendid

Mõjususe (ingl. *effectiveness*) ja tõhususe (ingl. *efficiency*) on tootlikkusega tihedalt seotud terminid, mida tihti mõistetakse ning selgitatakse erinevalt nii kirjanduses kui ka igapäevases kõnes. Mõjusust tõlgitakse ka kui efektiivsust või tõhusust ning see tähendab õigetele tegevustele või protsessidele keskendumist. [10] Tootlikkuse kontekstis tähendab see nende protsesside elimineerimist, mis otseselt ei aita kaasa ette nähtud väljundi saavutamisele. Näiteks kuuluvad ebamõjusate protsesside alla toodete mitmekordne töötlemine nõutud kvaliteedi saavutamiseks ja ületootmine. Mõjususe on enamasti seotud väärtuse loomisega ning suurimaks probleemiks mõjususe suurendamisel on selle numbrilise mõõtmise keerukus.

Tõhusust tõlgitakse ka kui jõudlust, efektiivsust, tööviljakust või kasutegurit ning selle all mõeldakse protsessi(de) osa(de) õigesti teostamist. Tootlikkuse kontekstis näitab tõhusus kui hästi tootmisprotsessi sisendeid ära kasutatakse, võrreldes teoreetilise minimaalse vajaliku kogusega. [10] Ette nähtud koguse toodangu tootmiseks hõivatakse ühes vahetuses teatud osa tööjõudu, seadmeid, tooraineid ning energiat. Kui ette nähtud kogus toodangut suudetakse toota vähema hulga sisenditega kui on arvestatud, on tõhusus paranenud.

Tootlikkuse tõstmiseks on oluline parendada nii mõjusust kui tõhusust. Kui protsessi tegevusi täide viia väga hästi, kuid keskenduda valedele tegevustele, on tulemuseks ebamõjus ning ressursse raiskav tootmine. Sama olukord tekib siis, kui tehakse õigeid tegevusi, kuid nende täide viimine ei vasta nõuetele. Ettevõttel, mis on keskendunud õigetele protsessidele ja tegevustele ning suudab neid konkurentidest parema tõhususega täide viia, on parimad võimalused jätkusuutlikult areneda ja kasvada.

2.3 Tootlikkuse mõõtmine ja parendamine

Tootlikkust on võimalik mõõta erinevatel tasanditel nagu näiteks rahvamajanduse ehk riigi, tööstusharu, ettevõtte, tööstusüksuse või tööjaama tasandil. Käesolevas magistritöös käsitletakse tootlikkuse mõõtmist tööjaama tasemest kuni kontserni tasemeni. Tootlikkuse kasv ei juhtu ettevõtetes automaatselt. Arenenud tööstusriikide kogemuse põhjal saab tootlikkust tõsta vaid tootlikkuse terviklikku juhtimissüsteemi rakendades. Tootlikkuse parendamiseks tuleb juhtimissüsteemi rakendada iteratiivselt, kus esimeseks sammuks on tootlikkuse taseme mõõtmine. Kui praegune tootlikkuse tase on teada, on võimalik olukorda hinnata ning leida valdkonnad või protsessid, mille parendamisega tegeleda. Hinnangu andmisele järgnevad tootlikkuse planeerimine ning tootlikkuse tõstmise plaani välja töötamine ning rakendamine. Edasi tuleks rakendatud parendustegevuste mõju mõõta ning tsüklit korrata. [12]

Tööjaama või tootmisliini tootlikkuse mõõtmiseks kasutatakse rahvusvaheliselt tunnustatud seadme kogumõjususe (OEE) näitajat. OEE on üks osa Jaapanist alguse saanud kõikehõlmava tulemusliku hoolduse (TPM) meetodite kogumist. TPM eesmärk on parandada tootlikkust läbi planeerimata seisakute, aeglasemal kiirusel töötamise ning praaktodangu tootmise põhjuste leidmise ning eemaldamise. Nende kolme raiskamise põhjusena näeb TPM üldjuhul valesti planeeritud või läbi viidud hooldust. [12] 1980. aastatel levis TPM tänu Seiichi Nakajima raamatute inglise keelde tõlkimisele lääneriikidesse ning TPM-i osana hakati laiemalt kasutama ka OEE meetodit. [13]

Mõõdiku abil tuvastatud kaod jagatakse TPM meetodika järgi kuude suuremasse kategooriasse. Kasutatavuse määr näitab pikemate kui paariminutiliste seisakute tõttu tekkinud ajakadu. Kasutatavuse määra mõjutavad seadme tehnilistest rikest, tootevahetusest ning seadistustest tekkivad pikemad seisakud. Teostuse määr näitab töökiiruse langemisest või lühikestest (kuni mõni minut) seisakutest tulenevat kadu. Kvaliteedi tase näitab praaktodangu või ümbertegemist vajava toodangu osakaalu kogutoodangust ehk praaktodangu tootmise tõttu tekkinud ajakadu. Tõhususe kaod koos kategooriatega on kujutatud joonisel 1. OEE arvutamiseks kasutatakse valemit 1. [14]

	Vahetustega kaetud aeg 480 min	
Kasutatavus	Planeeritud tööaeg 480 - 60 = 420 min	Planeeritud seisakud hooldus, pausid, 60 min
	Tegelik tööaeg 420 - 90 = 330 min	Planeerimata seisakud rikked, seadistus, 90 min
Teostus	Teoreetiline kogus 330 / 5 = 66 (tsükli aeg 5 min)	
	Tegelik kogus 270 / 5 = 54 tk	Aeglane tootmine, lühikesed seisakud, 60 min
Kvaliteet	Tegelik kogus 54 tk	
	Kvaliteetne kogus 54 - 5 = 49 tk	Praak 5 tk
	Tõhususe kadu	

Joonis 1: OEE arvutusel põhinev raiskamiste skeem.

$$\begin{aligned}
 OEE = & \frac{\textit{Tegelik tööaeg}}{\textit{Planeeritud tööaeg}} \times \frac{\textit{Tegelik kogus}}{\textit{Teoreetiline kogus}} \\
 & \times \frac{\textit{Kvaliteetselt toodetud kogus}}{\textit{Tegelik toodetud kogus}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

OEE mõõtmine ning seisakupõhjuste analüüs võimaldab välja selgitada tootlikkust piiravad tegurid seadme või tootmisprotsessi tasemel ning annab sisendit tootlikkuse tervikliku juhtimissüsteemi rakendamiseks. Tootlikkuse parendamise seisukohalt on oluline vaadelda kolme komponendi väärtusi eraldi. Kui mõni komponent on teistest selgelt madalam, tuleks esimesena leida just seda komponenti mõjutavad põhjused ning tegeleda nende lahendamiseks.

2.4 Tootlikkuse mõõtmine Eestis

Tootmisjuhtimise operatiivtasandi uuringu järgi, mida kinnitab autori kogemus, tegeletakse tootmisettevõtetes tootlikkuse mõõtmisega vähe. 2011. aastal avaldatud uuringu kohaselt kasutab vaid 16% Eesti tööstusettevõtetest OEE näitajat. 63% uuringu vastajatest ei olnud sellisest mõõdikust kuulnud ega kasutanud seda oma töös. [15] Ühe põhjusena, miks tootlikkust ei mõõdeta, võib tuua tootmisalase juhtimisõppe võimaluste puudulikkuse ning selle eriala vähese populaarsuse. [16] Teiseks on tootmisjuhid väiksemates ettevõtetes tõusnud sellele kohale ettevõtte seest ning ei pruugi omada vastavat väljaõpet või ei ole läbinud koolitusi. Eestis õpetatakse tootmise juhtimist Tallinna Tehnikaülikooli magistriõppes, spetsiaalsetel koolitustel ning 2016. aasta sügisest ka Tallinna Tehnikakõrgkoolis [17–18].

Kuigi OEE näitajat uuringu põhjal Eestis laialdaselt ei kasutata, leidub ettevõtteid kus paberilehtede, tabelarvutusprogrammi või ettevõttes erilahendusena loodud süsteemide abil olulisi mõõdikuid arvutatakse. Näiteks kasutatakse tihti tootmistellimuste ja toodetud koguste raporteerimiseks paberile trükitud vorme. Töölised täidavad töö ajal muude ülesannete kõrvalt vormid ära ning viivad need päeva lõpus andmesisestaja juurde, kes informatsiooni tabelarvutusprogrammi või majandustarkvarasse (ERP) sisestab. Neid andmeid kasutatakse enamasti palgaarvestuse või tootmise planeerimiseks. Tootmistõhususe näitajate arvutamiseks kasutatakse kogutud andmeid harva. Vähestes ettevõtetes on samaks otstarbeks tootmisalale paigaldatud arvuti, mille abil viiakse andmesisestus tabelarvutusprogrammi tootmistöölise tasemele ning kaotatakse kahekordne andmesisestus. Selliselt kogutud andmete põhjal võivad käsitsi ja pikemate intervallidega tehtavad arvutused anda indikatsiooni ettevõtte tootmise efektiivsusest, kuid ei aita piisavalt kiiresti välja selgitada madala tõhususe põhjuseid ega anna kvaliteetset sisendit nende põhjuste likvideerimiseks.

Automatiseeritud tootlikkuse mõõtmine võimaldab vältida eksimusest või inimlikust lohkusest tingitud vigu ja vabastada tootmistöölise aega. [19] Lisaks võimaldab automaatne süsteem luua visuaalse reaalaajas juhtimise süsteemi, kus kõik tehases töötavad ning sealt läbi liikuva inimesed saavad ekraanidele pilku heites ülevaate tööjaama(de) või kogu tehase töötamise olukorrast. Vaatamata automatiseeritud tootlikkuse mõõtmise eelistele, kasutatakse seda vähestes Eesti tootmisettevõtetes. Tänapäevased tootmiseseadmed on võimelised koguma

andmeid nii toodetud koguste, tööaja kui töötellimuste kohta, kuid neid andmeid koondava aruandluse nägemiseks tuleb üldjuhul eraldi aruandlusmoodul juurde osta. Moodulid on väikeste Eesti ettevõtete jaoks kallid ning aruandlussüsteemid on keeruline omavahel erinevate seadmetootjate lõikes ühildada. Paljudes väiksemates tööstusettevõtetes ei ole ka IT-kompetentsi, et erinevatest andmebaasidest andmed kokku koguda ning kergesti loetavaid ja vajalikku informatsiooni esile toovaid aruandeid luua.

2.5 Tarkvaralahendused tootlikkuse mõõtmiseks

Tänapäeval kasutavad peaaegu kõik tootmisettevõtted oma tegevuse ja ressursside haldamiseks ERP tarkvara. ERP süsteemid mis on loodud ettevõtete suurust ja tööstusharu spetsiifikat silmas pidades on turul palju ning neid arendatakse ning kaasajastatakse pidevalt. Neid süsteeme kasutatakse pigem äritegevuste korraldamiseks nii tööstus- kui ka muudes ettevõtetes. ERP-süsteemid asuvad üldjuhul reaalsest tootmisest kaugemal ning neis ei sisaldu informatsiooni selle kohta mis toimub reaalses tootmiseseadme tasemel.

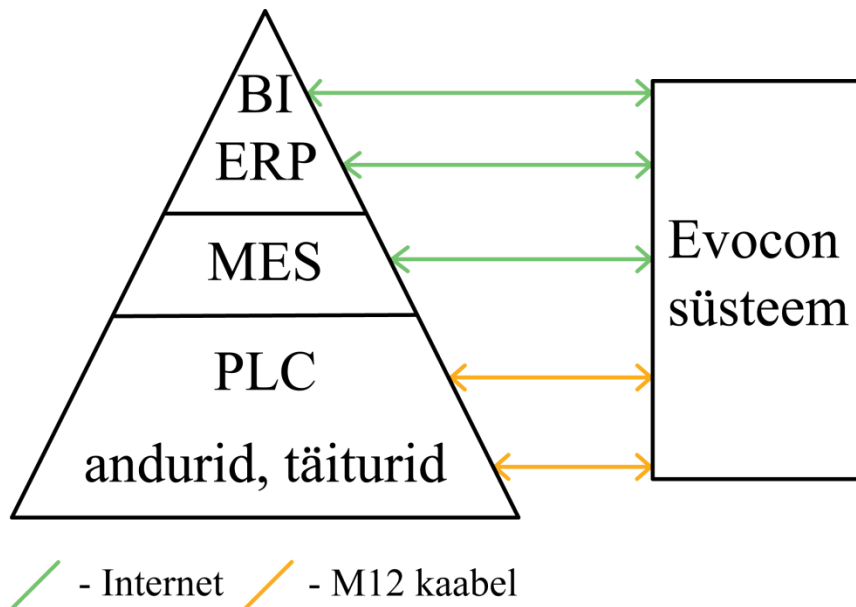
Tootmisele lähemal asuvat tootmise täideviimise süsteemi kutsutakse ka inglise keelest tulenevalt MES süsteemiks. MES süsteemid on mõeldud kasutamiseks tootmistehhi ja tootmisjuhtimise tasandil ning on üldjuhul masinatega ühendatud. Neid süsteeme kasutatakse tootmisprotsessiga seonduva informatsiooni nagu tooted, tellimused ja tootmiskäskud kogumiseks, planeerimiseks ja visualiseerimiseks. MES süsteemid on Eestis ettevõtetes rakendatud vähe. Selle põhjuseks on nende süsteemide kulukas juurutamine ning integreerimine ERP süsteemiga, mis tuleneb asjaolust, et pakutavad lahendused on loodud maailma mastaabis keskmiste ja suurte ettevõtete vajadusi silmas pidades ning on kindlatele tööstusharudele spetsialiseerunud. [20] Eestis on tootmise täideviimise süsteemidest räägitud ning kirjutatud vähe. Eestikeelset informatsiooni otsides leidis autor 2012. aastal kirjutatud magistritöö, mille autor samuti eesti keelse kirjanduse puudumisele viitas. [21]

Osad ERP ja MES süsteemid pakuvad võimalust automaatselt arvutada ning kuvada tulemuslikkuse võtmenäitajaid (KPI) nagu näiteks OEE, teostuse tase ja seisakutele kulunud aeg. See eeldab tootja poolt loodud integreeritust tootmiseseadmetega, mis tähendab lisa tarkvarapakette ja litsentsitasusid, või käsitsi andmete sisestamist.

OEE mõõtmise tarkvara pakuvad Eesti turul lisaks Evoconile näiteks Rootsi ettevõtted Axxos AB ja Adductor AB ning uus Eestis arendatav teenus GlobalReader. Erinevaid lahendusi testinud klientide tagasiside põhjal on Rootsi ettevõtete teenused Evoconi pakutavast kallimad ning võimalustelt sama head. GlobalReader on limiteeritud funktsionaalsusega kuid suurte ambitsioonidega turule sisenev teenus.

3 Evoconi lahendus tootlikkuse mõõtmiseks ja parendamiseks

Evoconi lahendus moodustab silla ettevõtte erinevate kihtide vahel. Joonisel 2 on kujutatud tööstussüsteemide püramiid, mille alumises otsas asub tootmistehh koos masinate ning neid masinaid juhtivate süsteemidega. Joonise tipus on kontoris kasutamiseks mõeldud ärianalüüsi (BI) ja ERP-tarkvarad. Evoconi süsteem töötab teistest tootmissüsteemidest iseseisvalt, kuid parema automatiseerituse saavutamiseks on võimalik süsteemi ka ERP-tarkvara või teiste tootmissüsteemidega ühendada. Andmelogeri tootmiseseadmega ühendamiseks vajalikud signaalid on üldjuhul seadmes olemas või 50-100 eurot maksva tööstusliku anduri abil juurde lisatavad. Seega ei ole Evocon süsteemi kasutuselevõtuks vaja kalleid, tuhandetesse eurodesse ulatuvaid, lisaarendusi või riistvara seadmetootjatelt ning tõhusust saab mõõtma hakata mõne tunniga.

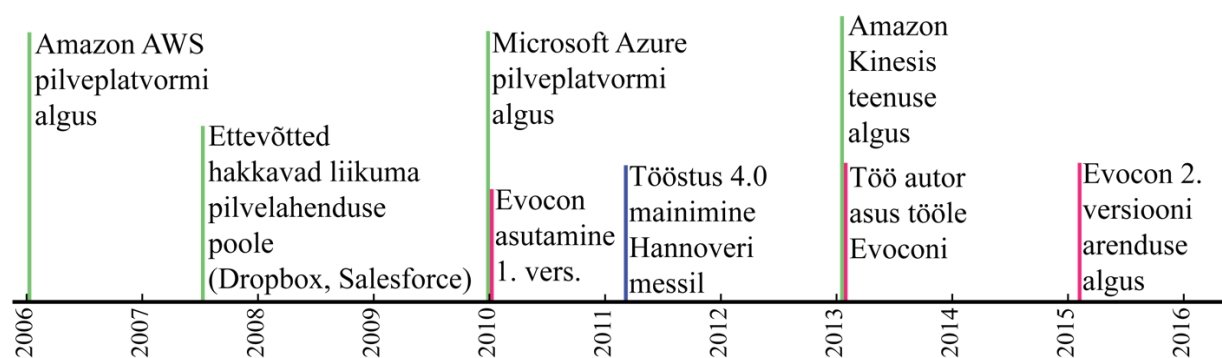


Joonis 2: Informatsioonisüsteemide tasemed tööstusettevõttes.

Evoconi tarkvaralahendus annab reaajas lihtsasti loetava ülevaate tööjaamades või tootmisliinidel toimuvast. Andmete kogumise ning visualiseerimise kaudu aitab lahendus avastada kasutamata tootmisressursse ja probleeme protsessides. Oluline on ka tootmistehhis tööjaama läheduses graafiliselt kuvatav informatsioon vahetuse toodangu, tööaja, seisakute, tõhususe, kasutatavuse, kvaliteedi ja OEE kohta nii tunnipõhiselt kui ka kogu käimas oleva

vahetuse peale kokku. Visuaalne tagasiside annab töölisele reaalajas ülevaate kui tõhusalt nad vahetuse jooksul töötanud on ning kui kaugel tootmistellimuse täitmisega ollakse. Tootmistöölised täiendavad automaatselt kogutud informatsiooni sisestades seisakute ajale põhjusi, üldiseid probleemide kirjeldusi või ettepanekuid. Tootmissündmuste registreerimine võimaldab ettevõtte juhtival personalil andmete kogumise ning töötlemise asemel keskenduda protsesside parendamisele. Töötajate, tootmiseadmete ja tehaste võrdlemise kaudu saab leida parimaid praktikaid ning neid tootmisüksuses laiemalt rakendada. Suurimad kasud tootmisettevõttele Evocon süsteemi rakendamisel tulenevad tootliku tööaja suurenemisest distsipliini paranemise tõttu, reaalajas uuenevate andmete põhjal kvaliteetsemate juhtimisotsuste vastuvõtmisest ning tõhususe parandamisest raiskamiste tuvastamise ja kõrvaldamise kaudu.

2015. aasta kevadel otsustas Evocon OÜ juhatus, et nutistu, Interneti ja tänapäevaste pilveteenuste laialdasemat levikut kasutades tuleb luua uus, olemasolevast parem tootmise mõõtmise lahendus. Samal ajal alustati tervikuna uue tänapäevastel tehnoloogiatel põhineva süsteemi välja arendamist. Uue süsteemi arendamise algul mõeldi läbi ning pandi kokku projekt uue süsteemi arhitektuuri, veebipõhise tarkvaralahenduse ning andmelogeri arendamiseks. Joonisel 3 on toodud teetähised kasutatavate pilveteenuste arengus ning Evoconis.



Joonis 3: Pilvelahenduste ja Evoconi teetähised.

3.1 Projekti plaan

Tabelis 3.1 on toodud uue süsteemi arhitektuuri, tarkvara ning riistvara arendamiseks loodud tööplaani.

Tabel 3.1 Arendusprojekti tööplaani.

Jrk	Tegevus	Tulemus	Teostaja	Planeeritud tegevuse aeg	Tegelik tegevuse aeg
1	Projekti plaani loomine	Läbi mõelda ning kirjeldada uue lahenduse tehnilise poole arendamise projekti tegevused.	Magistritöö autor, Evocon OÜ tegevjuht	2015. aasta algus	2015. aasta algus
2	Arhitektuuri nõuete kaardistamine, arhitektuuri paika sättimine	Analüüsitud on pilveplatvorme ning veebitehnoloogiaid. Valitud on pilveplatvormi pakkuja ning arhitektuuriline ülesehitus.	Magistritöö autor, Evocon OÜ tarkvara peaaraarendaja, Evocon OÜ juhataja	Mai - Juuli 2015	Mai - Juuli 2015
3	Veebiteenuse tarkvara nõuete ja funktsionaalsuse kaardistamine, veebiteenuse arendamise alustamine.	Eelmise versiooni põhjal on kaardistatud veebiteenuse funktsionaalsus ning läbi mõeldud parendusvõimalused. Valminud on arendusplaani veebiteenuse moodulite arendamiseks. Alustatud on serverite ja andmebaasi ülesseadmisega.	Magistritöö autor, Evocon OÜ tarkvara peaaraarendaja	Mai - Juuli 2015	Mai - Juuli 2015
4	Serveritarkvara arendus	Valmib serveritarkvara baasfunktsionaalsus, mis võimaldab andmelogeri seadistusi määrata ning andmeid vastu võtta. Loodud on esmased tabelid vaadete ning nendes hoitavate andmete jaoks. Edasi arendatakse serveritarkvara vastavalt arendatavate moodulite vajadustele. Serveritarkvara arendus käib edasi kogu projekti jooksul kuna kõiki vajadusi ei suudeta kohe ära kirjeldada ning	Evocon OÜ tarkvara pearendaja, magistritöö autor	Mai 2015 -	

		funktsionaalsus võib ajas muutuda.			
5	Tööjaama mooduli esimese versiooni arendus	Valmib tööjaama mooduli esimene versioon, kus kuvatakse vahetuse informatsiooni, tunnijooni ning alumise ääre nuppe. Operaatoritel on võimalik valida toodet, sisestada kommentaare, valida oma nime, märkida praaki ning saata sõnumeid. Täiendavalt arendati välja funktsionaalsus, mis võimaldab vastavalt valitud tootele signaale teisendada näiteks kilogrammideks või meetriteks.	Evocon OÜ tarkvara peaarendaja, Evocon OÜ tarkvaraarendajad	August 2015 - Jaanuar 2016	August 2015 - Veebruar 2016
6	Aruandluse mooduli esimese versiooni arendus	Valmivad 5 põhilist aruannet (OEE, ajakasutus, seisakud, kogus ja kvaliteet, tsükliajad) koos võimalusega valida aruande ajavahemikku ning andmeid grupeerida. Aruannete puhul valmisid ülevaatlikud vaated, täpsem süvitsi analüüsimise võimekus otsustati arendada järgmises etapis kuna mooduli arendus viibis.	Evocon OÜ tarkvara peaarendaja, Evocon OÜ tarkvaraarendajad	Oktoober 2015 - Jaanuar 2016	November 2015 - Veebruar 2016
7	Seadistusmooduli arendamine	Valmib seadistusmoodul, mis võimaldab 1) kasutajal sisestada tooteartikleid ning neid tööjaamadesse määrata, 2) sisestada seisakupõhjusti ning neid tööjaamadesse määrata, 3) sisestada operaatorite nimesid ning neid tööjaamadesse määrata, 4) muuta tööjaamade seadistusi.	Evocon OÜ tarkvara peaarendaja, Evocon OÜ tarkvaraarendajad	Jaanuar 2015 - Märts 2016	Veebruar 2015 - Aprill 2016

8	Kõikide tööjaamade mooduli arendamine	Valmib moodul, kus kuvatakse horisontaalsete joontena kõikide tööjaamade viimase 8 tunni tööaeg, seisuaeg, planeeritud seisakud ning viimase 8 tunni OEE, kasutatavuse, teostuse ja kvaliteedi näitajad.	Evocon OÜ tarkvara pearendaja, Evocon OÜ tarkvaraarendajad	Veebruar 2015 - Aprill 2016	Aprill 2016 - Mai 2016
9	Aruandluse mooduli teise versiooni arendus	Aruandluse mooduli teises etapis lisatakse võimalus andmeid täpsemalt filtreerida ning otsida. Lisandub süvitsi analüüsimise (ingl. <i>drill down</i>) funktsionaalsus.	Evocon OÜ tarkvara pearendaja, Evocon OÜ tarkvaraarendajad	Aprill 2016 - Mai 2016	Mai 2016 -
10	Andmelogeri nõuete ja funktsionaalsuse kaardistamine	Analüüsiti erinevaid võimalusi andmehõive korraldamiseks ning valiti kasutatavad tehnoloogiad.	Magistritöö autor	Mai - Juuli 2015	Mai - Juuli 2015
11	Andmelogeri spetsifikatsiooni kirjutamine	Valmib spetsifikatsioonifail, mis kirjeldab andmelogeri funktsionaalsust, riistvaralisi ning tarkvaralisi nõudeid, andmevahetust serveriga ning signaalilugemise režiime.	Magistritöö autor	- Juuli 2015	- Juuli 2015
12	Andmelogeri trükkplaadi disain ja prototüüpimine	Valitakse sobivad komponendid ning valmib andmelogeri trükkplaadi disain vastavalt spetsifikatsioonifailis kirjeldatud nõuetele. Tellitakse 10 prototüüpi, mis joodetakse kokku käsitsi. Prototüüpide valmimisel antakse neist 9 üle Evocon OÜ-le, kes korraldab seadmete testimise.	Wazombi Labs OÜ	Juuli - September 2015	Juuli - September 2015
13	Andmelogeri manustarkvara arendamine	Valmib andmelogeri tarkvara vastavalt spetsifikatsioonis kirjeldatud nõuetele.	Wazombi Labs OÜ	Juuli - November 2015	Juuli - Detsember 2015
14	Esimeste andmelogeri testimine (kontoris ja paigaldamine tootmisettevõttesse)	Andmelogereid testitakse kontoris ning esimesed andmelogeriid paigaldatakse olemas oleva või potentsiaalse kliendi tehasesse. Igapäevaselt jälgitakse logeri töötamist ning probleemide esinemisel otsitakse vigade põhjuseid.	Magistritöö autor	November 2015	25. November 2015

15	50 seadme valmistamine koos komponentide ladumisega	Wazombi Labs OÜ loodud jooniste järgi on valminud täisteenusena 50 andmelogerit ning need on tarnitud Evoconi kontorisse.	Alk Technic OÜ	Oktoober 2015	Oktoober 2015
16	Andmelogerite paigaldamine järgmistesse tootmisettevõtetesse	Esimeste paigaldatud andmelogerite põhjal on välja tulnud tarkvara vigu, mis on parandatud. Edasistest paigaldustest suuri vigu välja ei tule.	Magistritöö autor	Jaanuar 2016 -	

3.2 Nõuded

3.2.1 Arhitektuurilised eesmärgid ja nõuded:

- Pilvetehnoloogia võimaluste kasutamine äri edendamiseks
- Uuenduste ja paranduste jõudmine kõikide klientide juurde ühe korraga
- Kasutajakogemuse (UX, UI) parandamine läbi teenuse kõikide tasemetega
- Turvaline ligipääs kogutud andmetele üle rakendusliidese
- Süsteemi kiirem ja mugavam paigaldatavus võrreldes eelmise süsteemiga
- Lihtsam sidestamine teiste tootmissüsteemidega
- Lihtsam teenuse skaleeritavus uute klientide teenindamiseks
- Igapäevane ja automaatne andmete varundamine
- Süsteemi haldamise kulu vähenemine (litsentside tasud, paigaldus, püsikulud, süsteemi kasutuselevõtu kogukulu)
- Parandada Evoconi suutlikkust luua suuremat lisandväärtust töötaja kohta

3.2.2 Nõuded riistvarale:

- Andmeloger peab toetama 10/100 võrguühendust
- Andmeloger peab olema võimeline serveriga suhtlema HTTP ja HTTPS protokolle kasutades
- Seade peab andmeid salvestama võrguühenduse puudumisel ning ühenduse taastumisel salvestatud andmed ära saatma
- Krüpteeritud ühenduste kasutamine andmete transportimisel
- Andmeloger peab töötama 24V alalisvooluga

- Andmeloogeril peab olema 4 signaalisendit
- Andmeloogeri valmis riistvara hind ilma korpuseta peab jääma alla 50€
- Väikeseeria tootmise tellimise võimaldamine

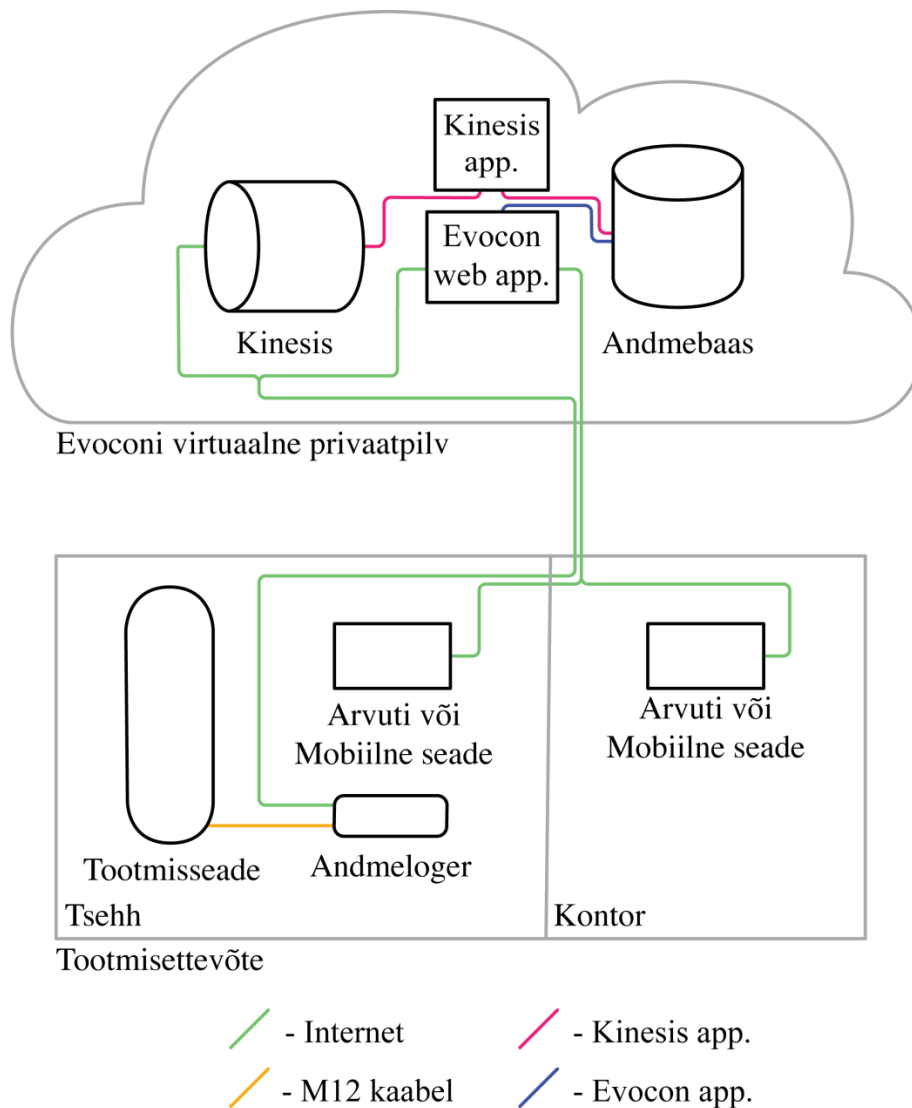
3.2.3 Nõuded tarkvarale:

- Serveriplatvormist sõltumatu arhitektuur
- Platvormist (operatsioonisüsteemist) sõltumatu ligipääs süsteemile
- Krüpteeritud ühenduste kasutamine andmete transportimisel
- Ülevaatlik ja lihtsamini kasutatav aruandlus
- Kasutajaliides peab olema ühtlane (samasugune ülesehitus erinevates moodulites)
- Maksimaalne lahenduse laadimise aeg esmasel avamisel 5 sekundit
- Maksimaalne andmete laadimise aeg veebilahenduses 1 sekund
- Süsteem peab olema lokaliseeritav (tõlgitav erinevatesse keeltesse)
- Süsteem peab toetama Google Chrome brauserit (Internet Exploreri tugi ei ole vajalik)

3.3 Arhitektuur

Arhitektuuri nõuetest lähtuvalt tuli esmalt välja valida pilvepõhise infrastruktuuri pakkuja. Selleks analüüsiti erinevate teenusepakkujate nagu Microsoft, Amazon ja IBM lahendusi. Erinevate lisateenuste rohkuse, jõudluse, lihtsasti skaleeritavuse ning infrastruktuuri pakkumise kogemuse tõttu otsustati taristu teenusena rentida ettevõttelt Amazon Web Services (AWS). AWS-i staatust sektori liidrina kinnitab Gartneri igaastane infrastruktuur teenusena valdkonna maagilise veerandi aruanne, mille põhjal AWS on olnud sektori juhtiv innovaator viimased viis aastat järjest. [22] Lisaks Amazon Elastic Compute Cloud serveriplatvormidele ja relatsioonilistele andmebaasiserveritele pakub AWS mitmeid valmislahendusi, mis võimaldavad keskenduda tugiteenuste arendamise asemel põhilise ärioloogika arendamisele. Näiteks Amazon Kinesis teenus võimaldab andmeid koguda ning puhverdada enne andmebaasi salvestamist. Amazon Simple Storage Service teenus võimaldab tihti päritavaid faile nagu veebiteenuse staatilised dokumendid ja pildi- või videofailid, turvaliselt hoiustada ja serveerida maailma erinevates paikades, parandades seeläbi failidele ligipääsetavuse kiirust.

Joonisel 4 on kujutatud uue eraldatud arhitektuuri skeem, kus andmeloger on ühendatud tootmiseadmele paigaldatud anduri ning Internetiga. Seade suhtleb aplikatsiooniserveriga, et sünkroniseerida aeg ja uuendada seadistusi ning saadab Amazon Kinesise voogu registreeritud tootmissignaali andmeid. Amazon Kinesis teenus võimaldab koguda suurel hulgal andmeid erinevatest sisenditest. Andmeid saab tavatingimustel voost lugeda ühe ööpäeva jooksul alates nende tekkimisest. See tähendab, et kui voo lugemise ja andmebaasi salvestamise aplikatsiooniga peaks midagi juhtuma, on põhjuste leidmiseks ning süsteemi töö taastamiseks aega 24 tundi. Nagu ka teiste Amazoni teenustega, on võimalik selliseid Kinesise voo parameetreid nagu mahutavus ja andmete hoiustamise aeg lisatasu eest vastavalt vajadusele suurendada. [23]



3.4 Riistvara

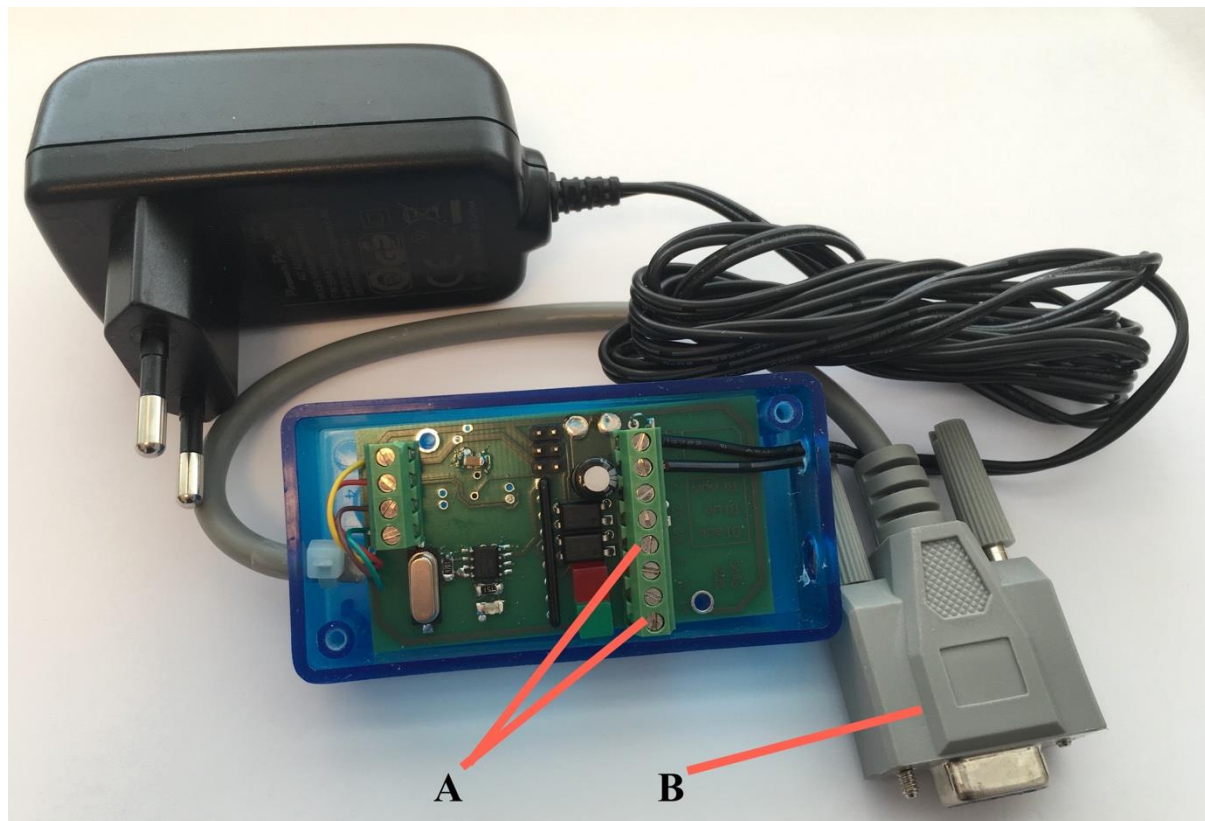
3.4.1 Andmete kogumine

Tootmistõhususe mõõtmise aluseks on täpsed, kontrollitavad ja reaajas kogutavad andmed toodetud toodangukoguste või seadme tööaja kohta. Andmete registreerimine tootmisliinile või seadmele paigaldatud andurite või olemasoleva tööstuskontrolleri (PLC) väljundsignaalide abil võimaldab koguda täpseid andmeid reaajas ning minimeerib inimliku eksimise võimaluse. Tootmisandmete registreerimiseks ja salvestamiseks on vaja seadet mis registreeriks sisendsignaale, lisaks signaalidele ajatempli ja sisendit ning andmelogerit identifitseeriva informatsiooni ning edastaks andmed serverisse. Kuigi eelmise põlvkonna Evocon süsteemi jaoks oli andmeloger välja arendatud, ei sobinud see teenuse uue arhitektuuriga. Sellest tulenevalt otsustati disainida ja välja arendada uus, muutunud arhitektuuri vajadustele vastav lahendus. See võimaldab lisaks manussüsteemi komponentide saadavusele ja nõuetele ning tarkvara võimalustele kontrollida ka seadme korpuse kuju ning laiendada Evoconi visuaalset kuvandit ka riistvarakomponendile. Kolmandate osapoolte valmislahenduste kasutamine tooks kaasa äririski, kuna kontroll funktsionaalsete võimaluste ning seadmete saadavuse osas puudub.

3.4.2 Eelmine andmeloger ja uus eraldatud arhitektuur

Eelmine põlvkonna Evocon süsteem kasutas andmelogerit millel oli kaks sisendit (A, joonisel 5) ning mis ühendati arvuti külge RS232-jadaliidese abil (B, joonisel 5). Sellest tulenevalt tuli tootmisalale iga tööjaama või kahe jaoks paigaldada arvuti, mis vahetas andmeid andmelogeri ja serveri vahel ning kuvas samal ajal tootmistööliste registreeritud andmeid. Tööstuskeskkond ei ole tavalistele arvutitele peenikese tolmu, niiskuse või muude keskkonna parameetrite tõttu tihti sobilik keskkond ning spetsiaalsete tööstuslike arvutite kasutamine muudab süsteemi kasutuselevõtu kalliks. Tootmisseisakute kommenteerimiseks ja tootmisinfo jälgimiseks soovib järjest rohkem kliente kasutada nutitelefone või tahvelarvuteid. Samuti koguvad alla 100-eurose hinna ning liikuvate osade puudumise tõttu väikest jõudlust vajavate rakenduste jooksutamiseks tööstuskeskkonnas populaarsust ühest trükkplaadist koosnevad miniarvutid (SBC). Miniarvutid töötavad enamasti spetsiaalsete Linux või Android operatsioonisüsteemidega, mis salvestatakse välisele mälukaardile. See tähendab, et arvuti katki minemisel tuleb informatsiooni kuvamise taastamiseks üks

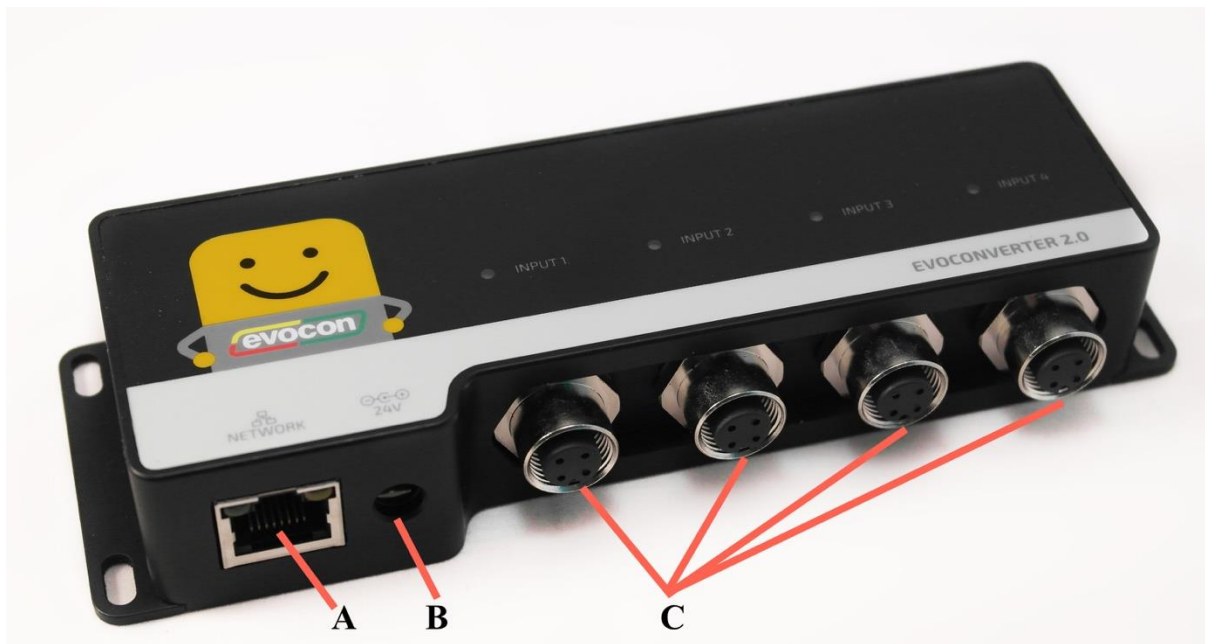
arvutiplaat teise vastu vahetada ning mälukaart ümber tõsta. Eelnevale tuginedes otsustati süsteemi arhitektuuris andmete kogumine ning andmete kuvamine üksteisest eraldada.



Joonis 5: Pilt eelmisest andmelogierist: A – sisendid, B – RS232-jadaliides.

3.4.3 Uue andmelogeri korpus ja ühendamine

Kuna seadme ja kogu süsteemi üks olulisi eesmärke on lihtne paigaldatavus ning ühendamine sisendsignaalidega, otsustati andmelogerial kasutada nelja tööstuslike andurite ühendamisel kasutatavat standardset M12 pesa (C, joonisel 6). Erinevalt andmelogierite puhul tavalisest kruvi- või vedruklemm kontaktide kasutamisest võimaldab see esiteks logeri külge andureid ühendada ka seadme operaatoril või tootmisjuhil ning teiseks muudab vajadusel signaalide ümber tõstmise või andmelogeri vahetamise lihtsaks ja kiireks. Kuigi eelmise põlvkonna andmelogerial oli kaks sisendit, suurendati uue seadme puhul sisendite arvu neljani. Praeguste klientide juures läbi viidud paigalduste kogemuse põhjal on enamikes tööstuses 2 kuni 4 seadet üksteisele piisavalt lähedal, et nende signaalikaablid ühte kesksesse seadmesse ühendada. Lisaks võimaldab see vähem võrguühendusi kasutades rohkem seadmeid süsteemiga ühendada. Süsteem vajab töötamiseks lisaks sisendsignaalidele ka võrguühendust ning 24V alalisvoolu seadme toitploki või toiteadapterist.



Joonis 6: Pilt uuest andmelogierist: *A – võrgupes, B – 24V alalisvoolu toitepesa, C – M12 tööstuslikud pesad.*

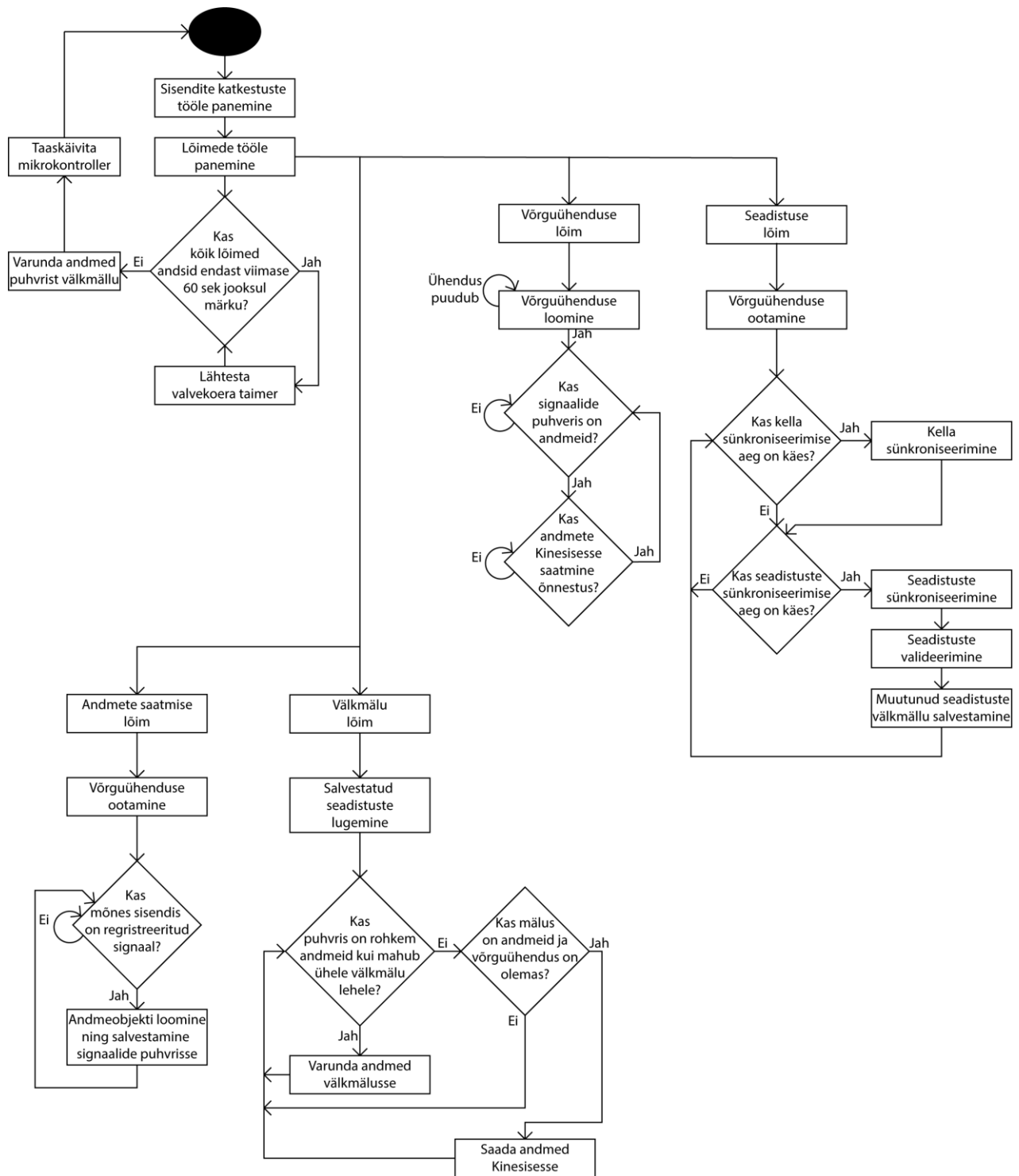
3.4.4 Riistvara

Käesoleva töö autor kirjutas riistvara arenduseks spetsifikatsiooni faili mille alusel telliti trükkplaadi disain ettevõttest Wazombi Labs OÜ. Manussüsteemi riistvara- ja tarkvaraarendus osteti sisse kuna ettevõttes ei ole piisava kogemusega missioonikriitilise riistvara arendajat. Käesoleva töö autor oli tellija poolseks projektijuhiks ning lõpliku insertertehnilise arhitektuuri eest vastutajaks. Terve arendusprotsessi jooksul oli töö autor Wazombi Labs OÜ inseneridega tihedas suhtluses, täpsustas töö käigus spetsifikatsiooni ning selgitas vajadusel tarkvara funktsionaalsuse eripärasid ning eesmärgid. Pärast prototüüpide testimise ning paranduste tsüklit telliti 50 seadme valmistamine ettevõttest ALK-Technic OÜ. Tellitud seadmetest 40 on paigaldatud ning töötavad erinevates tehastes Eestis, Soomes, Lätis, Suurbritannias, Brasiilias ja Ameerika Ühendriikides.

3.4.5 Tarkvara

Andmeloger kasutab erinevate oluliste tegevuste haldamiseks eraldi lõimesid. Peaprogramm kontrollib erinevate lõimede tööd ning varundab mõne lõime seiskumisel kogutud andmed ja taaskäivitab mikrokontrolleri. Autori poolt logeri koodi põhjal loodud põhiprogrammi tööskema on toodud joonisel 7. Andmeloger ei vaja tööle hakkamiseks eraldi seadistamist,

vaid küsib vooluvõrku ühendamisel DHCP protokolliga kaudu IP-aadressi ning proovib seejärel ühenduda Evoconi serveriga. Kui ühendust serveriga ei suudeta luua, annab andmeloger sellest võrgupesa küljes oleva lambi vilkumisega teada. Kui ühendamine serveriga õnnestub, siis sünkroniseerib andmeloger kella ning seadistusparameetrid. Vaikimisi on serveris määratud seadistused keskmise tükitootmisega tegeleva ettevõtte jaoks. Täpsem seadistamine mõõterežiimi, signaalide filtreerimise või signaalide kokku pakkimiseks viiakse läbi tootmiseseadme seadistamise käigus veebilahenduses ning loetakse kontrollerrisse perioodiliste uuenduste käigus automaatselt.



Joonis 7: Andmelogi programmi tööskeem.

3.4.6 Mõõterežiimid

Üheks andmelogeri arendamise põhjuseks oli erinevate mõõterežiimide võimaldamine. Lisaks tavalisele signaali registreerimisele, kus registreeritakse toodetud kogustele vastavaid sisendsignaale, peab andmeloger võimaldama ka seadme tööaja ning manuaalse tsüklilise töö registreerimist.

Tavalises signaali registreerimise režiimis registreerib andmeloger sisendi oleku muutuse. Kui sisendi olek muutub kõrgeks pikemaks ajaks kui seadistatud *on*-filter, määratakse signaal korrektseks. Kui korrektseks määratud signaal muutub madalasse olekusse siis saadetakse serverisse andmepakett signaali madalasse olekusse muutumise ajatempliga. Lisaks *on*-filtrile on võimalik seadistada ka *off*-filtrit, mida hakatakse lugema sisendi madalasse olekusse mineku hetkel. Kui enne *off*-filtri aja täitumist registreeritakse uus signaal, siis seda ignoreeritakse. *Off*-filtri seadistamine võimaldab registreerida aukude või erilise kujuga detaile, mis filtri puudumisel tekitaks mitu signaali. Lisaks filtritele on võimalik sisenditele seadistada ka mastaabimuunduri (ingl. *scaler*). Mastaabimuundur on vajalik kiirete signaalide registreerimisel, et mitte ajada suureks serverisse saadetavate andmepakettide hulka. Näiteks inkrementaalse impulssanduri väljundi või minutis 50 jogurtitopsi lugemise korral.

Seadme tööaja registreerimine võimaldab koguda informatsiooni kasuliku tööaja ja seisakute kohta kui tootmiseseadmete tsükliajad varieeruvad või partiid on väikesed. Lisaks eelnevale kasutatakse tööaja mõõtmist seadmetel, kus toodetud koguste info ei ole oluline (või on kättesaadav teistest süsteemidest), toodangut on raske täpselt automaatselt lugeda või kui toimub pidevtootmine. Sellised on näiteks CNC-freesid, -treipingid või ekstrusiooni seadmed. Tööaja režiimis toimub sekundite lugemine kui sisendsignaal on kõrges olekus ning lugemine katkestatakse kui sisendsignaal muutub madalasse olekusse. Andmepakette saadetakse üldjuhul serverisse kord minutis. Kui sisendsignaal muutub madalasse olekusse enne minuti täitumist, saadetakse serverisse selleks hetkeks loetud sekundite arv.

Poolmanuaalse tsüklilise töö registreerimisel näiteks painutuspinkide või liivapritsi puhul töötab süsteem tööaja registreerimise režiimis kuid määratud on ette nähtud detaili vahetamise aeg. Detaili vahetamise aega hakatakse lugema kui sisendsignaal muutub madalasse olekusse. Kui detaili vahetus toimub ette nähtud aja raames, loetakse ka see madala sisendsignaali olekuga aeg tõhusaks tööajaks. Kui detaili vahetamisega läheb seadme

operaatoril lubatust kauem aega siis saadetakse serverisse andmepakett sisendsignaali madalasse olekusse muutumise ajatempliga.

3.5 Veebiteenus

3.5.1 Arhitektuur

Eelmise põlvkonna Evocon süsteemi puhul kuvati tootmisandmeid operaatoritele vaid Windows operatsioonisüsteemile paigaldatava tarkvara abil. Kuna inimesed eeldavad järjest rohkem tuntud rakenduste nagu Google Mail või Dropbox lihtsust ning kasutusmugavust leida ka töötarkvaras otsustati uue versiooni kasutajaliides lahendada brauseripõhise veebiteenusena. Lisaks sellele on iga kliendi sisevõrku paigaldatava tarkvara ja andmebaasi haldamine ebamugavam ning aeganõudvam kui Evoconi valduses olevate serverite ning andmebaaside haldamine. Veebipõhist lahendust, mis kogutud andmeid töötleb ning kuvab, tarnitakse tarkvara teenusena (SaaS) põhimõttel. Tarkvara teenusena lahendus on kliendi jaoks mugav kuna võimaldab ligipääsu lahendusele seadmetest ning asukohast sõltumatult. Lisaks sellele ei ole kliendil vaja uuendada tarkvara ning osta, üles seada ega hallata servereid.

Veebiteenuse arhitektuur on lahendatud ühiskasutamise (ingl. *multi-tenancy*) põhimõttel, kus üksteisest sõltumatult saab sama teenust kasutada suur hulk kasutajaid. Ühiskasutamise andmete hoiustamise arhitektuur otsustati lahendada iga kliendi jaoks individuaalse andmebaasi loomisega. Alternatiivsete lahendustena on võimalik kasutada kõikide klientide jaoks ühte andmebaasi ning erinevaid andmebaasiskeeme või jagatud andmebaasi ja skeemi koos klienti identifitseeriva veeruga igas tabelis. Valitud lähenemine on alternatiividest arendamise keerukuse poolest lihtsamini ja kiiremini teostatav ning andmete eraldatus erinevatesse andmebaasidesse tähendab paremat kaitset vale kasutaja andmete kuvamise vastu. Lisaks on eraldi andmebaase kasutades vigade või andmekadude tekkimisel andmeid kergem taastada. [24]

3.5.2 Turvalisus

Tarkvara teenusena lahenduste puhul tõstatub küsimus süsteemi turvalisusest. Gartneri analüütiku hinnangul on tegemist pigem tunnetusliku kui analüüsil põhineva probleemiga, mida saab lahendada ettevõttes kasutatavate turvapraktikate kohta informatsiooni jagamisega. [25] Üle Interneti liigutatavate andmete pealt kuulamise vältimiseks kasutatakse nii andmelogeri kui veebiteenuse puhul serveriga suhtlemisel transpordikihi turbeprotokoll (TLS). Turvalisust aitab tagada ka võimalus luua privaatseid eraldatud virtuaalpilvi ning vaikimisi turvaline õiguste süsteem, kus uuel kasutajal õigusi ei ole ning vajalikud ligipääsud tuleb lubada.

3.5.3 Rakendused

Veebilahenduse serverirakendus otsustati luua Java programmeerimiskeeles ning see töötab Tomcat serveris. Andmevahetuseks veebilehitseja ning andmelogelitega kasutatakse HTTP, HTTPS ja WebSocket protokolle. Andmete liigutamine on lahendatud rakendusliidese (API) abil. API päringuid kasutab ka andmeloger ajatempli ning seadistuste uuendamiseks. Veebiliidese (*Front-end*) poolel kasutatakse HTML5, CSS3 ja AngularJS tehnoloogiaid. Lisaks veebilahendusele töötab pilveserveris ka Kinesise rakendus mis valideerib andmevoogu saadetud andmeid ning salvestab need õige kliendi andmebaasi. Kui andmed ei läbi näiteks liiga vana ajatempli tõttu valideerimist siis logitakse need veapõhjuste otsimiseks andmebaasi eraldi tabelisse.

3.5.4 Veebiteenuse struktuur

Eelmise versiooni puhul paigaldati arvutitesse eraldiseisvad tööjaamad ning seadistuste programmid ning aruandlus kuvati serverisse paigaldatud veebilehe kaudu. Uus lahendus võimaldas kõik teenuse osad, mis varem töötasid eraldi programmina üheks tervikuks kokku tuua. Veebiteenus jaotati järgmisteks ühtse disainiga vaadetekks:

- Tööjaam
- Aruandlus
- Mõõdikud
- Kõik tööjaamad
- Seadistused

3.5.4.1 Tööjaama moodul

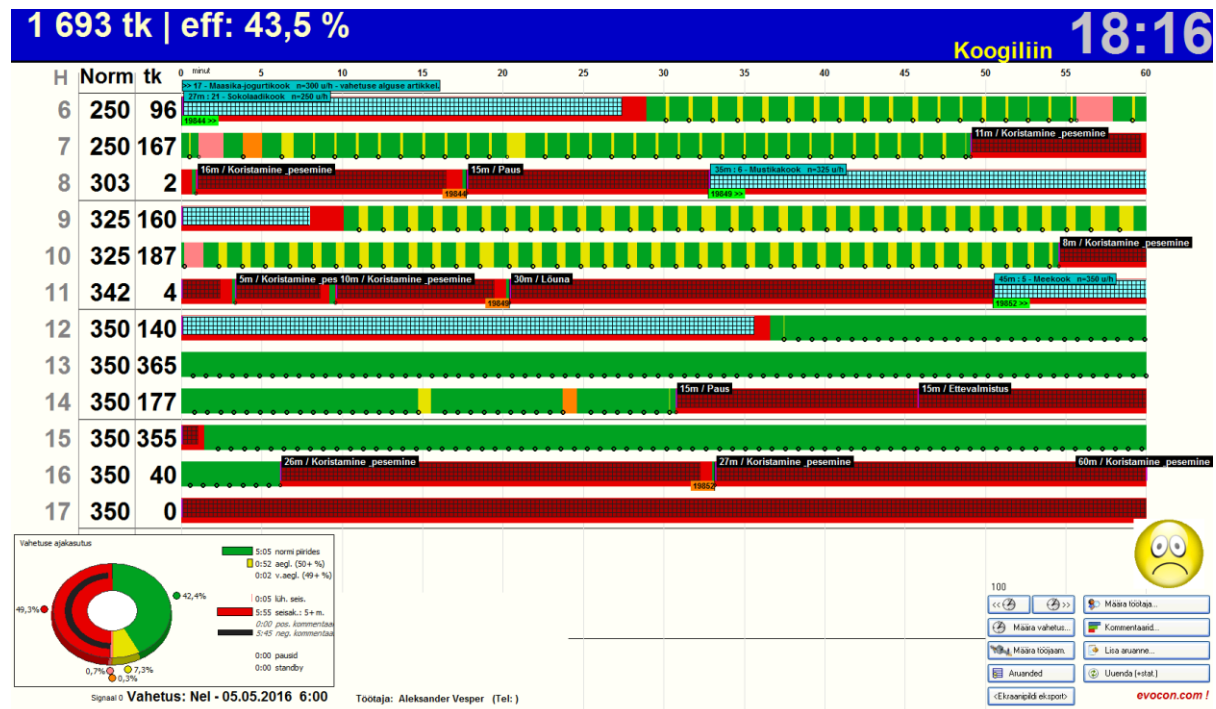
Tööjaama moodul on Evoconi süsteemi keskne osa, mille abil kuvatakse tootmiseadme operaatoritele ja kontorikasutajatele informatsiooni ühe vahetuse raames toimunud tootmissündmuste kohta.

Joonisel 8 on esitatud eelmise versiooni ning joonisel 9 uue veebilahenduse tööjaama vaate ekraanitõmmis. Vaated võib jagada kolmeks - ülemine päise osa, keskmine ühe tunni kaupa jaotatud osa ning alumine nuppudega osa. Uue versiooni tööjaama vaadet disainides pöörati erilist tähelepanu nii kasutuskogemuse parandamisele nii tavalist arvutit kui puutetundliku ekraaniga seadet kasutades kui ka elementide loogilisele paigutusele. Päises kuvatakse tööjaama nime, kogu vahetuse toodangu kogust ning tõhususe näitajat. Vanas versioonis all paremal nurgas asunud nupud, mis olid mõeldud tööjaamade ja vahetuste vahel liikumiseks, liigutati päisesse, kus asub informatsioon valitud tööjaama, vahetuse nime ja kuupäeva kohta. Päisesse lisati ka tootmise ajalugu ning võimalus toote vahetamisel määrata tellimuse kogus. Kui operaator määrab tellimuse koguse siis kuvatakse aktiivse toote all hallil ribal visuaalselt tellimuse täitmise progressi. Oluline on ka emotikon (uues versioonis härra Evocon), mis vastavalt OEE väärtusele on tõsine, neutraalne või rõõmus. Emotikon on vahetuse tõhususe taseme visuaalne esitus ning paneb klientide tagasiside põhjal tootmistöölisi rõõmsa näo saavutamise nimel rohkem pingutama.

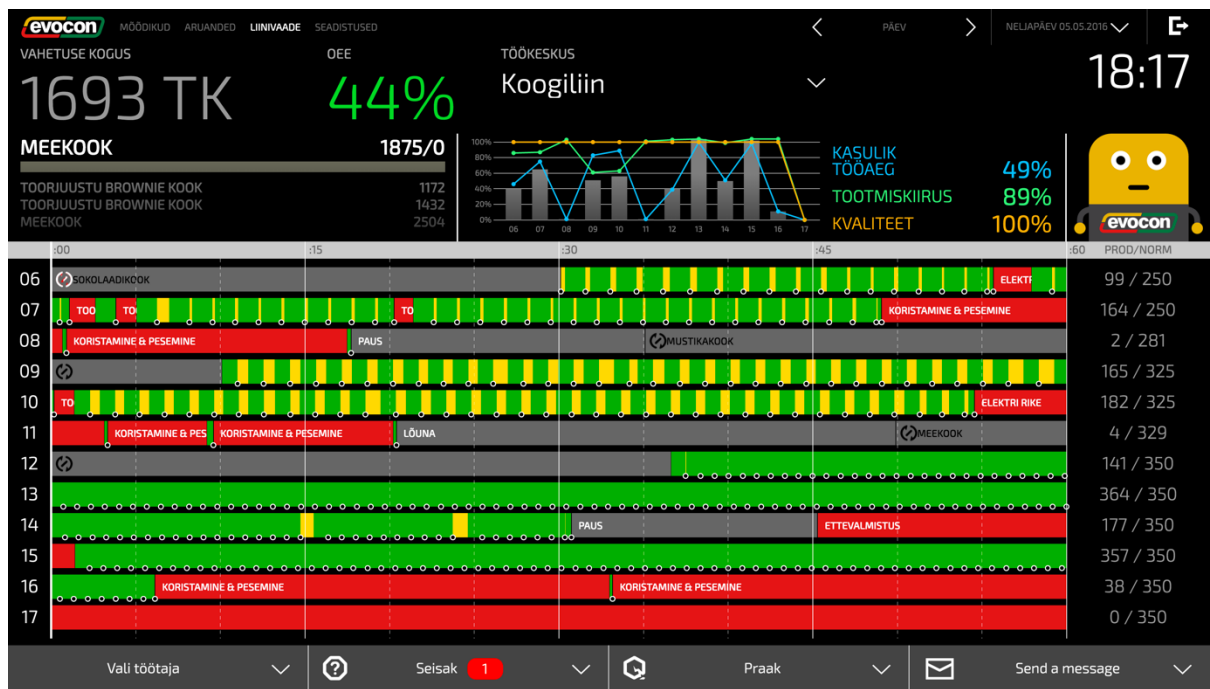
Tunnijoontelt saab tootmistööline reaajas uuenevat informatsiooni ette nähtud kiirusega tootmise (rohelised alad), aeglase tootmise (kollased ja oranžid, uues versioonis ainult kollased alad), ja seisakute (roosad ja punased, uues versioonis ainult punased alad) kohta. Lisaks kuvatakse tunnijoontest vasakul (uues versioonis paremal) vastavalt tootele seadistatud tsükliaja põhjal arvatud tunni eesmärgid ja tegelikult toodetud kogused. Tunnijoontel punasega kuvatud seisakualadele tuleb operaatoril märkida süsteemis eelnevalt kirjeldatud seisakupõhjused ning tootevahetused. Seisakupõhjuste märkimiseks tuleb operaatoril klõpsata punasele alale, valida seisakupõhjuse grupp, seisakupõhjus ning valik salvestada. Tootevahetuse märkimine käis eelmises süsteemis erilist tootevahetuse kommentaari kasutades. Valides tootevahetuse kommentaari kuvati kasutajale toodete nimekiri, millest uue toote valik teha. Uues süsteemis on toote vahetamiseks kommenteerimise aknas eraldi sakk koos otsinguvõimalusega. Seisakualadele lisatud põhjused kuvatakse punasel alal valge tekstiga, tootevahetuse ning planeeritud seisakutega

kommenteeritud alad kuvatakse hallina kuna need seisakud on põhjendatud. Seisakupõhjuste korrektne märkimine on oluline, kuna sellest oleneb seisakute aruande andmete korrektsus ning kasulikkus. Korrektselt sisestatud andmed võimaldavad juhtidel ning töolistel saada ülevaate suurematest ajakadudest ning leida võimalusi tõhususe parendamiseks.

Kasutaja valimine, kõikide lisatud seisakupõhjuste haldamine, praagi märkimine ning sõnumite või aruannete saatmine lahendati uues versioonis alumisse äärde tekitatud riba abil. Sektordiagramm kogu vahetuse ajakasutuse kohta asendati tunnipõhise OEE graafikuga üleval keskel.



Joonis 8. Eelmise versiooni tööjaama vaade.



Joonis 9. Uue versiooni tööjaama vaade.

3.5.4.2 Aruandlus

Aruandlusmooduli arendamisel võeti aluseks ärianalüüsi arengusuunad, milleks on iseteeninduslike ning visuaalsete ja lihtsasti arusaadavate aruannete nõudluse kasv. [26] Lisaks sellele on klientide tagasisidest eelmise versiooni aruandlusele tugevalt välja tulnud vajadus andmetasemete vahel mugavamalt liikuda. Sellest tulenevalt otsustati uue süsteemi esimesse versiooni luua viis lihtsasti kasutatavat ja ülevaatliku aruannet OEE, ajakasutuse, toodangu ja kvaliteedi, seisakupõhjuste ning tsükliajegade informatsiooni kuvamiseks. Kasutusmugavuse tõstmiseks muudeti andmete muutumine reageerivaks. See tähendab, et muutes ajavahemikku või filtreid uueneb kohe nii aruande graafik kui andmetabel ja selleks ei pea eraldi otsingu nuppu vajutama. Ülevaatlikkuse parendamiseks lisati kõikide aruannete juurde graafikud mis graafiku all tabelis valitud rea kohta käivat informatsiooni visualiseerivad.

Nõudlikumad kasutajad saavad API liidese abil kogutud andmed ühendada iseteeninduslike ärianalüüsi platvormidega nagu näiteks Tableau, QlikView ja Microsoft PowerBI. BI platvormid võimaldavad kasutajal andmeid visualiseerida, erinevates äritarkvarades hoitavate andmetega kokku viia ning seeläbi täpsemaid analüüse teostada. Kuigi tänaseni Evoconi lahendust kasutavad ettevõtted kogutud andmeid ärianalüüsi platvormis ei analüüsi, võib arengusuundi vaadates ennustada, et seda võimalust hakatakse järjest rohkem kasutama.

3.5.4.3 Mõõdikud ja kõikide liinide vaade

Uue vaatena loodi süsteemi mõõdikute (ingl. *dashboard*) ning kõikide tööjaamade vaated. Mõõdikute vaade võimaldab ühele aknale üles seada kuni kuus graafikut OEE, tootlikkuse näitajate või seisakupõhjuste kohta. Graafikutel on võimalik määrata ajaperiood ning tööjaama(d) mille kohta informatsiooni kuvatakse. Kõikide tööjaamade vaatel kuvatakse tööjaamade viimase kaheksa tunni tunnijooned koos perioodi OEE ning selle komponentide väärtustega. Tunnijoone värvid peegeldavad tööjaama vaadet. Mõõdikute ning kõikide liinide vaade on mõeldud kuvamiseks suurel ekraanil, millest möödujad saavad pilku heites ülevaate tehase tööst.

3.5.4.4 Seadistused

Seadistusmooduli abil saavad administraatori õigustega kasutajad muuta ja lisada seisakupõhjust, tooteid, töötajaid ning seadistada ja lisada tööjaamu. Eelmise versiooni eraldiseisev seadistusprogramm oli saadaval vaid inglise keeles ning selle arendamisel ei olnud suurt rõhku pandud kasutajamugavusele. Näiteks võimaldas süsteem ühe tööjaama kohta muuta 73 parameetrit, millest vähemalt 80% paigalduste jooksul muudeti vaid 23 seadistust. Pikk nimekiri, millest seadistusi otsida ning aktsepteeritavate seadistusväärtuste piiramise puudumine muutis tarkvara paigaldamise ning haldamise keerukaks, suurendades nii Evoconi kasutajatoe kui kliendi ajakulu. Uues lahenduses kaotati ebavajalikud seadistused ning viidi mitmed parameetreid loogilisematesse kohtadesse. Näiteks kui varem määrati tootmisliinil kuvatavate tooteartiklite nimekiri tootmisliini seadistuse alt siis uues versioonis tuleb tooteartikli loomisel määrata, mis tööjaamades ning mis tsükliajaga tooteartiklit toodetakse.

4 Tulemuste analüüs

Kaasaegsetel tehnoloogiatel põhineva pilveteenuse arendamise projekti alguses analüüsis autor olemasoleva süsteemi nõrkusi, arhitektuurilisi võimalusi, veebiteenuse tarkvaralahendusi ning andmelogeri loomise võimalusi, et leida parimaid praktikaid mida uue süsteemi loomisel kasutada. Projekti edukuse kontrollimiseks analüüsiti veebiteenusele ja riistvarakomponendile seatud eesmärkide täitmist. Selgus, et suurem osa nõuetest on täidetud. Testivate ettevõtete tagasiside süsteemi funktsionaalsuse, kasutajaliidese disaini ja kasutajakogemuse kohta on olnud positiivne, probleeme on tõstatatud seoses arvutus- ja ümardusvigadega aruandluses ning süsteemi võimaluste piiratusega. Senise kogemuse põhjal saab väita, et pilvearhitektuuri teenusepakkuja Amazon Web Services valimine on osutunud õigeks valikuks. Teenuse kvaliteedi ega saadavusega ei ole probleeme olnud, teenuse seadistamine on olnud lihtne ning veebipõhised juhendid on tekkinud küsimustele vastused andnud. Lisaks on teenuste ja serverite lisamine lihtne ning kiire.

4.1 Esinenud probleemid

Esimese 50 seadme valmistamisel jäeti trükkplaadile ladumata andmelogeri neljandat sisendit vale polaarsuse eest kaitsev diood. Juurpõhjuse otsimisel selgus, et diood oli puudu tehasele saadetud failidel. Seega on antud viga põhjustatud autori lohakusest failide kontrollimisel. Teise seeria tellimisel juhtis autor antud komponendi puudumisele tähelepanu ning komponent lisati.

Üks 2016. aasta alguses paigaldatud andmelogeri ei saanud tootmisettevõtte võrgust ühendudes kella ja kuupäeva infot sünkroniseerida. Andmelogeri tarkvara kasutas juhtumi ajal kellaaja sünkroniseerimiseks võrguaja protokoll (NTP). Kuna NTP kasutab andmevahetuseks porti 123 mis võib ettevõttes, kus kasutatakse kohalikku kellaservert, olla blokeeritud, otsustati kellaaja sünkroniseerimine sarnaste probleemide vältimiseks lahendada veebiserveri API päringu. Kuigi uus lahendus on NTP protokollist ebatäpsem, jääb viga mõõtmistulemustele tuginedes alla ühe sekundi, mis on antud lahenduse puhul piisav. Pärast ajatempli sünkroniseerimise viimist 80. porti kasutavale HTTP protokollile, mis on üldjuhul avatud, ei ole kirjeldatud probleemi enam esinenud.

Nii veebiteenuse kui andmelogi arendamise projekti etapid vältasid planeeritud ajast kauem. Seda saab seletada autori vähese kogemusega projektide planeerimisel ja juhtimisel ning arendajate liigse optimismiga projekti tööde mahukuse hindamisel. Veebiteenuse osas on suurem osa välja tulnud probleemide põhjustest seotud testijate liiga varajases faasis süsteemi lubamisega. Kuna veebiarenduse esimeste etappide lõpetamine võttis planeeritust kauem aega, kuid soovijaid uue süsteemi katsetamiseks oli mitmeid, kasutasid esimesed testijad vaid tööjaama vaatega piirduvat süsteemi.

4.2 Nõuetele vastavus

Projekti alguses määratud riistvara ja tarkvaranõuetest on kõik täidetud. Ühe seadme maksumus kahe tellitud partii (kokku 100 seadet) peale kokku koos komponentide ladumise ning stensiili tellimisega oli 50,25€. Järgmise sama suure partii tellimise puhul muutub tellimuste keskmine hind juba alla nõutud 50€ kuna stensiili kulu jaguneb suuremale arvule seadmetele. Arhitektuurilistest eesmärkidest on poolikult täidetud nõue ligi pääseda süsteemile erinevatel platvormidel. Kuigi veebibrauseri kaudu on võimalik süsteemi väikese ekraaniga nutitelefoni kasutada, on selle kasutuskogemus dünaamilise veebidisaini ja telefonirakenduse puudumise tõttu ebameeldiv. Lisaks ei ole veel võimalik numbriliselt hinnata süsteemi skaleeritavust võrreldes eelmise lahendusega. Autori hinnangu põhjal on esimese 21 lahendust prooviva tootmisettevõtte andmebaaside seadistamine ning informatsiooni sisestamine olnud oluliselt mugavam kui eelmises lahenduses.

5 Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö eesmärk oli luua uus Evocon IT-lahenduse versioon, mis põhineks tänapäevastel IT-tehnoloogiatel ning võimaldaks automaatset tootmistõhususe mõõtmist ning visualiseerimist erineva suuruse ning profiiliga tootmisettevõtetes pakkuda olemasolevast lahendusest lihtsamini ning ettevõttele suuremat lisandväärtust luues.

Eesmärgi täitmiseks analüüsi tootlikkuse mõõtmise teooriat ning Eesti tootmisettevõtete tootlikkust ning selle mõõtmist. Seejärel püstitati nõuded uue süsteemi arhitektuurile, riistvarale ning tarkvarale. Nõuete püstitamisele järgnes projekti plaani loomine, sobivate tehnoloogiate leidmine ja süsteemi arendustegevuse kirjeldamine nii arhitektuuri, riistvarakomponendi kui ka veebiteenuse osas.

Projekti edukust analüüsi seatud eesmärkide täitmisega. Selgus, et suurem osa nõuetest on täidetud. Arhitektuurilistest eesmärkidest on poolikult täidetud ligipääs süsteemile erinevatelt seadmetelt ning skaleeritavus uute klientide teenindamisel, mis selgub teenuse pakkumise pikema ajaperioodi jooksul. Riistvarakomponendile esitatud nõuded täideti, kuid arenduse lõpetamine võttis planeeritust kauem aega. Veebiteenuse arendus venis samuti kuid andmete registreerimise, tööjaama vaate kuvamise ning esmase aruandluse ja visualiseerimise põhifunktsionaalsused sai täidetud.

Kuigi kogu Evoconi pakutava lahenduse veebiteenuse kõik magistritöös kirjeldatud funktsioonid ei ole töö esitamise seisuga täielikult valmis, testitakse süsteemi mitmetes tootmisettevõtetes Eestis ja välisriikides, näiteks Soomes, Brasiilias ja Ameerika Ühendriikides. Kasutajatelt saadud tagasiside kasulikkuse, kasutajaliidese ning kasutatavuse kohta on olnud positiivne, negatiivse poole pealt tuuakse enim välja aruandluse võimaluste vähesust.

6 Summary

The aim of this thesis is to develop a new web based cloud application that helps manufacturing companies measure and visualize their productivity and gain insights to improve their processes. The cloud based system is developed to be used in manufacturing companies irrespective of their size, profile or location.

The first part of the thesis concentrates on productivity measuring theory and measuring of productivity in Estonian manufacturing companies. Afterwards, a project and requirements for developing a cloud based production efficiency measuring system are presented. Decisions for selecting and implementing system architecture, hardware and software are analyzed and presented. In conclusion, requirements are checked and validated and issues that emerged are discussed.

It was concluded that all but few of the requirements were set. From architectural requirements, accessing the system from different devices and scalability for servicing new customers can be regarded as half-filled. The system is accessible from a mobile phone but it is lacking the scaling feature that would make it usable. Scalability of servicing remains tested until more customers join the system. All requirements set for the data logger were met but the development ended a month later due to delays in communication and development. Software development was also delayed but the main required functionality for production line view, reporting and data visualization were developed.

Although all functionality that was planned to be finished in the project in the first year was not finalized, the system is being tested in multiple manufacturing sites in Estonia, Finland, Brazil, the United States of America and the United Kingdom. Feedback from customers regarding the usability and usefulness of the system has been great. Missing drill-down functionality and lack of specific reports have also been noted on the negative side.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- [1] Riigikantselei, "Konkurentsivõime kava "Eesti 2020", (2016).
https://riigikantselei.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/eesti2020/eesti2020_2016-2020_05.05.16.pdf.
- [2] PriceWaterhouseCoopers Advisors AS, "Lõpparuanne e-äri ja e-kaubanduse kasutamine Eestis ja kasutamise laiendamise võimalused," (2013).
https://www.mkm.ee/sites/default/files/lopparuanne_-_e-ari_ja_e-kaubandus_1_6_avalik_2013.pdf.
- [3] U. Varblane ja U. Varblane, "Eesti majanduse aktuaalsed arenguprobleemid keskpikas perspektiivis", Tartu, Tartu Ülikooli Kirjastus, 2009, lk. 139-140.
- [4] J. Jasperneite, "Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt," (2012).
<http://www.computer-automation.de/steuerungsebene/stuern-regeln/artikel/93559/1/>.
- [5] K. McPherson, "Smart Manufacturing: From Revolution to Value", (2015).
<http://www.automationworld.com/industrial-internet-things/smart-manufacturing-revolution-value>.
- [6] F. Quint, "Best practises in utilizing Industry 4.0 principles," (2015).
<http://industry40.ee/wp-content/uploads/2015/05/ppt-Fabian-Quint.pdf>.
- [7] F. Mayer, D. Pantförder, C. Diedrich ja B. Vogel-Heuser, "Deutschlandweiter I4.0-Demonstrator," (2014).
<https://mediatum.ub.tum.de/download/1178726/1178726.pdf>.
- [8] C. Alessi and C. Gummer, "Germany Bets on 'Smart Factories' to Keep Its Manufacturing Edge," (2014).
<http://www.wsj.com/articles/germany-bets-on-smart-factories-to-keep-its-manufacturing-edge-1414355745>
- [9] Rexroth Bosch, "First Connected Industry line on-stream in daily production," (2014).
<https://www.boschrexroth.com/en/xc/company/press/index2-10816#>.
- [10] S. Tangen, "Demystifying productivity and performance," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 54, nr. 1, lk. 34-46, (2005).
- [11] E. Kalle, Tootlikkusealane evolutsioon Eestis, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2013.
- [12] E. Kalle, Tootlikkuse kasvu juhtimine ettevõttes, Tallinn: Kirjastus "Külim", 2007.

- [13] OEE Foundation, "Origin of OEE,".
<http://www.oeefoundation.org/origin-of-oe/>.
- [14] A. Miina, T. Soon, I. Joost, E. Rohult, J. Kukkonen, R. Zahharov and E. Sogenbits, Kulusäästliku mõtlemise terminite inglise – eesti ja eesti – inglise seletav sõnastik, Tallinn, 2013.
- [15] Tallinna Tehnikaülikool, "Tootmisjuhtimise operatiivtasandi uuring," (2011).
<http://www.eas.ee/images/doc/sihtasutusest/uuringud/ettevotlus/tootmise-juhtimise-operatiivtasandi-uuring-tty.pdf>
- [16] A. Miina, "Critical Success Factors of Lean Thinking Implementation in Estonian Manufacturing Companies," Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2012, lk. 43, 61-63.
- [17] Tallinna Tehnikakõrgkool, "Tootmise ja tootmiskorralduse õppekava keskendub keskastme tööstusjuhtide õpetamisele," (2016).
<http://www.ttk.ee/uudised/tootmise-ja-tootmiskorralduse-oppekava-keskendub-keskastme-toostusjuhtide-opetamisele>.
- [18] Tallinna Tehnikaülikool, "Magistriõppe eriala: Tööstustehnika ja juhtimine," (2016).
<http://www.ttu.ee/mehaanikateaduskond/mehaanikateaduskond-1/mehaanika-sisseastujale/magistrioppe-erialad-6/?id=66846>.
- [19] T. Qu, H. D. Yang, G. Q. Huang, Y. F. Zhang, H. Luo ja W. Qin, "A case of implementing RFID-based real-time shop-floor material management for household electrical appliance manufacturers," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 23, nr. 6, lk. 2354, (2010).
- [20] A. Snatkin, T. Eiskop, K. Karjust ja J. Majak, "Production monitoring system development and modification," *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 2015, lk 567–580.
- [21] K. Guutmann, "Tootmistegevuse süsteemi roll äriprotsesside toetajana elektroonikaettevõtte näitel", magistritöö, Tallinna Ülikool, (2012).
- [22] L. Leong et. al., "AWS named as a leader in the IaaS Magic Quadrant for the 5th consecutive year," (2015). <https://aws.amazon.com/resources/gartner-2015-mq-learn-more/>.
- [23] Amazon Web Services, "Amazon Kinesis Streams Key Concepts," (2016).
<http://docs.aws.amazon.com/streams/latest/dev/kinesis-dg.pdf>.

- [24] F. Chong, G. Carraro, ja R. Wolter, "Multi-Tenant Data Architecture," (2006).
<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa479086.aspx>.
- [25] D. M. Smith, "The Top 10 Cloud Myths," (2014).
<https://www.gartner.com/doc/2860422>.
- [26] R. Marvin, "10 Business Intelligence Trends for 2016," (2016).
<http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2496370,00.asp>.

Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Erki Viidalepp,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “IT-lahenduse arendamine tootmisettevõtetele tootmistõhususe mõõtmiseks ning parendamiseks Evocon OÜ näitel”, mille juhendaja on Roman Zahharov,
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace’i kaudu alates **01.06.2019** kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **20.05.2016**