



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

Tarbimise juhtimine tootmisettevõttes kasutades DMAIC ja Six-Sigma metoodikaid

Elektroenergeetika õppekava

Energiasüsteemide õppetool

Magistritöö

Õppetooli juhataja

prof Heiki Tammoja

Juhendaja

Aron Kuhi-Thalfeldt

Kaasjuhendaja

Reeli Kuhi-Thalfeldt

Lõpetaja

Kaarel Lahtvee

Tallinn 2015

Autori deklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile tehnikateaduste magistrikraadi lõpudiplomi taotlemiseks elektroenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Kaarel Lahtvee	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Tarbimise juhtimine tootmisettevõttes kasutades DMAIC ja Six-Sigma metoodikaid	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2015	73 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Energeetika	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika	
<i>Õppetool:</i> Energiasüsteemide	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Aron Kuhi-Thalfeldt ja Reeli Kuhi-Thalfeldt	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i>	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Magistritöö peamiseks eesmärgiks on kasutades DMAIC ja Six Sigma meetodeid, välja töötada metodoloogia, mille abil saavad tootmisettevõtted kaardistada ja analüüsida enda tarbimist ning seeläbi vähendada jaotuspunktide maksimaalseid kasutusvõimsusi tunnis. Nende meetodite kohaselt ärialane probleem või väljakutse tõlgendatakse kõigepealt statistilisteks probleemiks, lahendatakse võrrandid ja pärast tõlgendatakse tulemusel tagasi äritegevuses kasutatavaks lahenduseks.</p> <p>Probleemi näitlikustamiseks tuuakse töö käigus välja ühes tööstusettevõttes seni välja pakutud meetodite kitsaskohad ning kasutatakse 2014 aasta tarbimise andmeid süsteemi analüüsise koostamiseks. Kaardistatakse vajalikud protsessid aru saamaks koormuskõverate tekkest ning läbitakse vajalikud DMAIC sammud protsesside optimeerimiseks.</p> <p>Magistritöös tehtavaid parendusettepanekuid rakendades on võimalik optimeerida nii energiasüsteemi kui vaatluse all olevaid tootmisliine. Ettevõtte saab aastas ligikaudu 8000 € suuruse kasu energia kokkuhoiult, samuti tipuvõimsute alandamiselt. Protsesside optimeerimise tulemusena on võimalik tootmisliinide tootlikkust kasvatada minimaalselt 10% ulatuses. Energiasüsteemi kaudne kasu saavutatakse vähendades täiendavat genereeritava võimsuse vajadust, täiendavate võrkude läbilaskevõime suurendamise vajadust ja kütusekulu koormustipu katmiseks.</p>	
<i>Märksõnad:</i> Tarbimise juhtimine, DMAIC, Lean Six Sigma, tipukoormuste optimeerimine, energiasüsteemi optimeerimine	

Summary of the diploma work

<i>Author: Kaarel Lahtvee</i>	<i>Kind of the work: Master thesis</i>
<i>Title: Demand side management in industrial company using DMAIC and Six-Sigma methodologies</i>	
<i>Date: 27.05.2015</i>	<i>Pages 73</i>
<i>University Tallinn University of Technology</i>	
<i>Faculty: Power Engineering</i>	
<i>Department: Electrical Power Engineering</i>	
<i>Chair: Energy Systems</i>	
<i>Tutor(s) of the work: Aron Kuhi-Thalfeldt and Reeli Kuhi-Thalfeldt</i>	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i>	
<p>The main purpose of this master thesis was to use DMAIC and Six Sigma tools to develop a methodology what can be used for any industrial company to start mapping and analyzing its energy consumption and henceforth lower the maximum usage of distribution points. . In short DIMAIC is used to transform business related problems and challenges into statistical problems, to solve stated problems and transform them back into business related improvements</p> <p>To better understand the bottlenecks of currently used methods, real solutions from one industrial company where used as examples. Electrical consumption data from 2014 was used to analyze the system. Necessary processes where mapped and understanding how load curves develop was created. DMAIC phases where covered to optimize current processes.</p> <p>Implementing the improvements that where suggested within this master thesis, it is possible to optimize the energy system and also production lines. The industrial company saves approximately 8000€ from lowering energy consumption and peak loads. Optimizing the production lines increases the productiveness at least by 10%. Energy system lowers demand for bigger generation capacity, increases the capacity of energy lines and reduces the cost of fuel to generate peak demand powers.</p>	
<i>Key words: Demand side management, DMAIC, Lean Six Sigma, optimization of the peak load, optimization of the energy system</i>	

Sisukord

Lõputöö ülesanne	6
Eessõna	8
Sissejuhatus	9
1. Ülesande püstitus	11
1.1 Probleemi olemus.....	11
1.2 DIMAIC metodoloogia tutvustus.....	12
1.3 Probleemi näitlikustamine.....	14
1.4 Eesmärgid	19
2. Probleemi määratlemine	21
2.1 Projekti kavandi valideerimine, probleemi püsitus ja eesmärkide seadmine.....	21
2.2 Majandusliku kasu arvestamine	24
2.3 Protsessi kaardi koostamine ning raamistiku loomine	26
2.4 Algamete olemasolu kinnitamine projekti baastaseme määramiseks	27
2.5 Kommunikatsiooni plaani koostamine.....	27
2.6 Projekti plaanide väljatöötamine (ajakava, eelarve jms).....	27
3. Mõõtmine	28
3.1 Optimeeritava protsessi täielik kaardistamine	28
3.2 Projekti jaoks oluliste väljundite, sisendite ja protsessi muutujate määramine.	28
3.3 Andmete kogumise plaani koostamine	30
3.4 Mõõtesüsteemi analüüs.....	30
3.5 Andmete kogumine baastaseme määramiseks.....	31
3.6 Protsessi voodiagrammi uuendamine saadud andmetega	36
3.7 Süsteemi suutlikkuse analüüsi teostamine	36
4. Analüüs	38
4.1 Protsessi voo analüüs	38
4.2 Mõõtefaasis kogutud andmete analüüs	39
4.3 Teooriate koostamine võimalike juurpõhjuste väljaselgitamiseks.....	48
4.4 Vajadusel lisaandmete kogumine juurpõhjuste kinnitamiseks ja kontrolliks	49
5. Parendamine	50
5.1 Potentsiaalsete lahenduste väljatöötamine	50
5.2 Võimalike säästude arvutamine ning projekti eesmärkide saavutamise kinnitamine	59
5.3 Protsessi voodiagrammi uuendamine vastavalt välja valitud potentsiaalsetele lahendustele	60
6. Ohje	61
6.1 Metodoloogia ja dokumentatsiooni välja töötamine hoidmaks ellu viidavaid muudatusi päevakorras	61
6.2 Juhtkonna poolt valitud muudatuste elluviimine	62
6.3 Protsessi ohje plaani väljatöötamine ning selle üle andmine protsessi omanikele.....	62
6.4 Tulemuste auditeerimine.....	65
7. Lõputöö kokkuvõte	66
8. Lisad	71

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Tarbimise juhtimine tootmisettevõttes kasutades DMAIC ja Six-Sigma metoodikaid
Üliõpilane:	Kaarel Lahtvee
Lõputöö juhendajad:	Aron Kuhi-Thalfeldt ja Reeli Kuhi-Thalfeldt
Õppetool:	Energiasüsteemide õppetool
Õppetooli juhataja:	Heikki Tammoja
Lõputöö esitamise tähtaeg:	27.05.2015

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Teema põhjendus:

Energia tarbimise juhtimine on viimastel aastatel muutunud maailmas aina populaarsemaks teemaks. Euroopa komisjon on koostanud energiatõhususe direktiivi, mille kohaselt on energeetika valdkonna reguleerivate riiklike asutustele pandud kohustus töötada koostöös turuosalistega välja vajalikud tehnilised tingimused ja parameetrid tarbimise juhtimise meetmete rakendamiseks, arvestades seejuures tootjate ja tarbijate erisusi. Tööstusettevõtted on nii tehnoloogiliselt kui ka majanduslikult võimelised ja huvitatud osalema tarbimise juhtimise programmides, vastasel juhul tähendaks see Euroopa mastaabis aastas sadadest miljonitest eurodest ilma jäämist. [1]

Paljud tööstustes käsitletavat tarbimise juhtimise meetmed kajastavad energiasäästlikumate agregaatide käsitlemist ning aeg- ja releejuhtimist. Sealjuures lähtutakse mineviku andmetest ja keskmistatud informatsioonist, üritatakse ajas muutuvate koormuste üheaegsusest tingitud koormustippe vältida, kasutades selleks tüüpkoormusgraafikuid.

Probleemseks kohaks on metodoloogia puudumine probleemide püstitamiseks ja nende lahendamiseks. Käesolev magistritöö kirjeldab vajalikke samme enne muudatuste elluviimist ning seletab kuidas süsteemselt läheneda juurpõhjuste leidmisele ja nende ohjamisele.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on koostada metodoloogia tööstusettevõtetes tarbimise juhtimise rakendamiseks

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kirjeldada kuidas probleeme määratleda

Kirjeldada kuidas määratleda protsessi jaoks tähtsad sisendid ja väljundid

Kirjeldada milliseid analüüsi meetodeid kasutada

Kirjeldada kuidas protsessi ohjata

Lähteandmed:

Koostatava metoodika näitlikustamiseks kasutatakse ühe näidissettevõtte 10 kV jaotusalajaamade keskmisi elektrienergia tunni tarbimise andmeid ja jaotuspunktide viie minuti keskmiseid andmeid.

Lõputöö konsultandid (vajadusel):

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Eessõna

Käesoleva magistritöö teemavalikul abistasid juhendajad Aron Kuhi-Thalfeldt ja Reeli Kuhi-Thalfeldt. Teema osutuks valituks tootmisettevõtetes päevakorras olevate väljakutsete identifitseerimisel, kus selgus, et ei ole ühtset arusaama tarbimise juhtimise meetodikast ning teostamiseks vajalikest meetoditest. Andmete kogumisel oli suureks abiks samuti juhendaja Aron Kuhi-Thalfeldt.

Autor tänab meeldiva ja sujuva koostöö eest juhendajaid Aron ja Reeli Kuhi-Thalfeldti, kes innustasid ja olid toeks sellel kiirel perioodil.

Autori alaline elukoht: Vabriku 19, Tallinn, Harjumaa 10411

Praegune töökoht: ABB AS

Sissejuhatus

Energia tarbimise juhtimine on viimastel aastatel muutunud maailmas aina populaarsemaks teemaks. Euroopa komisjon on koostanud energiatõhususe direktiivi, mille kohaselt on energeetika valdkonna reguleerivate riiklike asutustele pandud kohustus töötada koostöös turuosalistega välja vajalikud tehnilised tingimused ja parameetrid tarbimise juhtimise meetmete rakendamiseks, arvestades seejuures tootjate ja tarbijate erisusi [2], [3]. Lisaks toetab tarbimise juhtimise meetmete juurutamist ka Euroopa Energiasektorit Reguleerivate Asutuste Koostööamet, kelle juhiste järgi koostab Euroopa süsteemihaldurite katuseorganisatsioon üle-euroopalisi ühtseid võrgueeskirju, milles on tarbimise juhtimise meetmetele ette nähtud eraldiseisev eeskiri. [1]

Tarbimise juhtimise meetmete alla saab allutada nii koormusi, energiasalvesteid kui ka hajatootmiseadmeid. Sinna alla kuuluvad näiteks ka avariigeneraatorid ja koostootmisjaamad. Nende meetmete kasutamine võib ühelt poolt vähendada lokaalseid koormusi ja seeläbi ettevõtetele kulusid, teisalt on võimalik neid meetmeid kasutada koormuste genereerimise tasakaalus hoidmiseks elektrisüsteemis. Tarbimise juhtimise teenust saavad pakkuda kodu-, teenindus-, avaliku sektori ning ka tööstustarbijad. Seda teenust on võimalik pakkuda nii üksikute koormustena, eeldades, et koormused on piisavalt suured, kui ka koondatud koormustena. Viimane muudab tarbimise juhtimise meetmete rakendamise eriti potentsiaaliks. [1]

Tööstusettevõtted on nii tehnoloogiliselt kui majanduslikult võimelised ja huvitatud osalema tarbimise juhtimise programmides, vastasel juhul tähendaks see Euroopa mastaabis aastas sadadest miljonitest eurodest ilma jäämist. [1]

Käesoleva magistritöö peamiseks eesmärgiks on väljavalitud näidisettevõtte baasil täiendada olemasolevaid tarbimise juhtimise meetodikaid tööstusettevõtetes, rakendades selleks DMAIC ja Six Sigma põhimõtteid. DMAIC läbivaks jooneks on erinevate statistiliste tööriistade rakendamine, kus kõigepealt tõlgendatakse ärialased probleemid / väljakutsed statistilisteks probleemideks, seejärel need lahendatakse. Peale probleemide lahendamist tõlgendatakse need tagasi äritegevuses kasutatavaks lahenduseks.

Eesmärgi saavutamiseks on vajalik kaardistada, testida ja analüüsida seni välja pakutud ning levinud tarbimise juhtimise lahendused ja meetodid, leida nende positiivsed ja negatiivsed küljed ning välja töötada üldine meetodika tarbimise juhtimise rakendamiseks tööstusvaldkonnas.

Tarbimise juhtimine läbi protsesside optimeerimise annab võimaluse tootmisettevõtte produktiivsuse kasvule, samuti ka jaotusalajaamade tipukoormuste ning kogu tarbimise vähendamiseks ja seeläbi majanduslikuks kokkuhoiuks nii elektri-, võrgu- kui tootmisettevõttes.

Magistritöös vaadeldakse nii lõpptarbijapoolset otsest kasu protsesside optimeerimisest, kui ka koormuste alanemisest tingitud võrguettevõtte kaudseid kasusid.

Tarbijapoolseks tipukoormuse optimeerimise stiimuliks on võimsustasude vähenemine, jaotusalajaamade ja võrkude läbilaskevõime vajaduse vähendamine ja võimalusel tarbimise nihutamine kallima tariifiga ajalt odavamale. Protsesside optimeerimine omakorda alandab muutuvkulusid ühe tooteühiku valmistamiseks.

Elektriettevõtted on huvitatud tarbimise juhtimisest, et vähendada tipukoormustest tuleneva täiendava genereeritava võimsuse ja võrkude läbilaskevõime suurendamise vajadust ning suurt kütusekulu koormustippude katmisel. Elektriettevõtted on huvitatud ka tarbimise suurendamisest miinimumkoormuse perioodidel, selleks, et paremini ära kasutada genereerivaid üksusi ning vähendada elektrienergia tootmise ülekulusid. [4]

Magistritöös käsitletakse praktikas kasutatavaid elektrienergia tarbimise juhtimise meetodeid, kasutatakse tippude lõikamist ja koormuse ajalist nihutamist, mille põhieesmärgiks on vähendada alajaama siseselt koormusgraafiku tippu ning muuta koormusgraafikud võimalikult laugeks. Magistritöös leidub ka loetud meetmete üheaegne kasutamine tipukoormuste optimeerimisel. Selline otsene juhtimine saavutatakse ajalise nihutamise ja protsesside optimeerimise teel. Antud juhtimine nõuab vastavaid juhtimisseadmeid ja sobivate koormusgraafikute olemasolu. Jaotuspunktide koormusgraafikuid optimeeritakse suurarbijate ajalise nihutamise ja käitamisprotsesside standardiseerimise teel. Tootmisprotsesside optimeerimisest muutub seejuures ka energiatarbimine.

Magistritöös kajastuvate analüüside, graafikute jms teostamiseks on kasutatud tarkvarasid Microsoft Excel ja Minitab.

1. Ülesande püstitus

1.1. Probleemi olemus

Praktikas kasutatakse elektrienergia tarbimise juhtimisel mitmeid meetodeid:

Energiasäästu eesmärgiks on tarbitava elektrienergiakoguse ja seega ka elektriarve vähendamine. Üldiselt võimaldab aga energia sääst vähendada ka üldist koormustippu. Energia sääst saavutatakse energiaefektiivsemate tarvitate (külmikud, valgustid, mootorid, trafod) ja tehnoloogiate (sagedusmuundurid) kasutusele võtuga, hoonete soojustamisega, mitmesuguste organisatsiooniliste abinõudega jne. [4]

Tarbimise suurendamise põhieesmärgiks on elektrienergia müügist saadava tulemi suurendamine piisava genereeriva võimsuse olemasolul. See saavutatakse eelkõige vastava turundus- ja hinnapoliitikaga. [4]

Tipu lõikamine – see on koormuste vähendamine lühiajaliselt tipuvõimsuse tundideks. Üldine energiatarbimine muutub seejuures tavaliselt vähe ning see pole eesmärgiks. Tippude vähendamine saavutatakse mitmesuguste koormuse juhtimise abinõudega, katkestuskõlblike tarbijate väljalülitamisega, klientide poolse tootmisega, hinnapoliitikaga. [4]

Nõgude täitmine – koormuse suurendamine koormusmiinimumi tundidel, et saavutada genereerivate võimsuste parem ära kasutamine. Rakendatakse tavaliselt koos tuppude lõikamisega ja saavutatakse samade vahenditega. [4]

Koormuse nihutamine – tarbimise nihutamine teistele aegadele põhieesmärgiga vähendada süsteemi summaarse koormusgraafiku tippu. Energiatarbimine selle abinõu puhul muutub vähe. Koormuse nihutamine saavutatakse eelkõige klientide elektritarbimise harjumuste muutmisega nende informeerimise teel ja vastava tariifi struktuuri abil. [4]

Kütuste ümberlülitamine tähendab üleminekut kütuste tarbimiselt elektrienergiale (näiteks üleminek gaasipliitidelt elektripliitidele, üleminek elektriküttele jne.) või vastupidi, samuti üleminekut ühelt kütuseliigilt teisele (näiteks naftaküttelt gaasiküttele jne.). [4]

Nõudluse juhtimise ühe abinõuna tuleb märkida veel nn turu transformatsiooni eesmärgiga muuta osaliste käitumist turul. Turu transformatsioon saavutatakse selliste abinõudega, nagu riiklike standardite kehtestamine tarvitate efektiivsusel, hoonete soojapidavusele jne.; tarbijate informeerimine energiasäästu kasudest, võimalustest ja meetodikast; uute energiasäästlike

seadmete ja tehnoloogiate turule ilmumise kiirendamine ja nende turuosa suurendamine koos vastava reklaamikampaaniaga. [4]

Reeglina rakendatakse nõudluse juhtimisel kõiki vaadeldud meetmeid kombineeritult, eriti tipu lõikamist, nõgude täitmist ja koormuse nihutamist. Viimaste vahel on üldiselt ka raske selget vahet teha. [4]

Nõudluse juhtimisel võib eristada kahte peamist suunda – otsene (dünaamiline) ja kaudne (staatiline) juhtimine. Otsene juhtimine saavutatakse elektritarvitite otsese väljalülitamise, ümberlülitamise ja talituse modifitseerimise teel. Kaudne juhtimine saavutatakse, aga eelkõige elektritariifide vastava struktuuri abil, et innustada tarbimise iseloomu muutumist sobivas suunas. Selleks rakendatakse sesooneid ja ööpäevaseid tariifstruktuure. [4]

Eelpool nimetatud tarbimise juhtimise meetodite rakendamine tööstustes baseerub enamasti mineviku andmetel ja keskmistatud informatsioonil, üritatakse ajas muutuvate koormuste üheaegsusest tingitud koormustippe vältida, kasutades selleks tüüpkoormusgraafikuid jms. Probleemseks kohaks on metodoloogia puudumine süsteemis olevate peamiste probleemide ja juurpõhjuste leidmiseks ning nende lahendamiseks. Tihtipeale keskendutakse valede probleemide lahendamisele, ning raisatakse väärtuslikke ressursse parandusettepanekutele millest saadav kasu on minimaalne. Käesolev magistritöö kirjeldab DMAIC ja Six Sigma metodoloogiatele baseerudes vajalikke samme enne muudatuste elluviimist ning seletab kuidas süsteemselt läheneda juurpõhjuste leidmisele ja nende ohjamisele.

1.2. DIMAIC metodoloogia tutvustus

DMAIC metodoloogia viitab andmetele orienteeritud parendamise tsüklile mida kasutatakse ärialaste protsesside parendamiseks, optimeerimiseks ning standardiseerimiseks. Six Sigma põhiste parandusprojektide läbiviimine toimub alati DMAIC sammude / faaside alusel:

Probleemi määratlemine (Define) – Selle sammu eesmärk on selgelt väljendada ärialane probleem, eesmärk, potentsiaalsed ressursid, projekti ulatus ja ajakava. See informatsioon kajastatakse tavaliselt projekti kavandis. Sammus kirjeldatakse mida hetkel teatakse probleemi olemusest, seatakse eesmärgid ja moodustatakse projekti meeskond. [5]

Mõõtmine (Measure) – Selle sammu eesmärgiks on objektiivselt kindlaks teha praegune lähtejoon parenduste tegemiseks. See on andmete kogumise etapp, mille eesmärk on luua protsessi tulemuslikkuse lähtejoon. Faasis määratakse ära projekti jaoks olulised sisendeid ja väljundid. Mõõte faasis koostatud tulemusnäitajate lähtejoont võrreldakse tulemusnäitajatega

peale muudatuste elluviimist, st koostatakse statistilised testid, et objektiivselt hinnata kas märkimisväärne tulemuste muutus on saavutatud. Projekti meeskond otsustab mida on vaja mõõta ja kuidas seda teostatakse. [5]

Analüüs (Analyse) – Selle sammu peamiseks eesmärgiks on identifitseerida, valideerida ning lõplikult välja valida projekti probleemiga seonduvad juurpõhjused (protsessi sisendid X). Projektiga seonduvad juurpõhjused identifitseeritakse juurpõhjuse analüüsi tulemusena. Vajadusel kogutakse identifitseeritud juurpõhjuste kinnitamiseks lisaandmeid, et kindlaks teha nende koosmõju tulemusnäitajatele. Seda protsessi korratakse kuni juurpõhjuste mõju protsessi väljundile Y on võimalik kinnitada. [5]

Parendamine (Improve) – Selle sammu mõte on identifitseerida, testida ja rakendada potentsiaalsed lahendused juurpõhjustele. Peale parendusettepanekute identifitseerimist arvutatakse võimalikud säästud meetmete rakendamisel. Sellees sammus võib parendusettepanekute määratlemine toimuda ka ilma nende praktikas rakendamiseta. [5]

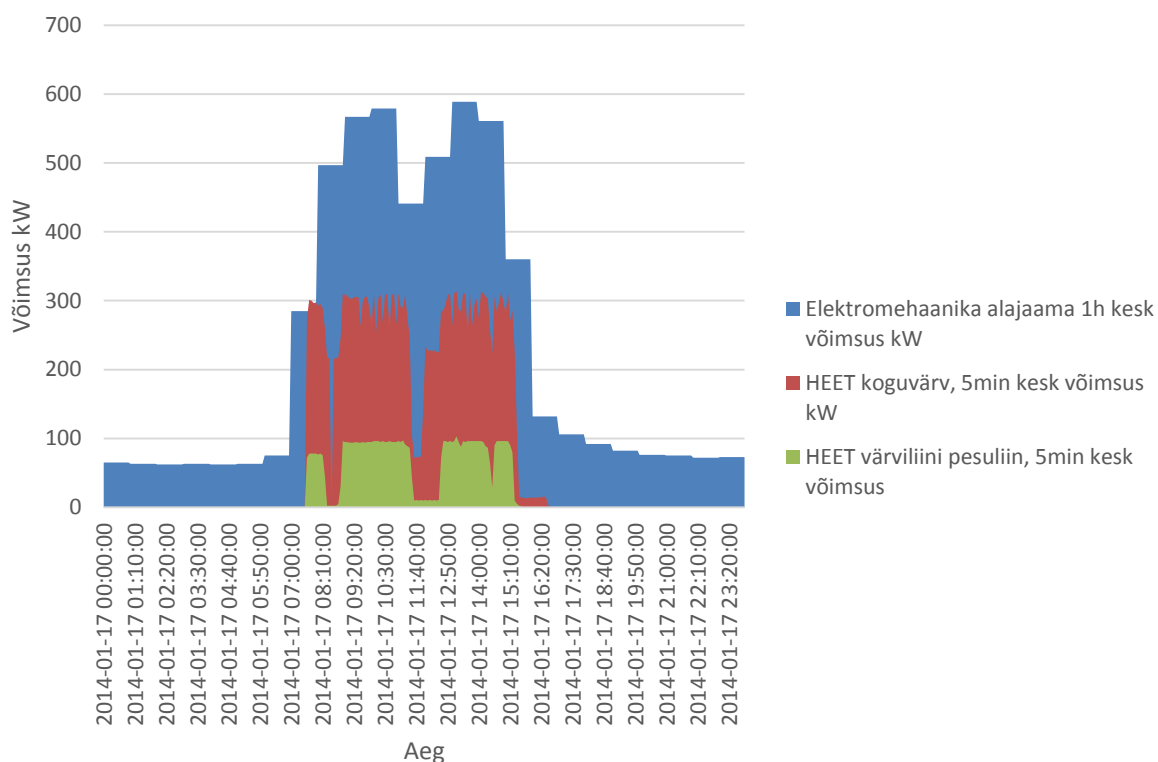
Ohje (Control) – Selle sammu eesmärgiks on parendusettepanekutest tulenevate kasude säilitamine. Jälgitakse protsessi väljundit, et kinnitada ja säilitada pidev areng. Luuakse ohje plaan hoidmaks ellu viidavaid muudatusi päevakorras. Koostatakse protsessi ohje kaart, et hinnata parandusettepanekutest tuleneva kasu stabiilsust. [5]

DMAIC Läbivaks jooneks on erinevate statistiliste tööriistade rakendamine. Lihtsustatult tähendab see kõigepealt ärialaste probleemide/väljakutsete tõlgendamist statistilisteks probleemideks, nende lahendamist ja pärast tulemuste tõlgendamist tagasi äritegevuses kasutatavaks lahenduseks. Seda võib lihtsustatult võrrelda probleemide/väljakutsete teadusliku tõestamisega. [6]

Oluliseks eripäraks on see, et Lean Six Sigma meetoditega saab tüüpiliselt 95% kindlusega väita, et valitud lahenduste kasutamine viib soovitud tulemusteni. Kui tööriistad õigesti valida ja kasutada, siis ei pruugi see tähendada aastatepikkust tööd. Loomulikult sõltub see projekti iseloomust. Tüüpiliste projektide kestvused on 3-6 kuud, keerukamate puhul tuleb arvestada pikema ajagraafikuga. [6]

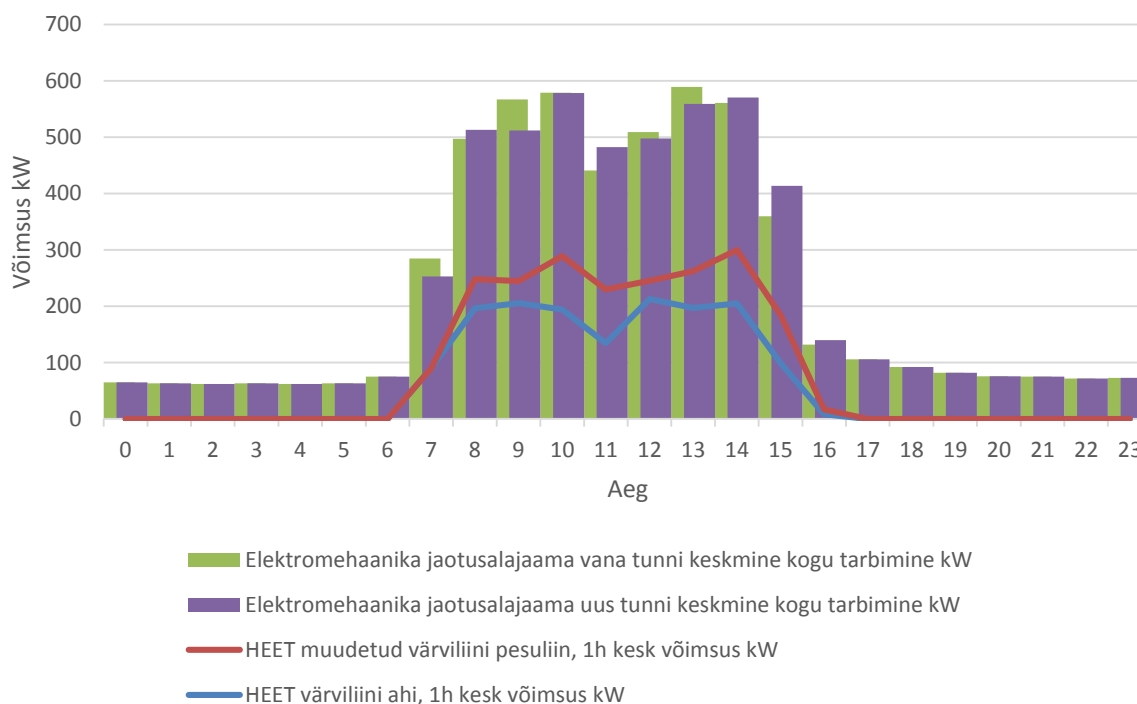
1.3. Probleemi näitlikustamine

Probleemi olemusest aru saamiseks võib näitena tuua ühe tarbimise juhtimise meetodi, ühest tootmisettevõttes, kus tipukoormust üritatakse vähendada suurtarbija nihutamisega. Selleks kasutatakse Joonis 1.1. olevat koormusgraafikut. Koormusgraafik genereeriti jaanuari kuul päevast, mil ühe tunni keskmine võimsus määras ära kuu püsitasu. Lisatud on veel pesuliini ja kuivatusahju koormusgraafikud, et näidata nende omavahelist sõltuvust jaotusalajaama ühe tunni keskmiste väärtustega.



Joonis 1.1. Elektromehaanika alajaama koormusgraafik oma suurimate tarbijatega

Tarbimise juhtimise meetodis kirjeldatud ettepaneku kohaselt on otstarbekas pesuliini koormusgraafikut sobitada teiste tootmisüksuste koormusgraafikutega, viimase talitustsükli ajalise nihutamise teel 45 minuti võrra hilisemaks. [7] Muudetud tüüpkoormusgraafik koos vana tüüpkoormusgraafikuga on välja toodud Joonis 1.2..



Joonis 1.2. Muudetud elektromehaanika jaotusalajaama koormusgraafik oma suurimate tarbijatega

Jooniselt on näha, et tipukoormus on kell 13:00 alanenud 589 kW pealt 559 kW peale, ehk 30kW võrra.

Päevasisest muutust kirjeldab Tabel 1.1, kus on punasega välja toodud tegelik tipuvõimsuste muutus.

Tabel 1.1. Elektromehaanika alajaama päevasisene võimsuste muutus

Tund	Vana 1h keskmine võimsus (kW)	Uus 1h keskmine võimsus (kW)
0	65	65
1	63	63
2	62	62
3	63	63
4	62	62
5	63	63
6	75	75
7	285	253
8	497	513
9	567	512
10	579	578
11	441	483
12	509	498
13	589	559
14	561	570
15	360	414
16	132	140
17	106	106
18	92	92
19	82	82
20	76	76
21	75	75
22	72	72
23	73	73

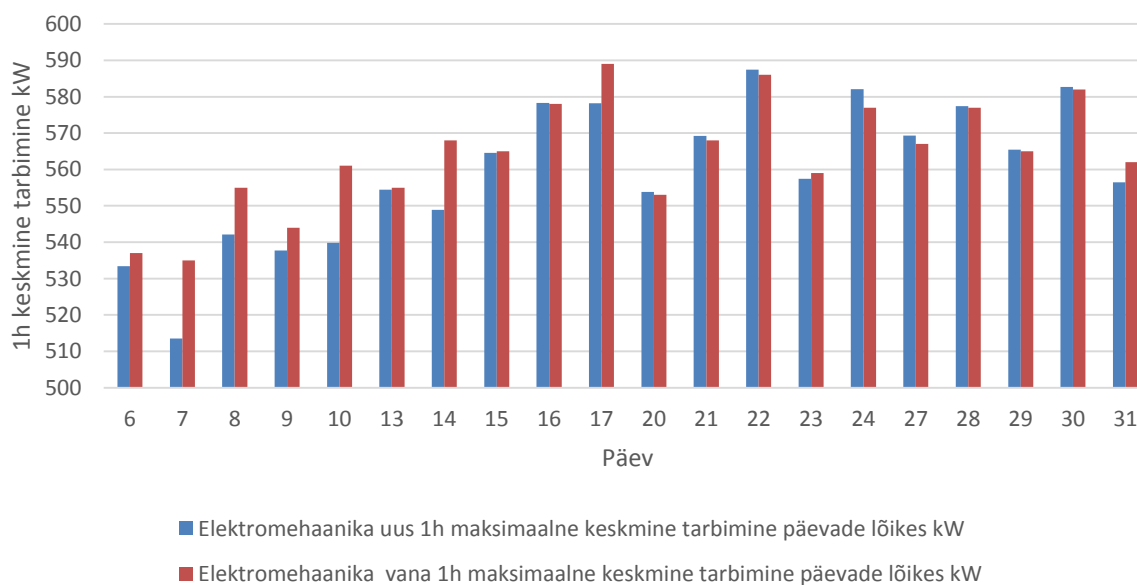
Vaadeldes muutust terve päeva ulatuses, on tipuvõimsus vähenenud 589 kW pealt 578 kW peale, ehk 11 kW võrra.

Tööstusettevõttes kasutatava tarbimise juhtimise meetodi ajahorisondiks on iseloomustava koormusgraafiku tõttu üks päev, kuna tipuvõimsus alanes, siis loetakse parendusettepanek siinkohal tõseks ning järeldatakse, et tipuvõimsust on võimalik piirata terve kuu või aasta ulatuses 11 kW ulatuses ja arvutatakse võimalikud säästud pakutud meetmete rakendamisel.

Vaadates seda lahenduskäiku on märgata, et ajahorisondi laienedes on saadav kasu välja pakutud meetmete rakendamisest muutunud. Tipuvõimsus alanes 17.01.2014 kell 13:00 30 kW võrra, kuid terve päeva lõikes 11 kW võrra. Rakendades välja töötatud tarbimise juhtimise meetodit terve jaanuari kuu lõikes on näha, et tegelikult ei piiratud tipuvõimsust isegi 11 kW ulatuses. Saadud tulemused on kajastatud Tabel 1.2 ja Joonis 1.3. Elektromehaanika alajaama, kust on välja võetud nädalavahetused ja päevad mil tehas seisis.

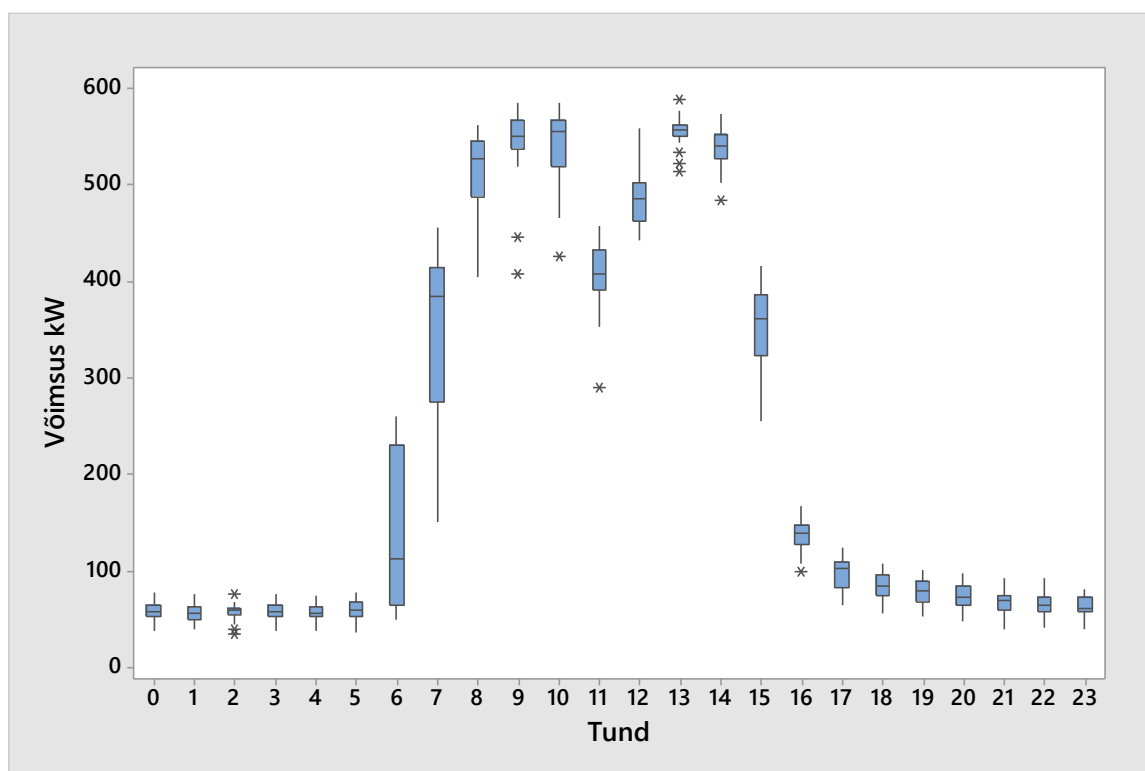
Tabel 1.2. Elektromehaanika alajaama jaanuari kuu päevased tipukoormused ja muutus

Päev	HEET uus 1h keskmine võimsus (kW)	HEET vana 1h keskmine võimsus (kW)	Muutus
6	533,4	537,0	Väiksem
7	513,5	535,0	Väiksem
8	542,1	555,0	Väiksem
9	537,7	544,0	Väiksem
10	539,8	561,0	Väiksem
13	554,4	555,0	Väiksem
14	548,9	568,0	Väiksem
15	564,6	565,0	Väiksem
16	578,3	578,0	Suurem
17	578,2	589,0	Väiksem
20	553,8	553,0	Suurem
21	569,2	568,0	Suurem
22	587,4	586,0	Suurem
23	557,4	559,0	Väiksem
24	582,1	577,0	Suurem
27	569,3	567,0	Suurem
28	577,4	577,0	Suurem
29	565,4	565,0	Suurem
30	582,7	582,0	Suurem
31	556,5	562,0	Väiksem
Maksimum väärtus	587,4	589,0	1,6



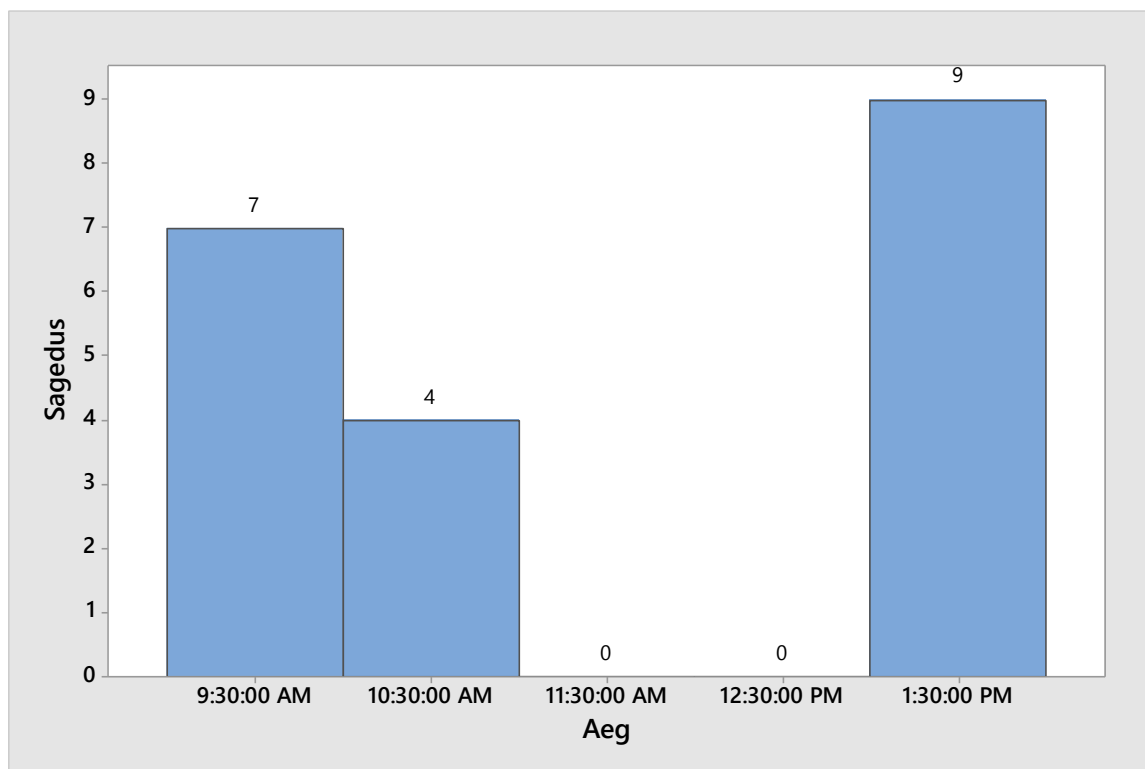
Joonis 1.3. Elektromehaanika alajaama jaanuari kuu tipuvõimsused enne ja pärast muudatusi

Tabelist ja graafikult on näha, et tegelikult piirati jaanuari kuu tipuvõimsust 1,6 kW ulatuses, siit võib järeldada, et ajahorisoni suurenedes on rakendatud meetmete kasulik kokkulangevus raskesti saavutatav. Probleem tuleneb sellest, et praktikas on koormusgraafik pidevas muutuses ning tipukoormused varieeruvad ajas sõltudes väga paljudest erinevatest teguritest. Joonis 1.4. iseloomustab jaanuari kuu tunni siseseid võimsuse jaotusi, kus horisontaaljoonega on tähistatud jaotuse mediaan, sinise kasti ülemine osa tähistab jaotuse kolmandat kvartiili, ehk võimsuse väärtust millest, suuremaid või võrdseid väärtusi on ligikaudu 25 % ja alumine osa esimest kvartiili, ehk võimsuse väärtust, millest väiksemaid või võrdseid väärtusi on ligikaudu 25 %. Vertikaaljooned tähistavad jaotuse miinimum ja maksimumväärtusi ning tärniga on tähistatud erijuhud.



Joonis 1.4. Elektromehaanika alajaama 1h keskmiste koormuste tunnisene jaotus

All olev tulpdiagramm, Joonis 1.5., omakorda iseloomustab jaanuari kuu tipukoormuste esinemise sagedust erinevatel kellaaegadel. Graafikult on näha, et tipukoormustel on päevade lõikes suur varieeruvus.



Joonis 1.5. Elektromehaanika alajaama tipukoormuste ajaline esinemise sagedus

Võttes arvesse eelpool välja toodut on suurtarbija päeva sisene liigutamine varasemaks või hilisemaks suurel määral õnnega mängimine, sest suure varieeruvuse tõttu on raskesti ennustatav millisel tunnil tipuvõimus võiks esineda - selline dünaamilise juhtimise viis võib viia nii tipukoormuste languse kui tõusuni. Selleks, et süsteemi hakata päriselt juhtima oleks vaja tootmisettevõtte siseselt algatada eraldi projekt aru saamiseks koormusgraafikute kujunemise protsessist ja nendele rakendada statistilise kontrolli meetmeid. Ilma põhjalikult aru saamata koormuste kujunemisest on raske või isegi võimatu sellist keerukat protsessi dünaamiliste tarbimise juhtimise meetodite abil juhtida.

1.4. Eesmärgid

Käesolev magistritöö peamiseks eesmärgiks on välja töötada metodoloogia mille abil saab iga tootmisettevõtte hakata kaardistama ja analüüsima enda tarbimist ning seeläbi vähendada jaotuspunktide maksimaalseid kasutusvõimsusi tunnis. Sealjuures kasutatakse reaalse ettevõtte andmeid ja seni välja pakutud lahendusi näidetena. Ülesande lahendamiseks kasutatakse rahvusvaheliselt tuntud DMAIC ja Six-Sigma meetodeid. DMAIC läbivaks jooneks on erinevate statistiliste tööriistade rakendamine. Lihtsustatult tähendab see kõigepealt ärialaste probleemide / väljakutsete tõlkimist statistilisteks probleemideks, nende lahendamist ja pärast

tulemuste tõlkimist tagasi äritegevuses kasutatavaks lahenduseks. Six Sigma metoodika, sobib kvaliteeti kahjustava hajuvuse kontrolli alla saamiseks. Six Sigma parendusprojektide peamiseks eesmärgiks on protsesside parendamine, mille kaudu vähendatakse otseseid halvast kvaliteedist tingitud kulusid.

Töö käigus tehtavaid parendusettepanekuid rakendades on omakorda võimalik energiaettevõttega sõlmitud võrguteenuse lepingutes määratud igakuise elektrienergia eest makstavat võimsustasu vähendada.

2. Probleemi määratlemine

Probleemi määratlemise mõte on kokku leppida projekti ulatuses, eesmärkides ja finantsilistes sihtides. Projekti meeskonda kaasatakse ka juhatus ning teised huvigrupid.

Selles faasis tuleb selgelt väljendada ärialane probleem, eesmärk, potentsiaalsed ressursid, projekti ulatus ja ajakava. Faasis kirjeldatakse mida hetkel teatakse probleemi olemusest, seatakse eesmärgid ja moodustatakse projekti meeskond.

Probleem tõstatatakse tavaliselt juhatusest spetsialistidele või vastupidi, selleks on vaja koostada või saada kõigepealt projekti kavand. Projekti kavand on vajalik aru saamiseks võimalikult lühidalt ja täpsel probleemi olemusest, eesmärkidest, väljunditest, tulemusnäitajatest ning selleks, et identifitseerida projektiga seonduvad inimesed. Projekti kavand peab sisaldama järgmisi punkte:

Probleemi püstitus	Näide: 2014 aasta jaotusalajaamade 1h tarbimisandmetest on näha tööaja siseseid tarbimise kõikumisi 500 kW ulatuses, sellest võib järelda, et antud jaotusalajaama toitel olevatele tarbijatele ei ole rakendatud tarbimise juhtimist mille abil oleks võimalik optimeerida ettevõtte kulusid.	
Projekti eesmärgid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Määrata faktorid millest tekivad päevasised koormustipud 2. Rakendada dünaamilise ja staatilist tarbimise juhtimise meetmeid 3. Vähendada tipukoormustest tekkivaid kulutusi 4. Hinnata tarbimise juhtimisest saadavaid võimalikke sääste 	
Projekti väljundid	Tarbimise allutamine statistilisele kontrollile Tarbimise juhtimissüsteemi juurutamine projektiga seotud ettevõttes	
Möödetavad tulemusnäitajad	Tööaja sisene koormuste kõikumine (variatsioon) Tipukoormused	
Projektijuht:	Projekti meeskond:	Sponsor: Komitee:

Joonis 2.1. projektikavandi näide

2.1. Projekti kavandi valideerimine, probleemi püstitus ja eesmärkide seadmine

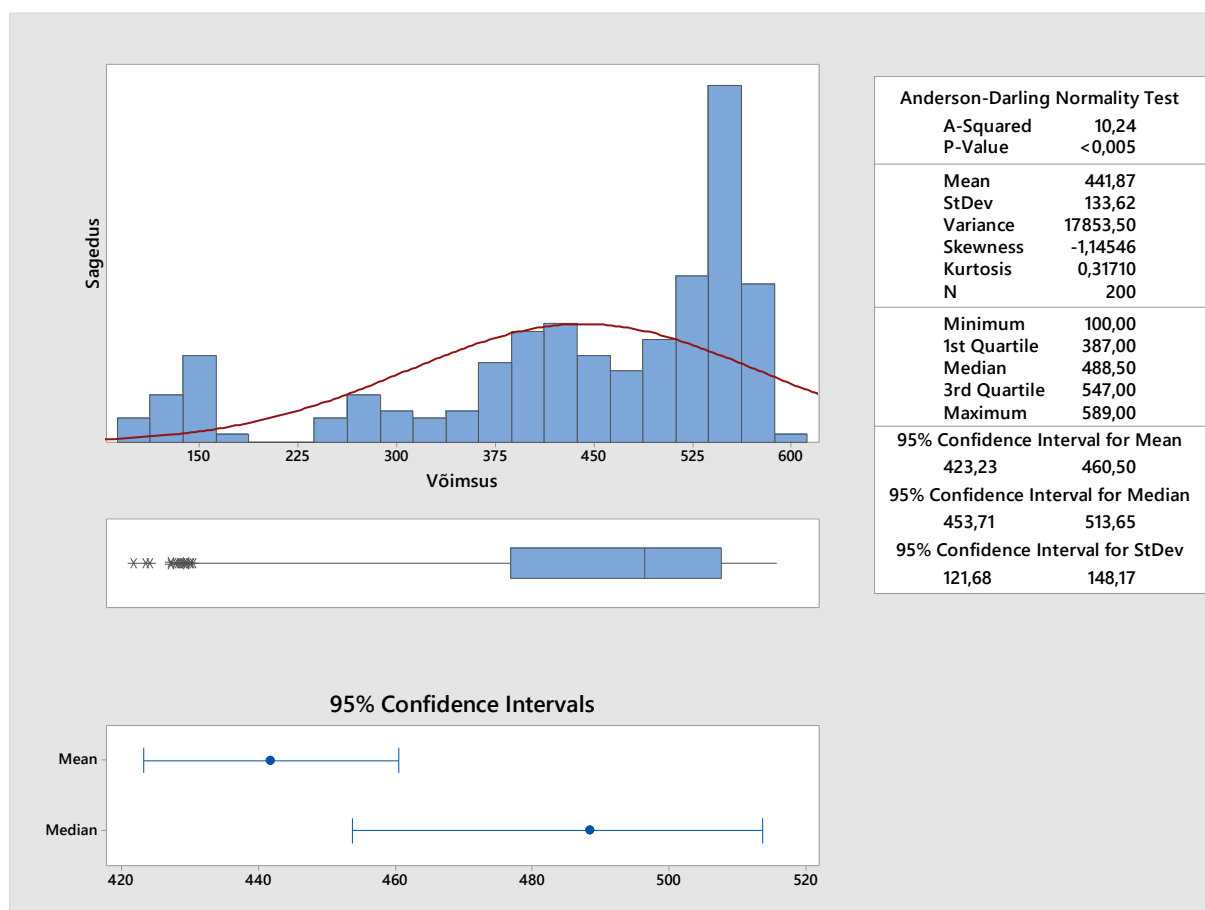
Esimese asjana on vaja koostada või valideerida projekti kavand, olenevalt sellest kas juhatus annab ülesande projekti meeskonnale või üritatakse projekti vastu juhatuses endas huvi tekitada. Selleks on vaja olemasoleva info põhjal veenduda, et kavandis püstitatud probleem:

- Eksisteerib
- On oluline kliendile (võrguettevõtte)
- On oluline ettevõttele

Näide

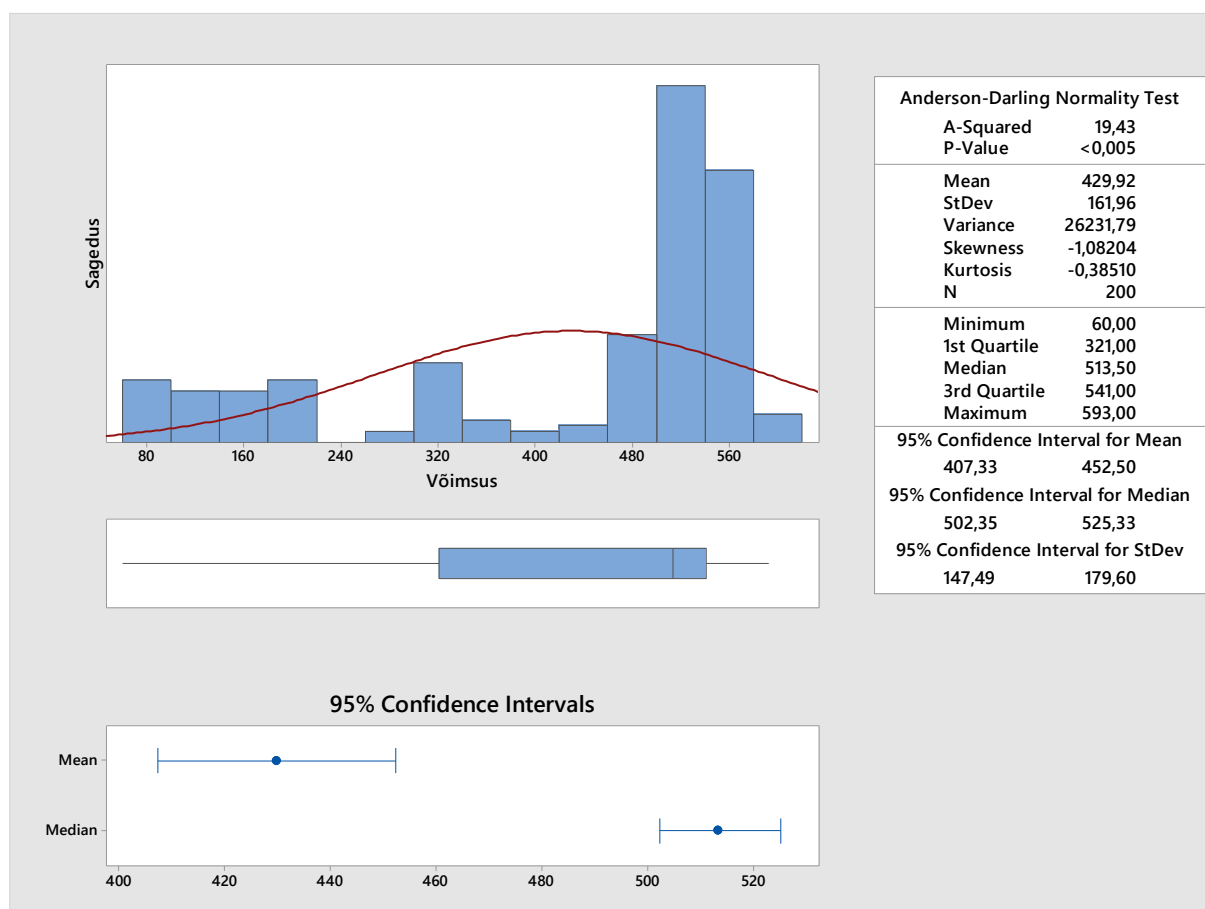
Probleemi püstitus:

Ajaperioodil 01.01.2014 – 31.01.2014 kogutud andmete põhjal on näha, et nii elektromehaanika (HEET) kui elektroonika (HETT) jaotusalajaama tööajasisene võimsuste kõikumine on väga suur. Elektromehaanika keskmine ühe tunni tarbimine on 441 kW standardhälbega 133 kW. Miinimum tööaja sisene väärtus sellel ajaperioodil elektromehaanika jaotusalajaamas on 100 kW ja maksimum 589 kW.



Joonis 2.2. Elektromehaanika jaotusalajaama jaanuari kuu võimsuste koondaruanne

Elektroonika jaotusalajaama keskmine tunnitarbimine on 430 kW standardhõlbeaga 162 kW, kusjuures miinimum väärtus on 60 kW ning maksimum väärtus 593 kW.



Joonis 2.3. Elektroonika jaotusalajaama jaanuari kuu võimsuste koondaruanne

Suur võimsuste kõikumine viitab tarbimise juhtimise puudulikkusele mille abil on võimalik optimeerida ettevõtte kulutusi.

Eesmärgid:

Vähendada jaotuspunktide maksimaalseid kasutusvõimsusi tunnis.

Vähendada tööpäeva sisesest tarbimise variatsiooni.

Võimalusel allutada tootmisprotsess statistilisele kontrollile.

Analüüsida tarbimise juhtimise võimalikkust tootmisettevõttes.

Olulisus kliendile:

Kliendi rollis selles protsessis on elektriettevõtted, kes on huvitatud tarbimise suurenemisest miinimumkoormuse perioodidel, et paremini ära kasutada genereerivaid üksusi ja vähendada elektrienergia tootmise ülekulusid. Samuti väljendub tarbimise juhtimisest tulenev kasu tipukoormustest tuleneva võrkude läbilaskevõime suurendamise vajaduse vähendamisest. Tänu tarbimise juhtimisele väheneb ka täiendava genereeritava võimuse vajadus ning suur kütusekulu koormustippude katmisel. [4]

Varustuskindluse tagamiseks süsteemis, kus katkestused on väga kallid, samas tarbimine varieerub mitte ainult sesoonselt vaid ka päevade lõikes ning suuremas ulatuses ei ole tarbimine ka kontrollitav, peab installeeritud genereerimisvõimsus sellegi poolest olema suutlik katma süsteemi tipuvõimsusi. Peale selle peab süsteemil olema piisavalt võimekust tegelemaks võimalike hälvetega genereerimises ning tarbimisvõimsuste kasvus. Ajalooliselt on paika pandud 20% võimsuste kapatsiteedi marginaal tagamaks süsteemi varustuskindluse. [8]

Inglismaal on näitena aasta lõikes keskmine võimalike genereeritavate võimsuste kasutus alla 55%. Selline suhteliselt madal elektrijaamade genereerimisvõimsuste kasutamine muudab tarbimise juhtimise taolises süsteemis väga atraktiivseks. [8]

Olulisus ettevõttele:

Ettevõtte seisukohalt on oluline vähendada 10-kV jaotuspunktis maksimaalset kasutusvõimsust tunnis, mis võimaldaks AS Eesti Energiaga sõlmitud elektrienergia ostu-müügi lepingus määratud igakuist elektrienergia eest makstavat võimsustasu vähendada ning hoida seeläbi kokku kulutusi elektrienergiale. Viimane annaks samas võimaluse olemasoleva tehnilise ressursi juures lisada ettevõttele uusi tootmisüksusi. [7] Samuti võib projekti tulemusena väheneda tarbitava energia hulk, mille tulemusena alaneb iga tootmisühiku muutuvkulu. Parendustegevuste tõttu ei tohi kannatada saada tootmisettevõtte kliendi rahulolu, see tähendab kvaliteedi näitajad nagu õigeaegne tarne ja materjalide kvaliteet ei tohi halveneda.

2.2. Majandusliku kasu arvestamine

Kasutades olemasolevaid andmeid arvutatakse hetke kulutused, kasud, marginaalid või teised majanduslikud näitajad mis on olulised sellele projektile. Hinnatakse majanduslikku mõju eesmärkide täitmisel ja tehakse kindlaks, et need vastavad juhatuse ootustele.

Näide: Olemasolevate andmete põhjal leitakse maksimaalne teoreetiline sääst ettevõtte jaanuari kuu andmetest. Kõigepealt tuleb leida mõlema jaotuspunkti iga tööpäeva tööaja sisesed maksimaalsed võimsused. Samuti arvutatakse nende tööpäeva sisesed keskmised tunni võimsused. Keskmised tunni võimsused loetakse ideaalseks teoreetiliseks koormuskõveraks. Lahutades maksimaalsest võimsusest ideaalvariandi, mis saavutatakse juhul kui kõik tarbijad oleksid ideaalselt juhitud ja optimeeritud, saadakse teoreetiline potentsiaal tipuvõimsuse alandamisest jaanuari kuus elektromehaanika jaotusalajaamas 122 kW ja elektroonika alajaamas 135 kW. Saadud tulemused on kajastatud Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Maksimaalne teoreetiline potentsiaal tipuvõimsuste alandamisel jaanuari kuus

Päev	Maksimaalne el.mehaanika jaotusalajaama võimsus kW	Keskmine el.mehaanika jaotusalajaama võimsus kW	Maksimaalne el.mehaanika jaotusalajama võimsustipu muutus kW	Maksimaalne elektroonika jaotusalajaam võimsus kW	Keskmine elektroonika jaotusalajaama võimsus kW	Maksimaalne elektroonika jaotusalajaama võimsustipu muutus kW
6	537	393	144	555	418	137
7	535	400	136	564	432	132
8	555	396	159	562	407	155
9	544	418	126	549	425	124
10	561	421	140	532	411	121
13	555	440	115	581	455	126
14	568	449	119	582	443	139
15	565	444	121	574	431	143
16	578	440	139	578	441	137
17	589	452	137	551	431	120
20	553	446	107	565	430	135
21	568	459	109	592	433	159
22	586	476	110	572	450	122
23	559	455	104	571	448	123
24	577	456	121	593	428	165
27	567	455	112	554	431	123
28	577	469	108	569	424	145
29	565	461	104	538	407	131
30	582	461	121	576	432	144
31	562	446	116	555	421	134
Keskmine	564	442	122	566	430	136

Eespool arvatud maksimaalse tipuvõimsuste alandamisest tuleneva teoreetilise potentsiaali põhjal on võimalik arvutada tootmisettevõtte maksimaalsed säästud. Arvestades, et võimsustasu on võrguettevõtte hinnakirja ja tingimuste alusel 3,456 Eur/kW kohta kuus [9], saame teoreetiliselt kokku hoida $(122 + 135) \cdot 3,456 = 888$ Eurot kuus mis teeb aastaseks säästuks 10700 eurot.

Siinkohal tuleks hinnata ka kaudseid sääste võrguettevõttele:

Vähendatakse täiendavat genereeritava võimsuse vajadust.

Vähendatakse täiendavat võrkude läbilaskevõime suurendamise vajadust.

Vähendatakse kütusekulu koormustipu katmiseks.

Kadusete säästude rahaliseks väärtuseks teisendamine on väga mahukas töö ning selle koostamine jääb hetkel väljapoole käesoleva magistr töö eesmärke. Kaudsed säästud pakuksid kindlasti huvi võrguettevõttele, kuid nende väljaselgitamine vajaks siinkohal eraldi projekti.

2.3. Protsessi kaardi koostamine ning raamistiku loomine

Selles punktis pannakse kirja peamised protsessi sammud (SIPOC kaardistus), vajalik selleks, et määrata projekti raamistik ning luua üldpilt. SIPOC aitab määrata protsessi sisendid ja väljundid, ning kirjeldab protsessis toimuvat suures pildis.

SIPOC näide ühe tootmisettevõtte kohta:

Koormusgraafikute kujunemise SIPOC kaardistus					
	Tarnijad (Supplier)	Sisendid (Input)	Protsess (Process)	Väljundid (Output)	Kliendid (Customer)
Enne tootmist	Kliendid	Müügiteellimused	Tootmise planeerimine ↓	Tootmistellimused Kapasiteedi arvutus	Tootmine
	Tootmise planeerija Ilmastik Seadmed	Tootmistellimused Kapasiteedi arvutus Alustusajad Vahetused Tööpäevad Välistemperatuurid Kasutusajad Kasutegurid Tehnilised andmed Juhitavus	Tootmine ↓	Kaup Võimsuse tarbimine	Kliendid Jaotusalajaam
Peale tootmist	Jaotusalajaam	Elektrienergia Koormuskõverad Tipukoormused	Võrguettevõtte	Hinnakiri Võimsustasu Võrgu kasutustasu Vaja minev genereeritav võimsus. Võrkude läbilaskevõime	Tootmisettevõtte Elektrisüsteem

Joonis 2.4. Tootmisettevõtte koormusgraafikute kujunemise SIPOC kaardistus

2.4. Algandmete olemasolu kinnitamine projekti baastaseme määramiseks

Selles ettevõttes on andmed olemas – 10kV jaotusalajaamade tunnipõhised tarbimised, jaotuspunktide viieminutilised keskmised koormused, seadmete tehnilised andmed, planeeritud tootmiskogused jms.

2.5. Kommunikatsiooni plaani koostamine

Selles punktis määratakse projektis osalejad ning sidususrühmad (sponsorid, kliendid, juhid, protsessi operaatorid jne). Pannakse paika plaanid kuidas kõiki osapooli hoida kursis projekti käiguga. Kommunikatsiooni plaan on vajalik koostada selleks, et vältida vähesest kommunikatsioonist tulenevat segadust muudatuste elluviimisel ning selgitamaks kõikidele osapooltele milliste küsimuste puhul kellega ühendust võtta. Kuna see on vajalik pigem ettevõtte siseste optimeerimisprojektide juhtimiseks, siis selle koostamine jääb hetkel väljapoole käesoleva magistr töö eesmärke.

2.6. Projekti plaanide väljatöötamine (ajakava, eelarve jms)

Edukaks optimeerimisprojekti elluviimiseks, nagu seda on tarbimisjuhtimise rakendamine tööstusettevõttes, on vaja koostada iga faasi jaoks eraldi plaan, kasutades eelistatavalt Gantti tabelit. Gantti tabel võimaldab ülesannete jaotamise alamülesanneteks. Selle abil saab määrata igale ülesandele ajad, hinnata töömahtu ning kõige tähtsam planeerida vajalik kogus aega projektile pühendumiseks. Oluline on siinkohal ära määrata kes mida projektis teeb ning mis ajaks. Mida varem on asjad planeeritud ja ette valmistatud seda vähem üllatusi ja kõrvalekaldeid projekti käigus ette tuleb.

Selle koostamine jääb samuti väljapoole käesoleva magistr töö eesmärke.

3. Mõõtmine

Teise faasi eesmärk on põhjalikult aru saada süsteemi hetke olukorrast. Vajalik on usaldusväärsete andmete kogumine mida kasutada juurpõhjuste tuvastamisel. Selles faasis kaardistatakse täielikult vaadeldav protsess, määratakse ära projekti jaoks olulised sisendid ning väljundid, koostatakse andmete kogumise plaan ning analüüsitakse mõõtesüsteemi. Kogutud andmete põhjal määratakse ära projekti baastase, et hiljem objektiivselt hinnata parandusettepanekute mõju süsteemile. Samuti hinnatakse süsteemi hetke suutlikkust toota väljundit ette määratud vahemikus.

3.1. Optimeeritava protsessi täielik kaardistamine

Kasutades protsessi voodiagrammi kaardistatakse ja iseloomustatakse tootmist, protsessi. Määratakse kontrollitavad ja mitte kontrollitavad sisendid.

Näidissettevõtte baasil koostatud voodiagrammid kahe poolautomaatse värviliini kohta on välja toodud lisades, Joonis 8.1 ja Joonis 8.2. Oranžiga on tähistatud punktis 3.5, Andmete kogumine baastaseme määramiseks, kogutud tarbimise juhtimisega seotud sisendid ja väljundid.

3.2. Projekti jaoks oluliste väljundite, sisendite ja protsessi muutujate määramine

Välja joonistatud voodiagrammi pealt saab määrata sisendid ja väljundid mis mõjutavad koormusgraafiku karakteristikuid. Projekti jaoks oluliste sisendite, väljundite ja muutujate määramine on vajalik, et määrata ja koguda andmeid ainult nende väljundite ja sisendite kohta, mis seostuvad projekti eesmärgiga.

Sisendite ja väljundite (XY) maatriks: Sisendi mõju väljundile on määratud agregaatide võimuse ja puhvri suuruste põhjal - mida võimsam agregaat seda suurem mõju. Tipuvõimsust mõjutavad võimsuste kokkulangevused ning koormuskõverate alustusajad ja üldine protsessi voog. Hinnatud on ainult kontrollitavate / muudetavate sisendite mõju. Tabelis 3.1 ja 3.2 on kajastatud hinnatavad tulemused.

Tabel 3.1. HEET värviliini sisendite hinnatav mõju väljundile

Protsess: HEET värviliini koormuskövera kujunemine

Sisendid	Väljundid ja nende tähtsus		Hinnatav mõju väljundile	Kumulatiivne väärus
	Võimsus	Koormusgraafiku kuju		
	9	8		
2 Pesuvanni tsükli aeg	2	9	90	8,1%
2 Pesuvanni temperatuur	9	0	81	7,3%
Konveierliini puhvri kogus	0	10	80	7,2%
Värvikõvenduse ahju alustusaeg	0	10	80	7,2%
1 Pesuvanni alustusaeg	0	10	80	7,2%
2 Pesuvanni alustusaeg	0	10	80	7,2%
1 Pesuvanni tsükli aeg	2	7	74	6,7%
Pesuloputuse tsükli aeg	2	7	74	6,7%
Pesukuivatuse ahju tsükli aeg	2	7	74	6,7%
1 Pesuvanni temperatuur	8	0	72	6,5%
Pesukuivatuse ahju alustusaeg	0	9	72	6,5%
Erivärvi tsükli aeg	2	5	58	5,2%
Standardvärvi tsükli aeg	2	5	58	5,2%
Värvikõvenduse ahju tsükli aeg	2	5	58	5,2%
Standardvärvi seadistus	5	0	45	4,0%
Erivärvi seadistus	4	0	36	3,2%
			kokku: 1112	

Tabel 3.2. HETT värviliini sisendite hinnatav mõju väljundile

Protsess: HETT värviliini koormuskövera kujunemine

Sisendid	Väljundid ja nende tähtsus		Hinnatav mõju väljundile	Kumulatiivne väärus
	Võimsus	Koormusgraafiku kuju		
	9	8		
2 Pesuvanni alustusaeg	0	10	80	11,7%
Konveierliini puhvri kogus	0	10	80	11,7%
Värvikõvenduse ahju alustusaeg	0	10	80	11,7%
1 Pesuvanni temperatuur	8	0	72	10,5%
Pesukuivatuse ahju temperatuur	0	9	72	10,5%
Pesukuivatuse ahju alustusaeg	0	8	64	9,3%
2 Pesuvanni temperatuur	7	0	63	9,2%
1 Pesuvanni alustusaeg	7	0	63	9,2%
Värvikõvenduse ahju temperatuur	0	7	56	8,2%
Erivärvi tsükli aeg	0	7	56	8,2%
			kokku: 686	

3.3. Andmete kogumise plaani koostamine

Selles punktis kirjeldatakse milliseid andeid ja kuidas oleks vaja koguma hatata. Andmete kogumise plaan on vajalik tööriist aru saamiseks milliseid andmeid on vaja uurida ning mõõta. Kõikide andmete kogumine ja uurimine seotud protsessidega ei ole tihtipeale edasiviiv tegevus, sest andmete mahud lähevad liiga suureks ning matemaatilised mudelid väga keerukaks. Samuti võib liiga suure informatsiooni omamine viia tulemusteni kus andmed on omavahel tõlgendatud ebasobival viisil või valesti.

Punktis 3.2 toodud tabelite põhja on näha, et suurimad mõjutajad uuritavale protsessile on agregaatide temperatuurid ning toormaterjali puhvri kogused konveierliinil. Samuti on tähtsal kohal agregaatide alustusajad, sest tipukoormused kujunevad enamasti agregaatide tipuvõimsuste kokkulangemisel.

Agregaatide alustusajad ei ole määratud kuid on võimalik saada 2014 aasta tarbimise andmetest või lasta liini meistritel ülesse märkida. Selles töös määratakse need 2014 aasta tarbimise andmetest.

Tsükliajad sõltuvad konveierliini kiirustest, muudetav on see ainult HEET värviliini puhul. Selles magistris töös on need määratud ligikaudse liini osa pikkuse ja konveierliini kiiruse jagatisena. Täpsuse mõttes võib tulevaste parendusprojektide elluviimiseks lasta liini meistritel tsükli ajad üle mõõta.

Agregaatide temperatuur on määratud samuti liini meistrite poolt ja see sõltub kas protsessi vahemikku sisenev materjal saavutab soovitud tulemuse, näiteks puhtuse või kuivuse. Selles punktis on samuti täpsuse ja optimeerimise mõttes võimalik teostada mõõtmised ning leida optimaalsed temperatuurid igale standardtootele eraldi. Antud magistris töös kasutatakse nominaalväärtusi mis on määratud igat tüüpi toormaterjali töötlemiseks.

Seadistusajad ei ole küll muudetava sisendina defineeritud, kuid kuna andmete kogumisel lähtuti spetsialistide arvamusest ja nad omavad suurt mõju agregaatide käivitamise järjekorra määramisel, siis tuleviku perspektiivina tasuks üle mõõta mis ajaga saavutatakse nominaaltemperatuurid agregaatides, selleks, et veel paremini protsessi optimeerida.

3.4. Mõõtesüsteemi analüüs

Selles punktis pannakse kirja ning uuritakse milliseid andmeid tööstusettevõttes mõõdetakse ja kuidas.

Näidissettevõtte puhul mõõdetakse tunni keskmist tarbimist Elektromehaanika ja Elektroonika 10kV jaotusalajaamades, samuti on olemas mõned mõõtepunktid suurtarbijatele, kus mõõdetakse viie minuti keskmisi tarbimise võimsusi.

Mõõtepunktid jagunevad järgmiselt:

HETT värviliini ahi - kõik kuumutusseadmed nii ahjus kui pesuvannis elektroonika jaotuspunktis

HETT seadmed - kõik värviliini väljatõmmetega seotud ventilatsioonid elektroonika jaotuspunktis

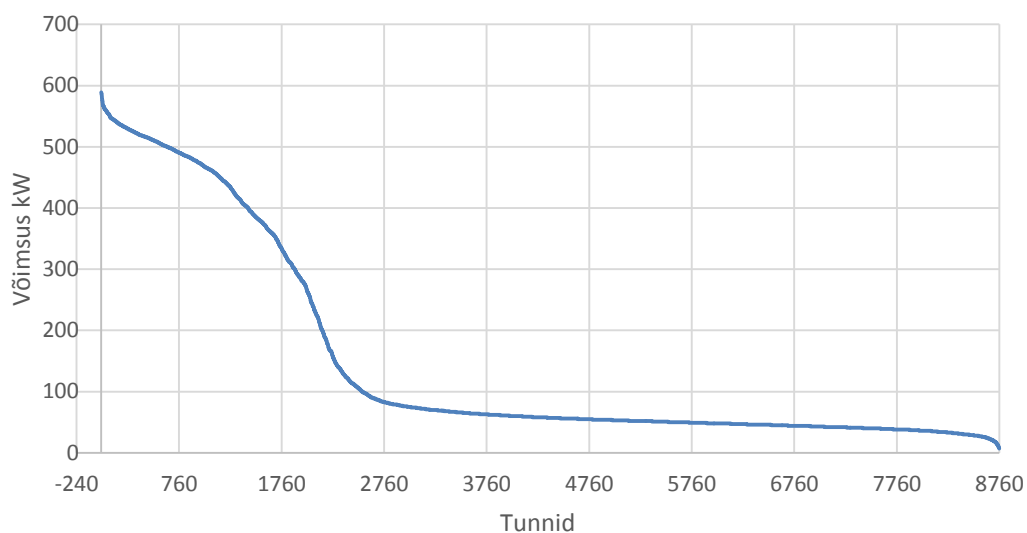
HEET värviliini ahi - ahju toide koos selle osa ventilatsiooni toitega elektromehaanika jaotuspunktis

HEET pesuliin - pesuliin koos loputusega ning selle osa ventilatsiooni toitega elektromehaanika jaotuspunktis

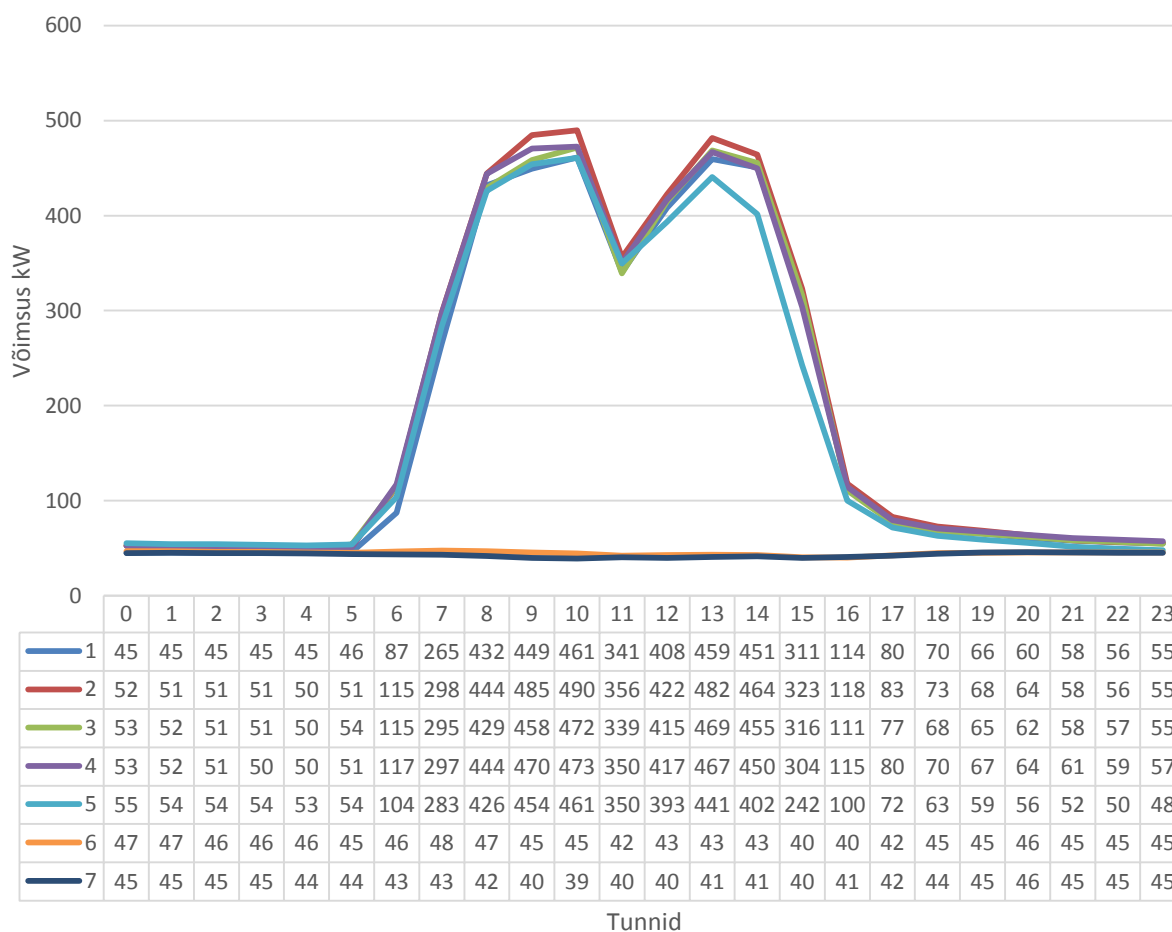
3.5. Andmete kogumine baastaseme määramiseks

Selles punktis tuleks koguda andmed elektritarbimise, agregaatide tehniliste andmete ning punktis 3.3 määratud sisendite kohta mille abil saab määrata projekti baastasemed.

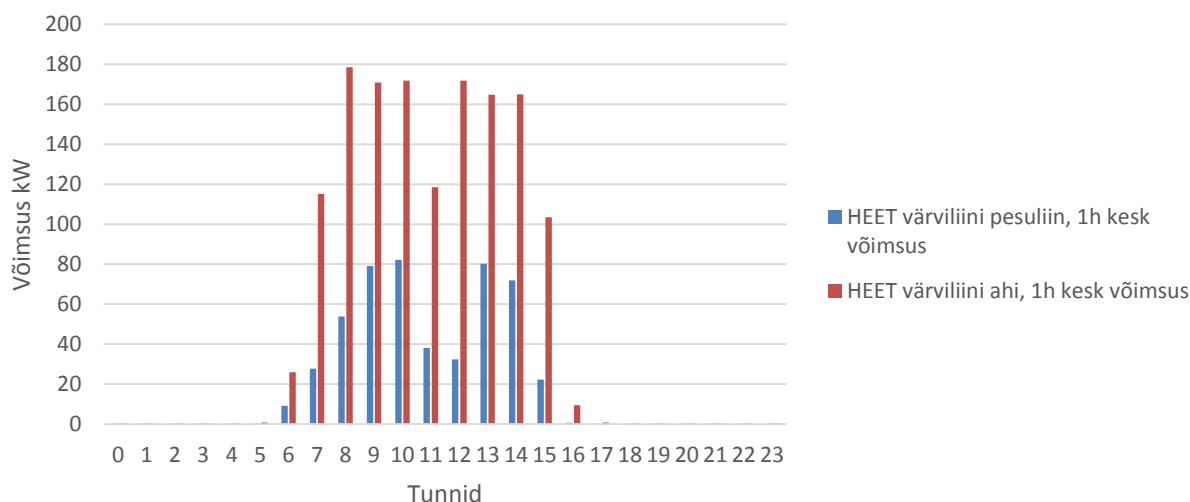
Vaadeldavate poolautomaatsete värviliinide elektritarbimine oli 2014 aasta jaanuarist kuni 2015 aasta jaanuarini elektromehaanika alajaama toitel oleva (HEET) värviliini puhul 1,46 GWh ja elektroonika alajaama toitel oleva (HETT) värviliini puhul 1,31 GWh. Elektritarbimise seisukohast on antud liinide näol tegu suure ja ebastabiilse tarbijaga: baaskoormus vaadeldaval perioodil oli 50 kW ning tipukoormus jääb 500 – 600 kW juurde (Joonis 3.1. ja Joonis 3.4.). Vaadeldavate liinide elektritarbimist kirjeldab suur koormuse muutus: päevasel ajal, tööpäevadel, on tarbimine 500 kW ja rohkem ning öösiti ja nädalavahetustel 50 kW juures (Joonis 3.2. ja Joonis 3.5.). Suurtarbijad lülitatakse protsessi järgselt sisse mõlema poolautomaat liini puhul tööpäeva alguses kella kuuest (Joonis 3.3. ja Joonis 3.6.), kusjuures ei ole määratud millises järjekorras ja millisel hetkel. Agregaatide seadistusajad ja võimsused nominaaltemperatuuri saavutamiseks on välja toodud Tabel 3.3 ja Tabel 3.4 .



Joonis 3.1. Elektromehaanika jaotusalajaama koormuskestuskõver 2014 aastal



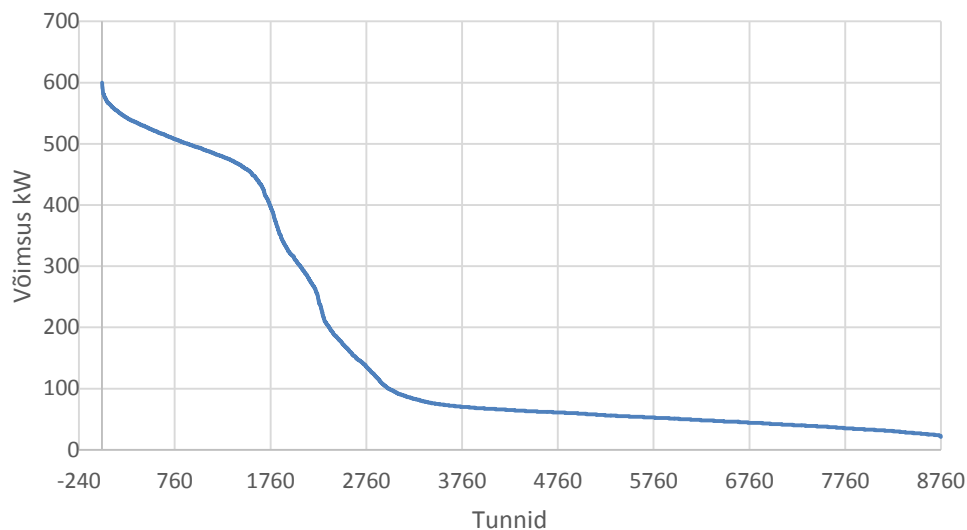
Joonis 3.2. Elektromehaanika jaotusalajaama 2014 aasta tüüpkoormusgraafikud nädalapäevade lõikes



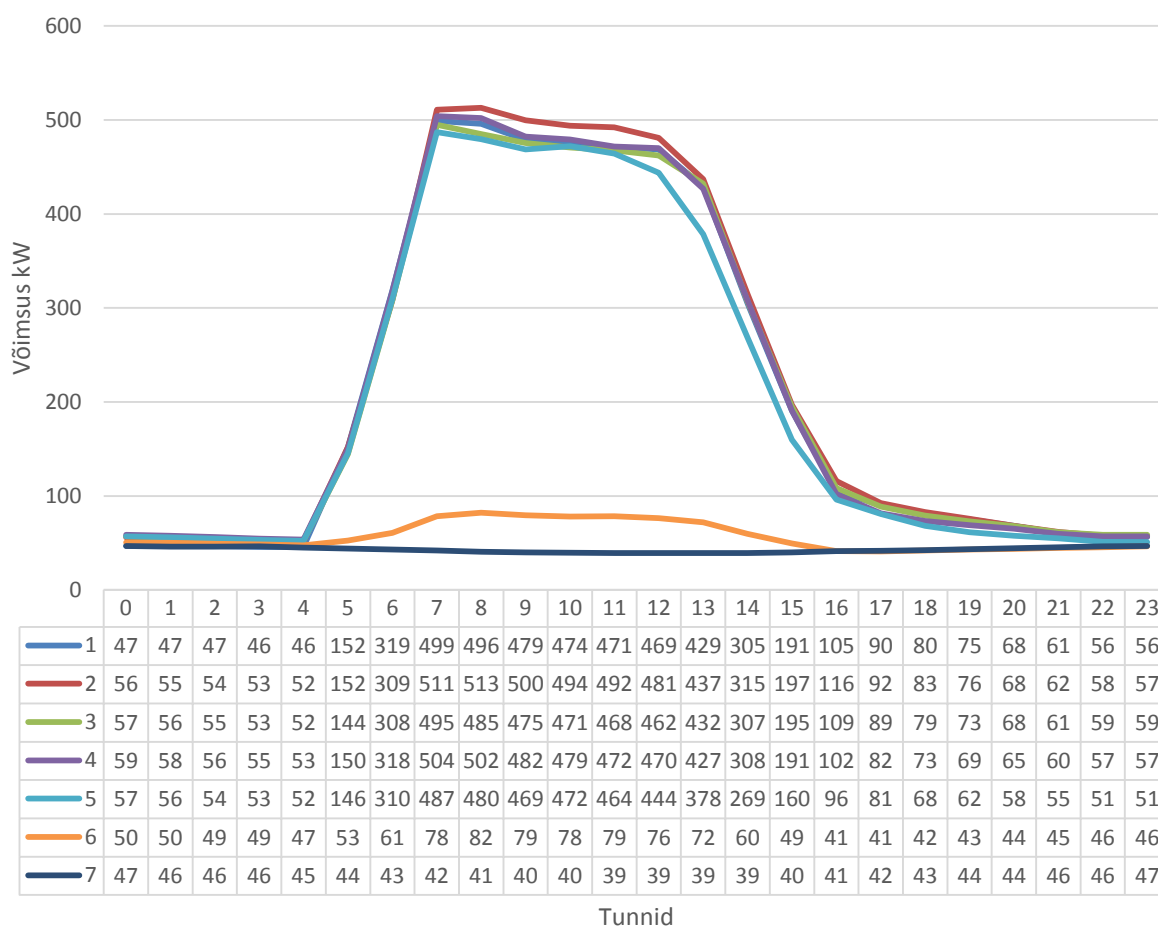
Joonis 3.3. HEET värviliini 2014 aasta suurtarbijate tööpäevasised tüüpkoormusgraafikud

Tabel 3.3. HEET värviliini agregaatide tehnilised andmed

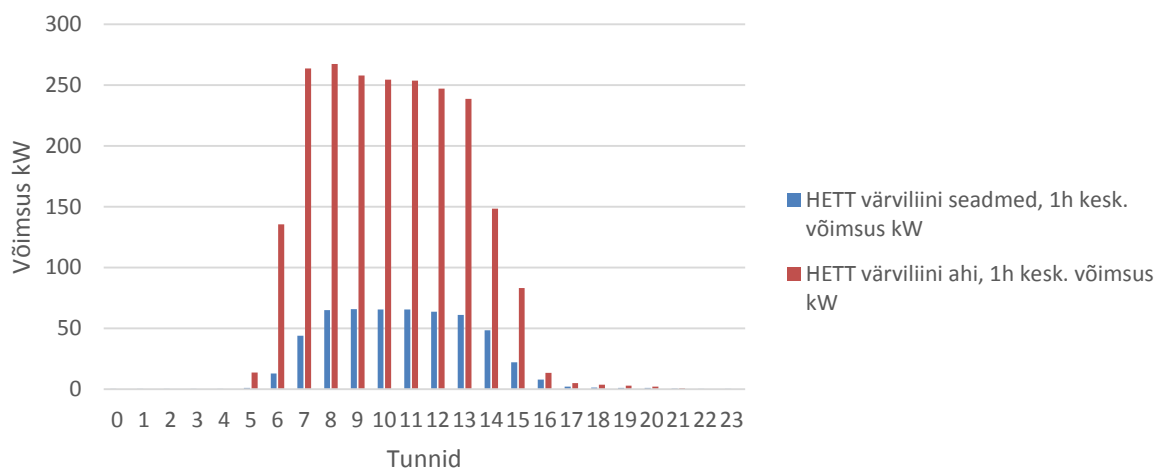
HEET värviliini agregaatide tehnilised andmed		
Agregaat	Tehnilised andmed	
Kompressor	Võimsus	0 - 76 kW
Ventilatsioon	Võimsus	37,5
Tehase puhver	Kogus	2 - 3 päeva
Konveierliin	Puhver	0 - 55 min
	Võimsus	0 - 1 kW
	Kiirus	0,9 - 1 m/min
Pesuvann 1	Nom temp	45 - 55 °C
	Seadistuse aeg	20 min
	Tsükli aeg	7,5 - 8,5 min
	Võimsus	0 - 120 kW
Pesuvann 2	Nom temp	45 - 55 °C
	Seadistuse aeg	20 min
	Tsükli aeg	7,5 - 8,5 min
	Võimsus	0 - 120 kW
Pesuloputus	Tsükli aeg	15 - 16,7 min
	Võimsus	Pole teada
Erivärvi kamber	Seadistuse aeg	Pole teada
	Tsükli aeg	7,5 - 8,5 min
	Võimsus	Pole teada
Standard värvikamber	Seadistuse aeg	Pole teada
	Tsükli aeg	7,5 - 8,5 min
	Võimsus	Pole teada
Värvikõvenduse ahi	Nom temp	200 °C
	Seadistuse aeg	30 min
	Tsükli aeg	20 - 22 min
	Võimsus	0 - 192 kW



Joonis 3.4. Elektroonika jaotuslajaama koormuskestuskõver 2014 aastal



Joonis 3.5. Elektroonika jaotuslajaama 2014 aasta tüüpkoormusgraafikud nädalapäevade lõikes



Joonis 3.6. HETT värviliini 2014 aasta suurtarbijate tööpäevasisesed tüüpkoormusgraafikud

Tabel 3.4. HETT värviliini agregaatide tehnilised andmed

HETT värviliini agregaatide tehnilised andmed		
Agregaat	Tehnilised andmed	
Ventilatsioon	Võimsus	Pole teada
Tehase puhver	Kogus	0-7 päeva
Konveierliin	Puhver	0 - 60 min
	Kiirus	0,67 m/min
Pesuvann 1	Nom temp	45 - 55 °C
	Seadistuse aeg	40 min
	Tsükli aeg	11,2 min
	Võimsus	0 - 72 kW
Pesuvann 2	Nom temp	45 - 55 °C
	Seadistuse aeg	40 min
	Tsükli aeg	11,2 min
	Võimsus	0 - 72 kW
Pesukuivatuse ahi	Nom temp	140 °C
	Seadistuse aeg	30 min
	Tsükli aeg	22,4 min
	Võimsus	0 - 72 kW
Standard värvikamber	Seadistuse aeg	Pole teada
	Tsükli aeg	11,2 min
	Võimsus	Pole teada
Erivärvi kamber	Seadistuse aeg	Pole teada
	Tsükli aeg	11,2 min
	Võimsus	Pole teada
Värvikõvenduse ahi	Nom temp	180 - 190 °C
	Seadistuse aeg	35 min
	Tsükli aeg	37 min
	Võimsus	0 - 156 kW

3.6. Protsessi voodiagrammi uuendamine saadud andmetega

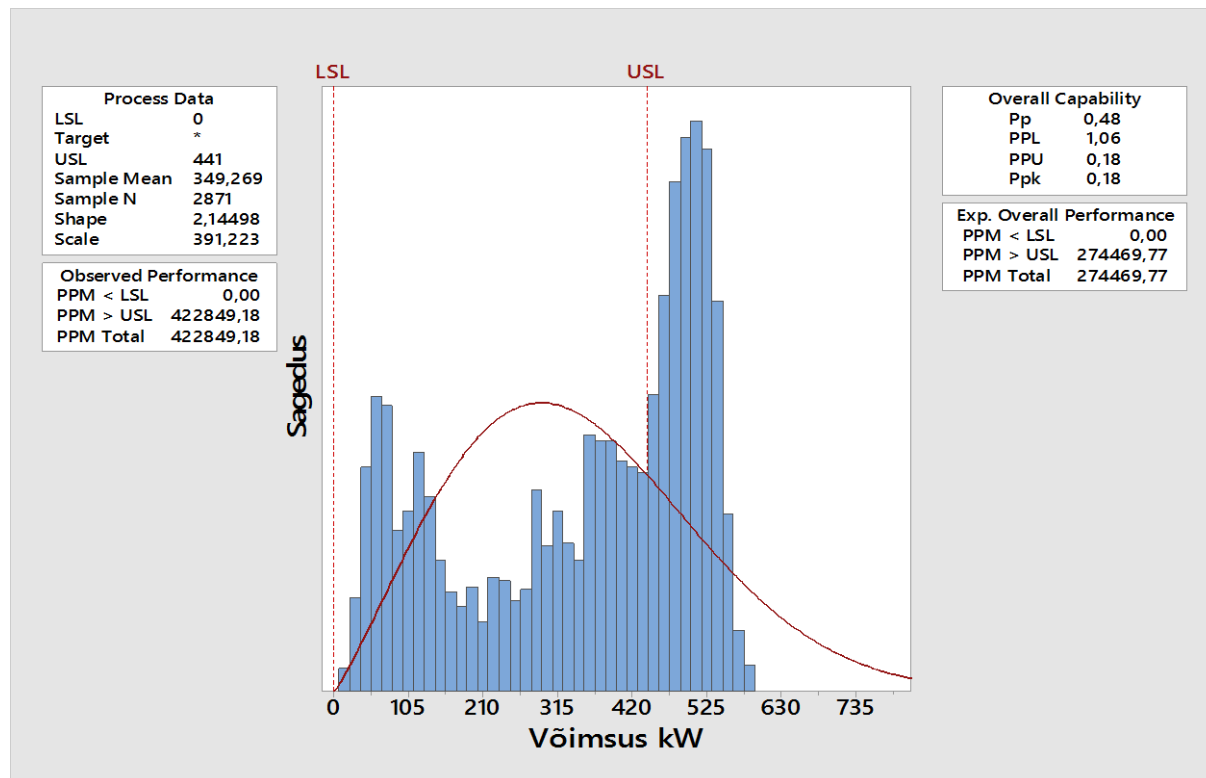
Selles punktis täpsustatakse kogutud andmete põhjal millised tarbimise juhtimise meetmed on liinidel juba kasutusel. Lisatakse iga sammu juurde tehnilised andmed, töötlusajad ja muu oluline informatsioon. Magistritöö mahu vähendamise eesmärgil on need andmed kantud juba värviliinide voodiagrammidele (Joonis 8.1 ja Joonis 8.2).

3.7. Süsteemi suutlikkuse analüüsi teostamine

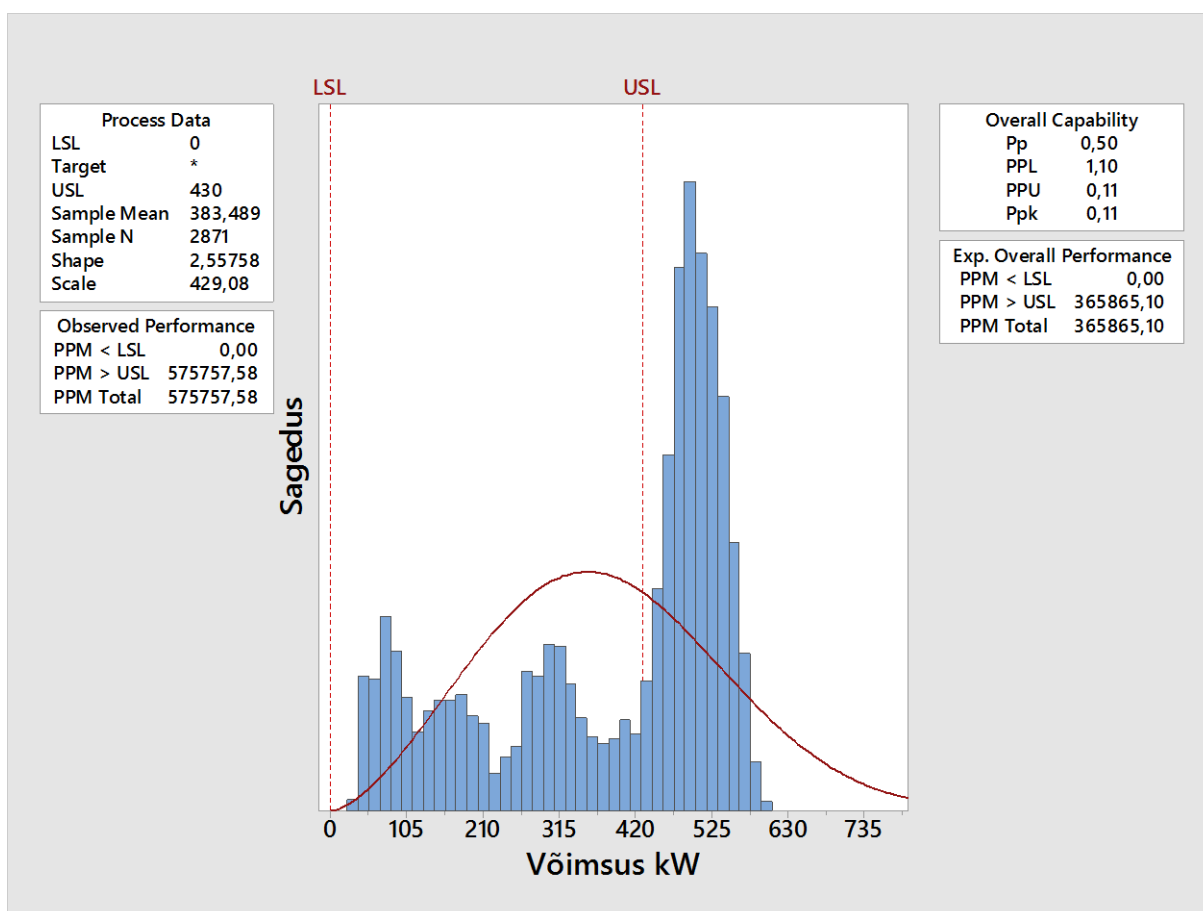
Suutlikkuse analüüs näitab esialgse süsteemi võimekkust toota väljundit ette antud vahemikus, kusjuures ülemise ja alumise spetsifikatsiooni limiidid saab määrata vastavalt projektis määratletud eesmärkidele.

Näidissettevõttes süsteemi suutlikkuse määramiseks kasutatakse 2014 aasta tööpäevade tööaja siseseid koormuste andmeid ja statistika programmi Minitab.

Kasutades punktis 2.2 arvatud ja ideaalseks teoreetiliseks koormuskõveraks määratud jaanuari kuu tööpäeva siseseid andmeid seatakse ülemiseks spetsifikatsiooni limiidiks elektromehaanika jaotuspunktile 441 kW ja elektroonika jaotuspunktile 430 kW. Alumiseks spetsifikatsiooni limiidiks määratakse mõlema jaotuspunkti korral 0 kW.



Joonis 3.7. Elektromehaanika jaotuspunkti suutlikkuse analüüs 2014 aasta tööpäeva tööaja sisestele koormustele



Joonis 3.8. Elektroonika jaotuspunkti suutlikkuse analüüs 2014 aasta tööpäeva tööaja sisestele koormustele

Suutlikkuse analüüsist selgub, et elektromehaanika jaotuspunkti korral langeb 58% koormustest ja elektroonika jaotuspunkti korral 43% koormustest soovitud vahemikku.

4. Analüüs

Kolmanda faasi põhieesmärk on täpselt ära määrata juurpõhjused mis mõjutavad projektiga seotud võtme sisendeid ja väljundeid. Mõõte faasist välja selgitatud sisendite, väljundite ja protsessi muutujatest tingitud juurpõhjused identifitseeritakse juurpõhjuse analüüsi tulemusena. Vajadusel kogutakse identifitseeritud juurpõhjuste kinnitamiseks lisaandmeid, et kindlaks teha nende koosmõju tulemusnäitajatele. Seda protsessi korratakse kuni juurpõhjuste mõju protsessi väljundile Y on võimalik kinnitada. [5]

Selle faasi põhisammud on järgmised:

4.1. Protsessi voo analüüs

Selles punktis leitakse protsessi voos pudelikaelad ja piirangud. Kirjeldatakse protsessis leitud puudused jms.

Näidisettevõtte mõlema tootmisliini puhul on tegemist poolautomatse konveierliiniga mille läbilaksevõime määrab ära konveieri kiirus. Liini töö alustusajaks on aeg millal esimene inimene saabub tööle ja hakkab agregate sisse lülitama, kusjuures ei ole kindlaks määratud agregaatide sisse lülitamise järjekorda. Näiteks elektromehaanika suurtarbijate puhul on näha, et värviliini kõvendusahi saavutab keskmiselt maksimumkoormuse enne pesuliini maksimumkoormuse saavutamist, Joonis 3.3., kuigi nende seadistusajad, ehk ajad millal saavutatakse nominaaltemperatuur on samas suurusjärgus. Kogutud andmetest võib järeldada, et ahi lülitatakse sisse enne või samal ajal kui pesuliin. Sellest võib ka järeldada, et agregate lülitatakse sisse täiesti suvalises järjekorras, sest ei ole kindlaks määratud ja paika pandud agregaatide käivitamise protsessi. Optimeeritava protsessi seisukohast on selline tegutsemine võrdeline raiskamisega, sest vaadates protsessi voogu koos seadistus- ja tsüklaegadega on ahi vaja sisse lülitada HEET värviliini puhul 60 minutit ja HETT värviliini puhul 75 minutit peale pesuliini käivitamist.

Tootmisliinide puhul ei kasutata ära konveierliinil olevat puhvri võimekkust aegjuhtimisel. Peale pesuliini käivitamist vaadatakse üle tootmisplaan ning hakatakse paigaldama detaile konveierliinile. Protsessi muutes selliselt, et tööpäeva lõpus vaadatakse üle järgmise päeva tootmisplaan ning riputatakse terve puhvri ulatuses materjale järgmise päeva hommikuks, oleks võimalik tootmisliini alustusaega maksimaalselt nihutada elektroonika alajaama toitel oleva tootmisliini puhul 100 minutit varasemaks ning elektromehaanika alajaama toitel oleva tootmisliini puhul 75 minutit varasemaks. Kusjuures see osa tootmisliinist on täiesti automaatne

ning agregaatide lülitused võib teostada automaatikaga. Personali saabudes saab teostada esimese kvaliteedikontrolli kuivatusahjust tulevale materjalile. Siinkohal jällegi protsessi täielikuks optimeerimiseks tuleks ettevõtte siseselt teostada täpsed mõõtmised agregaatide seadistusaegadele, sest käesolevas töös lähtutakse spetsialistide hinnangust.

Elektromehaanika jaotuspunkti andmete põhjal, Joonis 3.2., on näha, et keset päeva, kella 12 ajal, on keskmiselt 45min suurused augud koormusgraafikus, mis lähemal uurimisel on tingitud lõunapausidest. Lõunapausilt tagasi tulles lülitatakse agregaadid uuesti tööle, selline teguviis võib tekitada tipukoormusi agregaatide tipuvõimsuste kokkulangevusest. Samuti vähendab see liini tootlikkust.

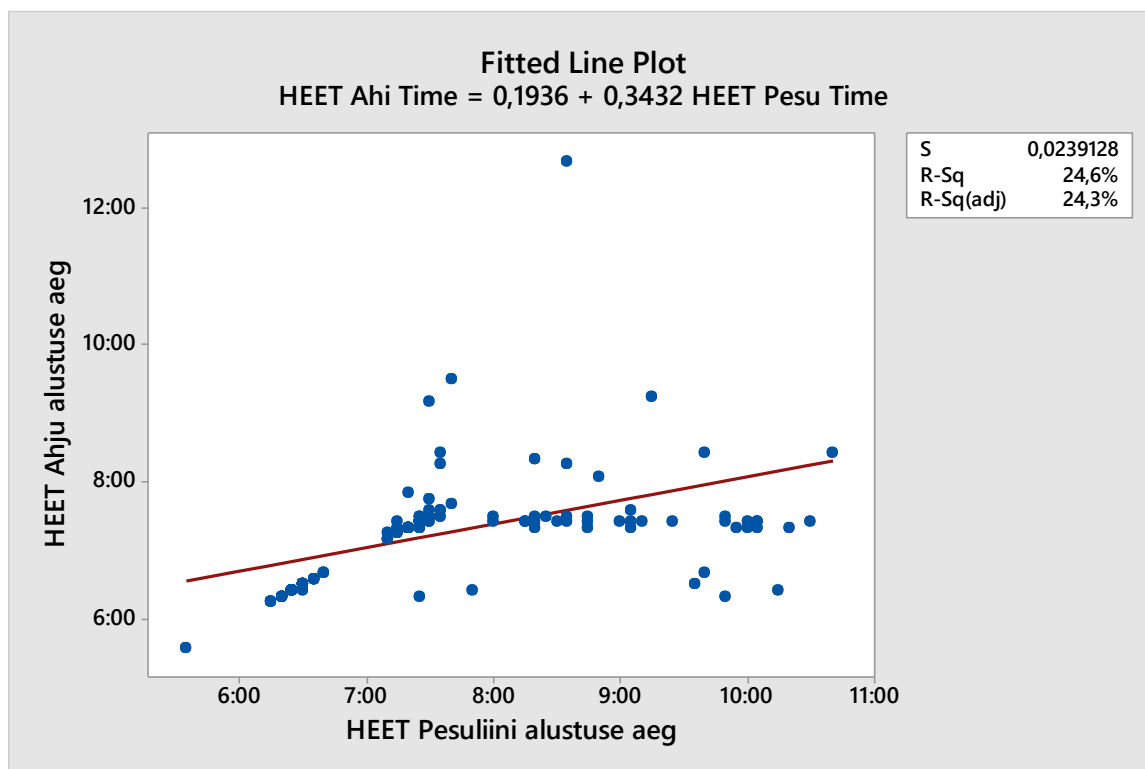
4.2. Mõõtefaasis kogutud andmete analüüs

Selles punktis on leitakse ja näidatakse seosed erinevate juurpõhjuste vahel.

Näidissettevõtte puhul analüüsitakse järgmisi andmeid:

4.2.1 Agregaatide alustusajad

Alustusajad peaksid olema lineaarses seoses, sest nende lülitamine peaks toimuma süsteemselt. HEET värviliini regressiooni analüüsist selgub järgmine:



Joonis 4.1. HEET pesuvanni ja värvikõvendusahju alustusaegade regressiooni analüüs.

Regressiooni analüüsi tulemused: HEET Ahi alustusaeg versus HEET Pesu alustusaeg

The regression equation is
 $\text{HEET Ahi Time} = 0,1936 + 0,3432 \text{ HEET Pesu Time}$

$S = 0,0239128$ $R\text{-Sq} = 24,6\%$ $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 24,3\%$

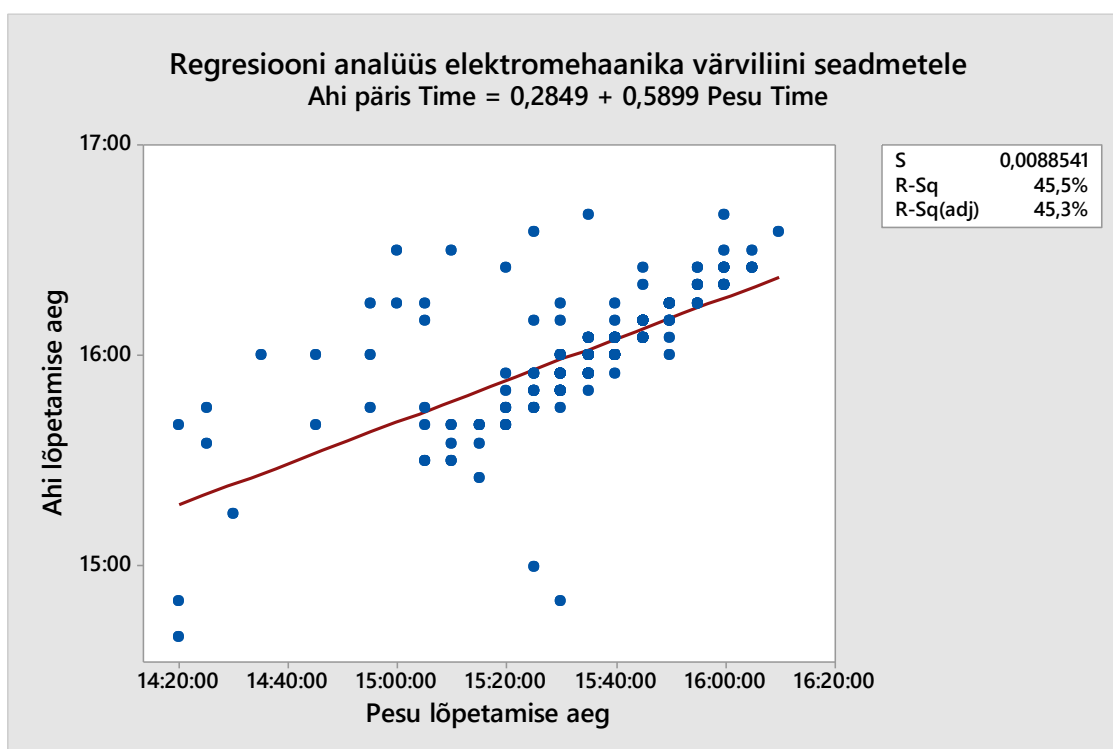
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,043443	0,0434426	75,97	0,000
Error	233	0,133234	0,0005718		
Total	234	0,176677			

P väärtus 0 näitab, et lineaarne sõltuvus on nendel liini osadel olemas, aga R-Sq väärtus ütleb, et pesuliini alustusaeg iseloomustab ahju alustusaega ainult 24% ulatuses. See tähendab, et erinevate liini osade alustusajad ei ole süsteemselt paika pandud ning lülitamine toimub kaootiliselt.

4.2.2 Agregaatide lõpetamise ajad

Lõpetamise ajad peaksid olema lineaarses seoses, sest nende lülitamine peaks toimuma süsteemselt. HEETvärviini regressiooni analüüsist selgub järgmine:



Joonis 4.2. HEET pesuvanni ja värvikõvendusahju lõpetamise aegade regressiooni analüüs.

Regressiooni analüüsi tulemused: Ahi lõpetamise aeg versus Pesu lõpetamise aeg

The regression equation is
 Ahi päris Time = 0,2849 + 0,5899 Pesu Time

S = 0,00885405 R-Sq = 45,5% R-Sq(adj) = 45,3%

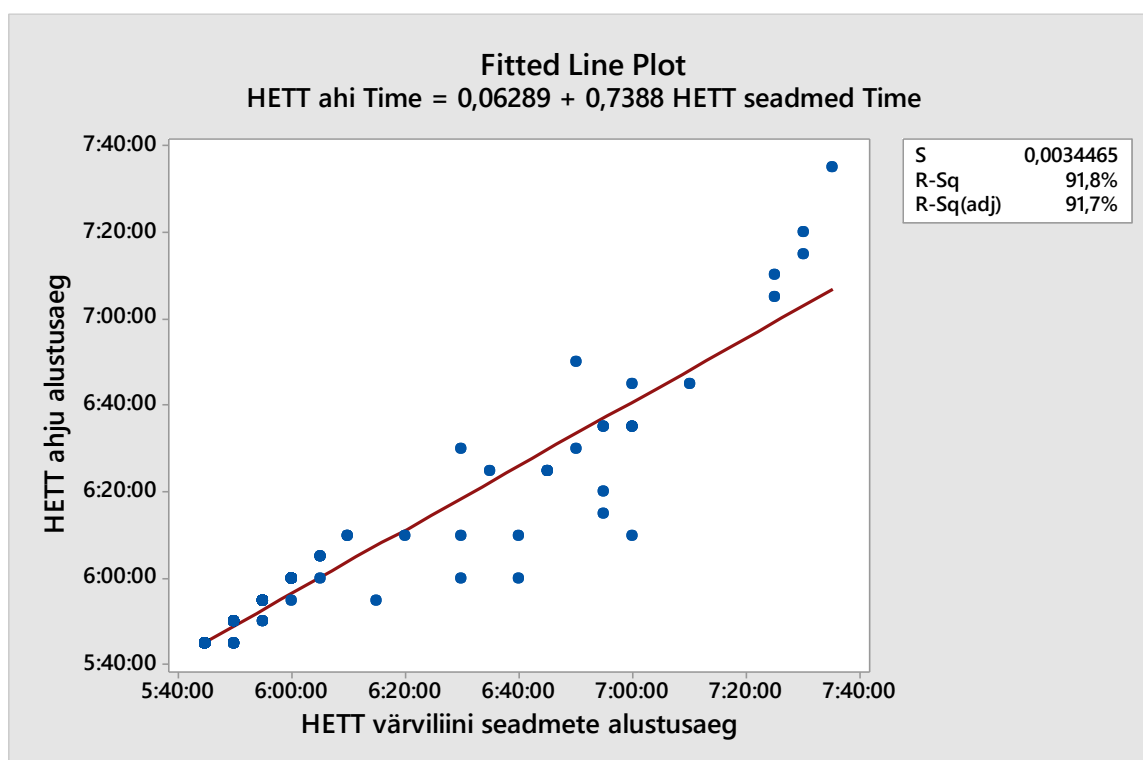
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,0144649	0,0144649	184,51	0,000
Error	221	0,0173251	0,0000784		
Total	222	0,0317900			

P väärtus 0 näitab, et lineaarne sõltuvus on nendel liini osadel olemas, aga R-Sq väärtus ütleb, et pesuliini lõpetamise aeg iseloomustab ahju lõpetamise aega ainult 45% ulatuses. See tähendab, et erinevate liini osade lõpetusajad ei ole süsteemselt paika pandud ning lülitamine toimub kaootiliselt.

4.2.3 Agregaatide ja nendega seotud seadmete alustusajad

Alustusajad peaksid olema lineaarses seoses. HETT värviliini regressiooni analüüsist selgub järgmine:



Joonis 4.3. HETT värviliini ahju ja seadmete alustusaegade regressiooni analüüs

Regressiooni analüüsi tulemused: HETT ahi Time versus HETT seadmed Time

The regression equation is
 HETT ahi Time = 0,06289 + 0,7388 HETT seadmed Time

S = 0,00344648 R-Sq = 91,8% R-Sq(adj) = 91,7%

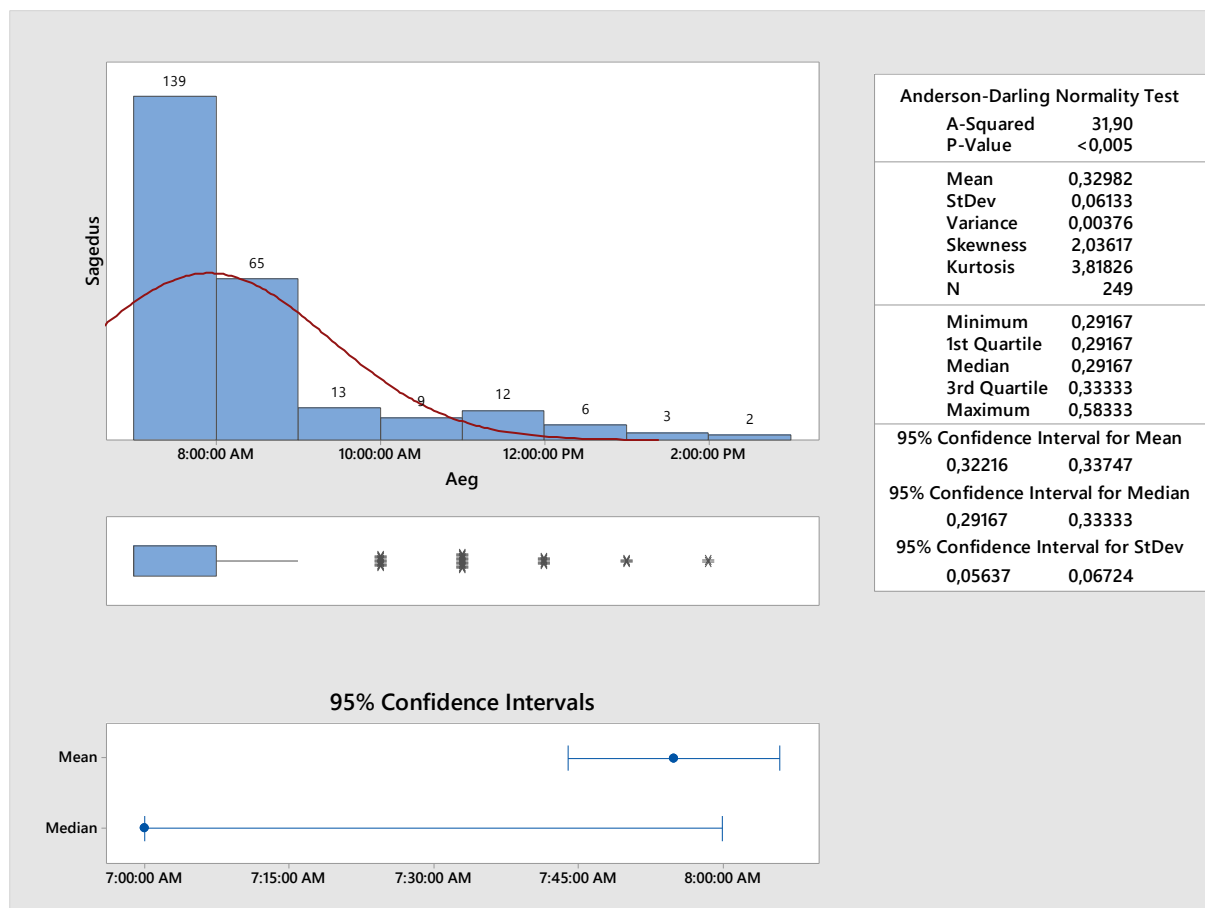
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,0324493	0,0324493	2731,84	0,000
Error	245	0,0029102	0,0000119		
Total	246	0,0353595			

P väärtus 0 näitab, et lineaarne sõltuvus on nendel liini osadel olemas, R-Sq väärtus ütleb, et värviliini seadmete alustusaeg iseloomustab ahju alustusaega 92% ulatuses. See tähendab, et värviliini seadmete ja ahju alustusajad on teineteisest väga sõltuvad, mis on ka loogiline, sest HETT värviliini ahju punktis mõõdetakse nii pesuvanni kui ahju kuumutusseadmeid koos ning värviliini seadmete alla on pandud kogu väljatõmme. See tähendab, et mõõtesüsteemis olevad andmed on tõepärased. Kahjuks pole selle analüüsi tulemusena võimalik näha ajalisi seost värviliini ahju ja pesuvanni vahel, kuid eelnevate analüüside põhjal võib siiski järeldada, et värviliini ahju alustusaeg ei ole kindlalt paika määratud ning lülitamine toimub kaootiliselt.

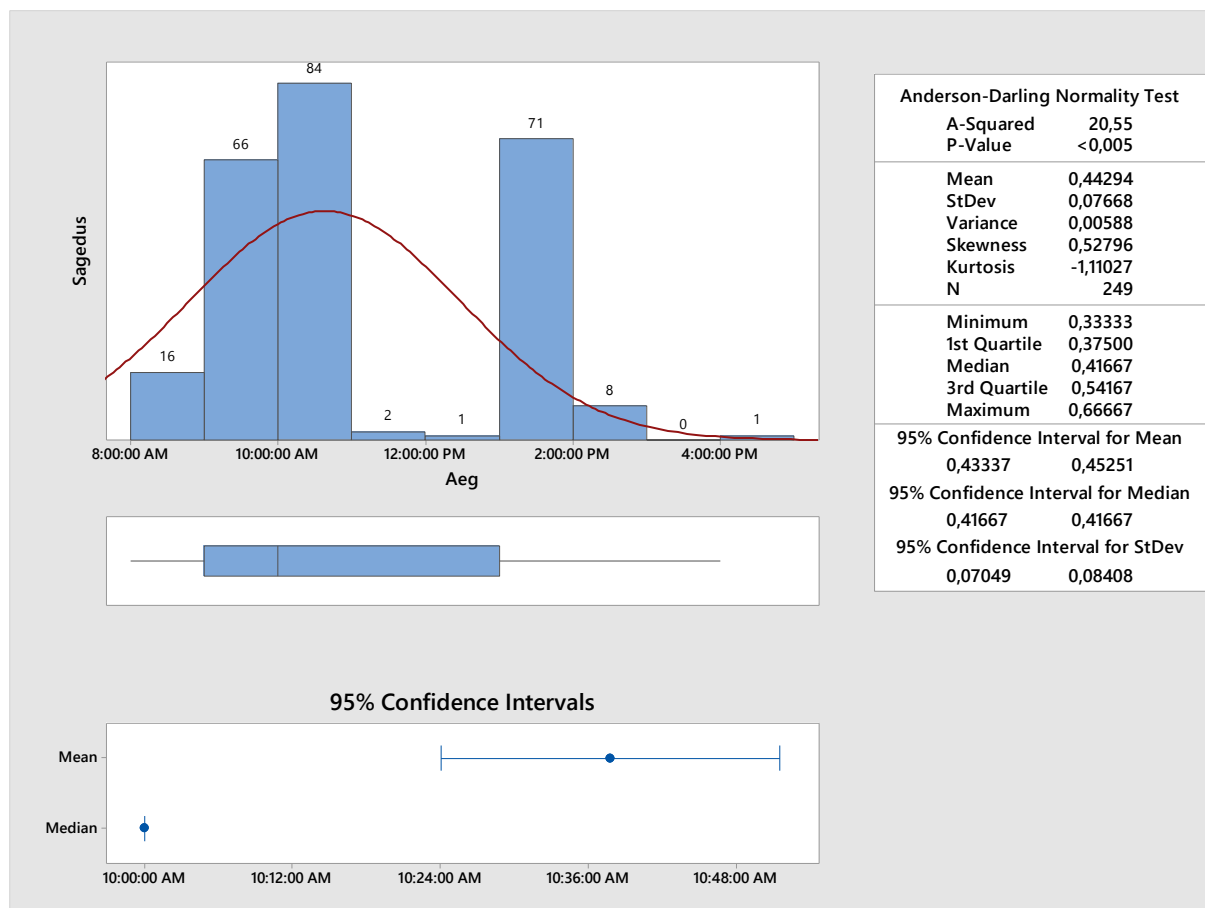
4.2.4 Tipuvõimsuste ajad

Elektroonika jaotuspunkti korral on näha, et tipuvõimsused esinevad kõige sagedamini kella seitsmest kella kaheksani, Joonis 4.4.. Tõenäoliselt on see tingitud agregaatide samaaegsest käivitamisest.



Joonis 4.4. Elektroonika jaotuspunkti kellaajaline tipuvõimsuste esinemise koondaruanne

Elektromehaanika jaotuspunkti korral on näha, et kõige sagedamini esinevad tipuvõimsused kella üheksast üheteistkümmeni, Joonis 4.5., see on normaalne nähtus, sest agregaadid töötavad juba täie võimsuse juures ning sellel kellaajal on tüüpiliselt ühtlane koormus 500 kW juures. Tipuvõimsused mis esinevad kella ühest kaheni, aga on suure tõenäosusega tingitud agregaatide tipuvõimsuste kokkulangevusest, sest enne lõunapausi lülitatakse agregaadid välja ja peale seda jälle sisse, samas ei ole kontrollitud millises järjekorras.

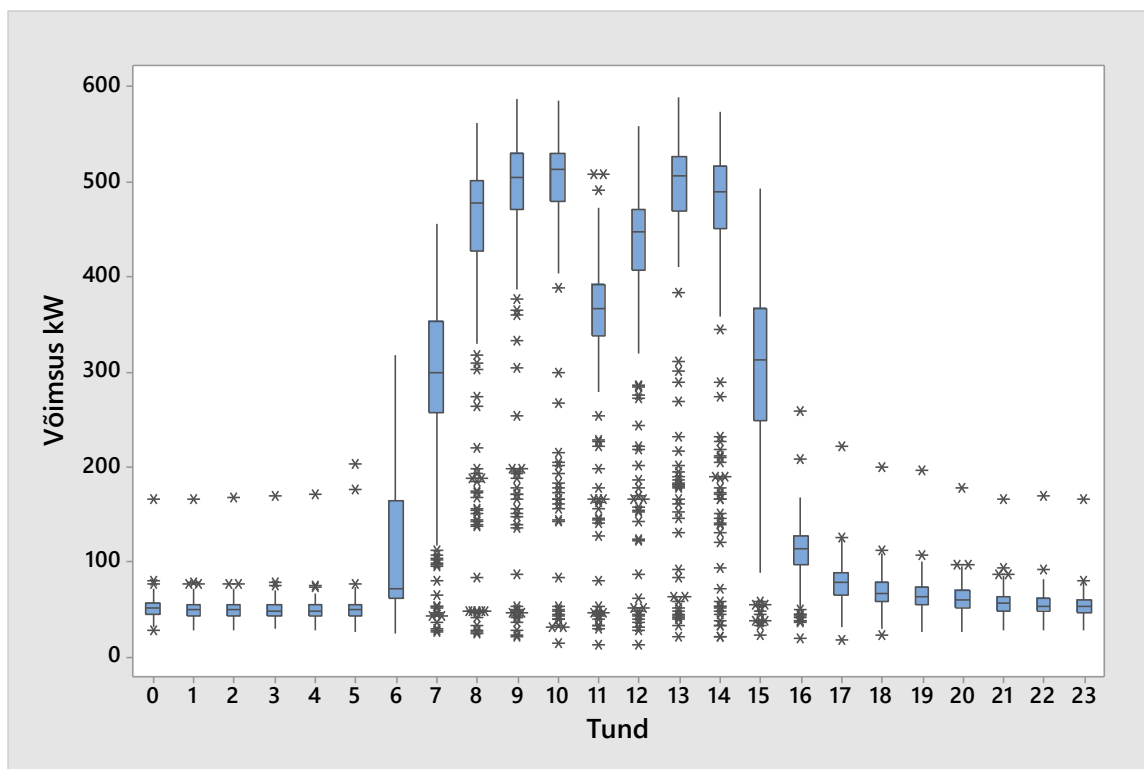


Joonis 4.5. Elektromehaanika jaotuspunkti kellaajaline tipuvõimsuste esinemise koondaruanne

4.2.5 Keskmiste võimsuste tunnisised jaotused tööpäevadel

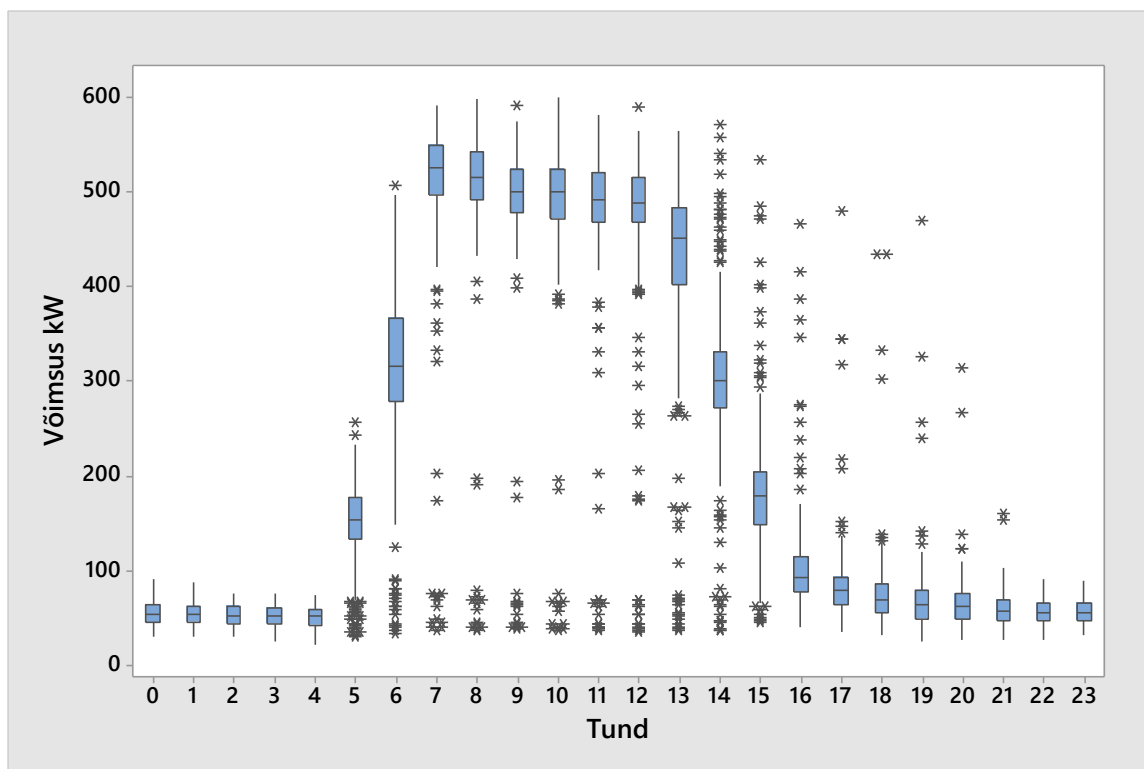
See analüüs näitab ära tunnisised hajuvused ning kui suurel määral keskmiste võimsuste jaotused varieeruvad üksteise suhtes tööpäevadel.

Joonis 4.6. iseloomustab 2014 aasta tööpäeva siseste tunni keskmiste võimsuste jaotusi elektromehaanika 10kV jaotusalajaamas. Horisontaaljoonega on tähistatud jaotuse mediaan, sinise kasti ülemine osa tähistab jaotuse kolmandat kvartiili ja alumine osa esimest kvartiili. Vertikaaljooned tähistavad jaotuse miinimum ja maksimumväärtusi ning tärniga on tähistatud erijuhud. Jooniselt on näha, et võimsused varieeruvad kõige enam kella kuue, seitsme ja kolme ajal päeval. Erijuhud on tingitud riiklikest pühadest või päevadest millal tehas seisis, samuti on need tingitud protsessi normaaltalituse välistest seisakutest.



Joonis 4.6. 2014 aasta tööpäeva siseste tundide jaotused elektromehaanika 10kV jaotusalajaamas

Joonis 4.7. iseloomustab 2014 aasta tööpäeva siseste tunni keskmiste võimsuste jaotusi elektroonika 10kV jaotusalajaamas. Joonisel on samuti horisontaaljoonega tähistatud jaotuse mediaan, sinise kasti ülemine osa tähistab jaotuse kolmandat kvartiili ja alumine osa esimest kvartiili. Vertikaaljooned tähistavad jaotuse miinimum ja maksimumväärtusi ning tärniga on tähistatud erijuhud. Jooniselt on näha, et võimsused varieeruvad kõige enam kella kuue ajal hommikul ning ühe, kahe ja kolme ajal päeval. Erijuhud on tingitud riiklikest pühadest või päevadest millal tehas seisis, samuti on need tingitud protsessi normaaltalituse välistest seisakutest või pikematest tööpäevadest.



Joonis 4.7. 2014 aasta tööpäeva siseste tundide jaotused elektroonika 10kV jaotusalajaamas

4.2.6 Agregaatide korrelatsioon tunniandmetega

Siin punktis uuritakse kuidas kujuneb tüüpkoormuskõver mõõdetavate agregaatide tööst sõltudes.

Regressiooni analüüs koostatakse programmis Minitab. Selle tulemusena nähakse kui suures osas agregaatide tarbimised iseloomustavad tunnipõhiste võimuste tekkimist ning milline on jaotuspunkti teoreetiline baaskoormus.

Regression Analysis: HEET kogutarbimine versus HEET värviliini ahi; HEET värviliini pesuliin

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	2634464331	1317232166	347377,43	0,000
HEET värviliini ahi	1	581914022	581914022	153461,03	0,000
HEET värviliini pesuliin	1	48019818	48019818	12663,68	0,000
Error	105069	398414672	3792		
Lack-of-Fit	5950	199522752	33533	16,71	0,000
Pure Error	99119	198891921	2007		
Total	105071	3032879004			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
61,5787	86,86%	86,86%	86,86%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	66,556	0,214	310,40	0,000	
HEET värviliini ahi	1,59152	0,00406	391,74	0,000	2,92
HEET värviliini pesuliin	1,06387	0,00945	112,53	0,000	2,92

Regression Equation

HEET kõik = 66,556 + 1,59152 HEET värviliini ahi + 1,06387 HEET värviliini pesuliin

Regression Analysis: HETT kõik versus HETT värviliini ahi; HETT värviliini seadmed

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	3228299161	1614149581	736748,74	0,000
HETT värviliini ahi	1	253734430	253734430	115812,39	0,000
HETT värviliini seadmed	1	191244444	191244444	8729,00	0,000
Error	105069	230196638	2191		
Lack-of-Fit	5674	92084324	16229	11,68	0,000
Pure Error	99395	138112314	1390		
Total	105071	3458495799			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
46,8071	93,34%	93,34%	93,34%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	62,586	0,168	372,88	0,000	
HETT värviliini ahi	1,22843	0,00361	340,31	0,000	8,01
HETT värviliini seadmed	1,3666	0,0146	93,43	0,000	8,01

Regression Equation

HETT kõik = 62,586 + 1,22843 HETT värviliini ahi + 1,3666 HETT värviliini seadmed

Regressiooni analüüs näitab, et nii HETT kui HEET värviliini korral ei ole ainult pesuliini, seadmete ja värviahju andmete põhjal võimalik luua mudelit tunni keskmiste andmete kujunemiseks, sest tekkiv viga on liiga suur. Samas on värviliini ahi, seadmed ja pesuliin suured mõjutegurid tipukoormuste kujunemisel ning nende juhtimine annab sellegi poolest tulemusi. Siit saab järeldada, et põhjalikumaks arusaamaks koormuste kujunemisel on vaja mõõta lisaks ka teisi agregate.

4.2.7 Nominaaltemperatuurid

Agregaatide võimsus on otseses sõltuvuses nominaaltemperatuuridega, sellepärast tuleks üle vaadata ja mõõta standardtoodang ning igale standardsele materjalile määrata oma seadistus nii, et väljund oleks kvaliteetne samas võimalikult madalal temperatuuril. Agregaatide nominaaltemperatuuri alanedes on võimalik säästa omakorda energiakokkuhoiult.

4.2.8 Seadistusajad

Käesolevas töös käsitletakse spetsialistide hinnangust tulenevaid seadistusega, kuid protsessi täielikuks optimeerimiseks oleks vaja ära mõõta aeg mille jooksul iga agregaat saavutab oma nominaaltemperatuuri, et hiljem panna veel täpsemalt paika loogiline protsessi voog ning agregaatide käivitamise järjekord.

4.3. Teooriate koostamine võimalike juurpõhjuste väljaselgitamiseks

Eelpool koostatud analüüside põhjal saab kindlalt väita, et mõõdetavate agregaatide alustusajad ei ole paika määratud. Agregaatide mõju tunni keskmistele võimsustele on märkimisväärne. Analüüsist teame, et kõige sagedamini esinevad tipuvõimsused elektroonika 10 kV jaotusalajaama puhul kella seitsmest üheksani enne lõunat ning elektromehaanika 10 kV jaotusalajaama puhul kella üheksast üheteistkümneni enne lõunat ja ühest kaheni peale lõunat. Analüüsist selgub ka asjaolu, et nendel kellaaegadel on koormuste tunni keskmine hajuvus kõige väiksem, mis tähendab, et liinid töötavad stabiilselt täisvõimsusel.

Analüüsist selgub, et tipukoormused on tingitud agregaatide tipuvõimsuste kokkulangevusest.

Kogutud informatsiooni põhjal võib järeldada, et agregate käivitatakse suvaliselt ajahetkedel mille tõttu esineb nende ebavajalik käitamine, millest omakorda on tingitud ülemäärane tarbimine.

Suure hajuvuse tõttu võib väita, et tarbimise juhtimist ei ole tööstusettevõttes rakendatud.

Suure hajuvuse tõttu ei ole mõttekas tarvidusele võtta näiteks releejuhtimist küttekehade väljalülitamise näol tipuvõimsuste alandamiseks, sest ei saa kindlalt väita, et hoopis järgmisel tunnil tipuvõimsus ei esine.

4.4. Vajadusel lisaandmete kogumine juurpõhjuste kinnitamiseks ja kontrolliks

Juhul kui juhatus ja teised huvigrupid ei ole analüüsi tulemustes veendunud koostatakse katsete plaan ning teostatakse mõõtmised valideerimaks välja toodud põhjused. Antud magistritöös välja toodud analüüsi tulemused on piisavalt head, et välja toodud probleemid kinnitada.

5. Parendamine

Selle faasi põhieesmärk on analüüsi faasist tuleneva info põhjal teha parendused olemasolevale lahendusele. Peale parendusettepanekute identifitseerimist arvutatakse võimalikud säästud meetmete rakendamisel. Sellees sammus võib parendusettepanekute määratlemine toimuda ka ilma nende praktikas rakendamiseta. [5]

5.1. Potentsiaalsete lahenduste väljatöötamine

Kasutades analüüsi faasist saadud informatsiooni genereeritakse võimalikud lahendused. Lihtsam on lahendada hajuvusest tingitud probleeme ja raskem tegeleda jaotuse paiknemise muutmisega.

Näidisettevõtte puhul on näha, et juhul kui liinid on tootmise poole pealt ühtlaselt koormatud on ka tunni keskmiste võimsuste erinevus üksteise suhtes väikene, seega tipuvõimsuste optimeerimiseks oleks vaja kõigepealt allutada tootmisprotsess kontrollile ning juba siis analüüsides tipuvõimsuste kujunemist agregaatide nominaaltemperatuuridest ja muust taolisest. Hetke olukorras on võimalik saavutada kokkuvõid agregaatide tööaja optimeerimise teel.

1. Tarbitava võimsuse kokkuvõid ja võimalik tipukoormuste alandamine läbi tootmisprotsessis olevate agregaatide käivitusaegade ja lõpetamise aegade optimeerimise.

Juhindudest peatükis 4.2 olevatest analüüsides võib öelda, et agregaatide käivitamise ja välja lülitamise ajad ei ole paika määratud. Selles punktis standardiseerime agregaatide käivitamise ja lõpetamise tsükli.

Kuna kokku on lepitud tööpäeva algus kella kuuest hommikul ja lõpp kella neljast õhtul, siis on võimalik määrata agregaatide loogiline käivitamise järjekord vastavalt kogutud seadistus- ja tsükli-ajadele. All olevad tabelid kirjeldavad erinevate liinide ja nende agregaatide käivitamise ja seiskamise järjekordi.

HEET värviiliini puhul on tootmisprotsessi optimeeritud juba nii, et korraga on töös ainult üks pesuvann, seega pesuvanni 1 alustusaega ei ole vaja määrata. Alustusajad arvutame agregaatide seadistusaegadest, lähtudes tööpäeva algusest. Tabel 5.1. HEET värviiliini alustusajad, kajastab saadud tulemusi.

Tabel 5.1. HEET värviliini alustusajad

HEET värviliini faaside alustusajad		
Faas	Seletus	Määratud aeg
Tööpäeva algus	Kokkuleppeline	6:00
Pesuvanni alustusaeg	Samaväärne tööpäeva algusega	6:00
Konveierliini alustusaeg	Tööpäeva algus + pesuvanni seadistusaeg	6:20
Pesuloputuse alustus	Tööpäeva algus + pesuvanni 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg	6:37
Kvaliteedikontroll 1 alustus	Tööpäeva algus - puhvri suurus + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg	6:54
Pesukuivatuse ahi alustus	Tööpäeva algus + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg	6:34
Erivärvikamber alustus	Tööpäeva algus + pesuvanni 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg	7:11
Standardvärvikamber alustus	Tööpäeva algus + pesuvanni 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg	7:19
Kvaliteedikontroll 2 alustus	Tööpäeva algus - puhvri suurus+ pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg	7:28
Värvikõvenduse ahi alustus	Tööpäeva algus + pesuvanni 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg - värvikõvenduse seadistusaeg	6:58
Kvaliteedikontroll 3 alustus	Tööpäeva algus - puhvri suurus+ pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg + värvikõvenduse tsükliäeg	7:48

HEET värviliini agregaatide lõpetamise ajad määrame tsükliajade põhjal arvutades tööpäeva lõpust tagasi, tulemused on kajastatud Tabel 5.2.

Tabel 5.2. HEET värviliini faaside lõpetusajad

HEET värviliini faaside lõpetusajad		
Faas	Seletus	Määratud aeg
Tööpäeva lõpp	Kokkuleppeline	16:00
Konveierliini lõpp	Tööpäeva lõpp	16:00
Kvaliteedikontroll 3 lõpp	Tööpäeva lõpp	16:00
Värvikõvenduse ahi lõpp	Tööpäeva lõpp	16:00
Kvaliteedikontroll 2 lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj	15:40
Standardvärvikamber lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj	15:40
Erivärvikamber lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj - standardvärvi tsükliaj	15:32
Pesukuivatuse ahi lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj - standardvärvi tsükliaj - erivärvi tsükliaj	15:24
Kvaliteedikontroll 1 lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj - standardvärvi tsükliaj - erivärvi tsükliaj	15:24
Pesuloputuse lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj - standardvärvi tsükliaj - erivärvi tsükliaj - pesukuivatuse ahju tsükliaj	15:07
Pesuvanni lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse ahju tsükliaj - standardvärvi tsükliaj - erivärvi tsükliaj - pesukuivatuse ahju tsükliaj - pesuloputuse tsükliaj	14:50

HETT värviliini agregaatide alustusajad arvutame agregaatide seadistusaegadest lähtudes tööpäeva algusest, saadud tulemused on kajastatud Tabel 5.3.

Tabel 5.3. HETT värviliini faaside alustusajad

HETT värviliini faaside alustusajad		
Faas	Seletus	Määratud aeg
Tööpäeva algus	Kokkuleppeline	6:00
Pesuvanni alustusaeg	Samaväärne tööpäeva algusega	6:00
Konveierliini alustusaeg	Tööpäeva algus + pesuvanni 1 ja 2 seadistusaeg	6:40
Pesukuivatuse ahi	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 sedistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg	6:32
Kvaliteedikontroll 1	Tööpäeva algus + pesuvann1 ja 2 sedistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg	7:24
Standardvärvikamber	Tööpäeva algus + pesuvann1 ja 2 sedistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg	7:24
Erivärvikamber	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 sedistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg	7:35
Värvikõvenduse ahi	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 sedistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg - värvikõvenduse ahju seadistusaeg	7:11
Kvaliteedikontroll 2	Tööpäeva algus + pesuvann1 ja 2 sedistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg	8:12

HETT agregaatide lõpetamise ajad määrame tsükliagade põhjal arvutades tööpäeva lõpust tagasi, tulemused on kajastatud Tabel 5.4.

Tabel 5.4. HETT värviliini faaside lõpetusajad

HETT värviliini faaside lõpetusajad		
Faas	Seletus	Määratud aeg
Tööpäeva lõpp	Kokkuleppeline	16:00
Konveierliini lõpp	Tööpäeva lõpp	16:00
Kvaliteedikontroll 2 lõpp	Tööpäeva lõpp	16:00
Värvikõvenduse ahi lõpp	Tööpäeva lõpp	16:00
Erivärvikamber lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse tsükliag	15:23
Standardvärvikamber lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse tsükliag - erivärvikambri tsükliag	15:12
Kvaliteedikontroll 1 lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse tsükliag - erivärvikambri tsükliag	15:12
Pesukuivatuse ahi lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse tsükliag - erivärvi tsükliag - standardvärvi tsükliag	15:01
Pesuvanni alustusaeg lõpp	Tööpäeva lõpp - värvikõvenduse tsükliag - erivärvi tsükliag - standardvärvi tsükliag - pesukuivatuse tsükliag	14:39

Arvestades ainult ahju ja pesuvanni võimsusi ning võrreldes 2014 aasta lõpetamise ja alustamise aegu Excelis, oleks nende ajaliste seadete rakendamisel rahaline sääst 2014 aastal HEET värviliini puhul õigeaegse alustamise pealt 2566 EUR ja õigeaegse lõpetamise pealt 934 EUR. Teoreetiline sääst HETT värviliini puhul, oleks õigeaegse alustamise pealt 1712 EUR ja lõpetamise pealt 2090 EUR. Säästud arvutati Exceli tabelis, kus võrreldi erinevate liini osade alustusaegu ning leiti agregaatide üle käitamisest tulenev kulu.

2. Tarbitava võimsuse kokkuhoid ja võimalik tipuvõimsute alandamine läbi lõunapausil käimiste optimeerimise.

Elektromehaanika jaotuspunkti tüüpkormusgraafikult, Joonis 3.2., on näha, et tööpäeva keskel toimub koormuslangus mis on tingitud lõunapausidest. Samuti on näha elektromehaanika jaotuspunkti tipukoormuste kujunemise koondaruandelt, Joonis 4.5., et enne ja peale lõunapausi on suur tõenäosus tipukoormuste tekkeks, mis on suure tõenäosusega tingitud käivitatud agregaatide koormuste kokkulangevusest. Liinil ühtlase koormuse hoidmiseks on tarvis kahte töolist, kuna liinil on korraga tööl kolm inimest on võimalik määrata lõunapausidel käimise kord vahetustega ning seeläbi hoida konstantset koormust. Selle lahenduse rakendamine tõstab liini produktiivsust ligikaudu 8%, kui tööpäeva pikkust ei vähendata. Juhul kui otsustatakse tööpäev siiski varem lõpetada on selle muudatuse läbi saadav kokkuhoid võrdeline agregaatide ventilatsiooni poolt tarbitud energiaga, sest vaatamata sellele, et agregaadid lülitatakse lõunapausiks välja jääb ventilatsioon ikkagi tööle.

3. Liinide aegjuhtimine kasutades olemasolevaid puhvri võimekusi

Voodiagrammi koostamisel selgus, et värviliinidel on olemas pesuvannide ees, konveierliinil puhver, mida ei kasutata aegjuhtimise eesmärkidel.

Tööstustarbija poolt vaadatuna toimib mistahes vahetoodangu ladu, mida kasutatakse tootmisliini töö nihutamiseks, energiasalvestina. Selliste energiasalvestite suuruse ja võimekuse määrab vahelao füüsiline suurus ning seotus teiste tootmisliinide (alam)protsessidega. Liinide tootlikkus on see, mis kõige rohkem piirab vaheladude kasutatavust energiasalvestina. [1]

Puhvrit kasutades on võimalik pesuliini alustusaega juhtida HEET värviliini puhul 50 minutit ja HETT värviliini puhul 60 minutit varasemaks nii, et kvaliteedikontrolli võimekus säiliks. Värviliinidel on võimalik süsteemile pakkuda nendel ajavahemikel reguleerimisvõimsust või kasutada hinnapõhist juhtimist.

Muudetud alustusajad HEET värviliini puhul on välja toodud Tabel 5.5 ja HETT värviliini puhul Tabel 5.6. Agregaatide lülitused on võimalik teostada automaatika abil, kusjuures andmetest on näha, et kvaliteedikontrolli alustusajad, mil inimesed peavad kohal olema, jäävad normaalse tööaja sisse.

Tabel 5.5. HEET värviliini faaside alustusajad kasutades ära puhvri võimekkust

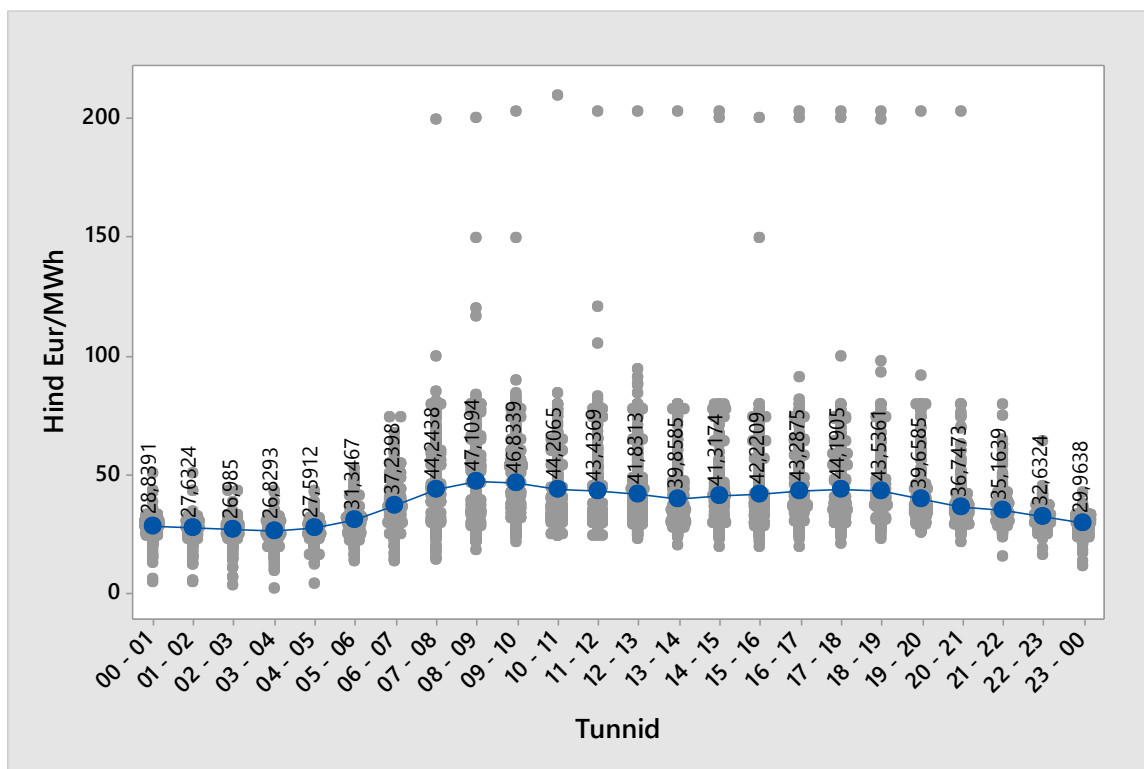
HEET värviliini faaside alustusajad kasutades puhvri võimekkust		
Faas	Seletus	Määratud aeg
Tööpäeva algus	Kokkuleppeline	6:00
Puhvri suurus	Puhvri suurus minutites tööpäeva alguses olenevalt sellest kui suures ulatuses in puhver täidetud.	0 - 50 minutit
Pesuvanni alustusaeg	Tööpäeva algus - pesuvanni seadistusaeg (20min) - puhvri suurus (0-50 min)	5:10
Konveierliini alustusaeg	Pesuvanni alustusaeg + pesuvanni seadistusaeg	5:30
Pesuloputus	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg	5:47
Kvaliteedikontroll 1	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg	6:04
Pesukuivatuse ahi	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg	5:44
Erivärvikamber	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg	6:21
Standardvärvikamber	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg	6:30
Kvaliteedikontroll 2	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg	6:38
Värvikõvenduse ahi	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg - värvikõvenduse seadistusaeg	6:08
Kvaliteedikontroll 3	Pesuvanni alustusaeg + pesuvann 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükliäeg + pesuloputuse tsükliäeg - pesukuivatuse seadistusaeg + pesukuivatuse tsükliäeg + erivärvi tsükliäeg + standardvärvi tsükliäeg + värvikõvenduse tsükliäeg	7:00

Tabel 5.6. HETT värviliini faaside alustusajad kasutades ära puhvri võimekkust

HETT värviliini faaside alustusajad kasutades puhvri võimekkust		
Faas	Seletus	Määratud aeg
Tööpäeva algus	Kokkuleppeline	6:00
Puhvri suurus	Puhvri suurus minutites tööpäeva alguses olenevalt sellest kui suures ulatuses in puhver täidetud.	0 - 60 minutit
Pesuvanni alustusaeg	Tööpäeva algus - pesuvanni seadistusaeg (40min) - puhvri suurus (0-60 min)	4:40
Konveierliini alustusaeg	Tööpäeva algus + pesuvanni 1 ja 2 seadistusaeg	5:20
Pesukuivatuse ahi	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükli aeg - pesukuivatuse seadistusaeg	5:12
Kvaliteedikontroll 1	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükli aeg + pesukuivatuse tsükli aeg	6:04
Standardvärvikamber	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükli aeg + pesukuivatuse tsükli aeg	6:04
Erivärvikamber	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükli aeg + pesukuivatuse tsükli aeg + standardvärvi tsükli aeg	6:15
Värvikõvenduse ahi	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükli aeg + pesukuivatuse tsükli aeg + standardvärvi tsükli aeg + erivärvi tsükli aeg - värvikõvenduse ahju seadistusaeg	5:51
Kvaliteedikontroll 2	Tööpäeva algus + pesuvann 1 ja 2 seadistusaeg + pesuvann 1 ja pesuvann 2 tsükli aeg + pesukuivatuse tsükli aeg + standardvärvi tsükli aeg + erivärvi tsükli aeg + värvikõvenduse ahju tsükli aeg	7:52

Selle lahenduse rakendamine tõstab mõlema liini produktiivsust ligikaudu 10% juhul kui tööpäeva lõpetamise aeg jääb samaks.

Kuigi näidisettevõttes ostetakse elektrienergiat fikseeritud hinnaga, siis tarbimise aegjuhtimiseks ei ole otsest vajadust ega majanduslikku põhjendust. Lülitades ümber avatud elektrituru tingimustele, kus tunni hind ööpäeva lõikes muutub märgatavalt ning arvestades ka võrguettevõtete ajatariife, muutub tarbimise optimeerimine tasuvaks. Alljärgnev Joonis 5.1. kujutab 2014 aasta tunni hindasid EE süsteemis.



Joonis 5.1. Tunnipõhine 2014 aasta EE süsteemi hindade kujunemine

2014 aasta tunnipõhise süsteemi hinna kujunemise, Joonis 5.1., põhjal saab teostada tarbimise nihutamist 1h võrra, mille puhul lähtutakse elektriinna ajaloolisest keskmisest.

Elektrikulu optimeerimine lähtuvalt elektriinnast on üks tööstusliku tootmise omahinna vähendamise võtmelemente [10]. Tarbimise juhtimise eelduseks tööstuses on tootmise paindlikkus, sealhulgas energiat salvestavate protsesside olemasolu, kus energiasalvestamine toimub keemilisel, mehhaanilisel või mingil kolmandal viisil, nt toormena, pool- või valmistootena. Tarbimise nihutamine soodsama elektriinnaga alale mõjub alati positiivselt kulude optimeerimisele ja/või kasumile [11] [12] [13]. Tipukoormuste juhtimisel aitab energia salvestamine vältida agregaatide üheaegsusest tingitud tipuvõimsusi.

Alljärgnevalt on arvutatud teoreetiline sääst lähtudes sellest, et nihutame minimaalselt vastavate liinide võimsusi 120 kW võrra elektromehaanika ja 150 kW võrra elektroonika 10kV jaotusalajaamas. Joonis 5.1. põhjal jäeldame, et eelpool mainitud võimsusi on võimalik liigutada ligikaudu 10 EUR/MWh odavama hinnaga perioodile. Arvestatud on, et liin töötab 260 päeva aastas.

Sääst = tarbitav võimsus * hinna vahe * tööpäevade arv

Saadud valemipuhul on minimaalne rahaline sääst elektromehaanika värviliini puhul 312 EUR aastas ja elektroonika värviliini puhul 390 EUR aastas.

4. Võimalikud säästud agregaatide nominaaltemperatuuride optimeerimisest ning staatiliste juhtimismeetmete rakendamisest.

Näidisettevõtte puhul on agregaatide nominaaltemperatuurid standardtoodetele täpselt paika määramata ning kuna agregaatide võimsused on otseses seoses nominaaltemperatuuridega tuleks kindlasti need ära mõõdistada. Samuti ei kasutata osadel ventilatsiooni agregaatidel sagedusmuundureid nende tööprotsessi optimeerimiseks.

5.2. Võimalike säästude arvutamine ning projekti eesmärkide saavutamise kinnitamine

Projekti eesmärkide saavutamine on raskesti hinnatav, sest parendusettepanekuid ei ole reaalselt ellu viidud, seega sellekohased andmed puuduvad. Juhul kui parendusettepanekud ellu viiakse tuleks teha uus suutlikkuse analüüs, samuti võrrelda koormuskestuskõveraid 2014 aasta omadega. Igale potentsiaalsele lahendile, punktist 5.1, on arvatud projektist tulenevad võimalikud säästud, need on kajastada ühe koondaruandena:

Säästud elektromehaanika värviliini puhul:

1. Sääst õige agregaatide käivitusprotsessi järgimise pealt 2566 EUR aastas
2. Sääst õige agregaatide lõpetamisprotsessi järgimise pealt 934 EUR aastas
3. Kokkuhoid mis on võrdeline agregaatide ventilatsiooni poolt tarbitud energiaga lõunapausi ajal kui tööpäev lõpetatakse 45 minutit varem või lõunapausi optimeerimisest saadav 8% liini produktiivsuse kasv.
4. Puhvri võimekuse kasutamise protsessist tulenev 10% liini produktiivsuse kasv, või personalikulude vähenemine 1h võrra tööpäevas
5. Puhvri aegjuhtimisest tulenev 312 EUR suurune sääst aastas

Säästud elektroonika värviliini puhul:

1. Teoreetiline sääst õige agregaatide käivitusprotsessi järgimise pealt 1712 EUR aastas
2. Teoreetiline sääst õige agregaatide lõpetamisprotsessi järgimise pealt 2090 EUR aastas

3. Puhvri võimekuse kasutamise protsessist tulenev 10% liini produktiivsuse kasv, või personalikulude vähenemine 1h võrra tööpäevas
4. Puhvri aegjuhtimisest tulenev 390 EUR suurune sääst aastas

5.3. Protsessi voodiagrammi uuendamine vastavalt välja valitud potentsiaalsetele lahendustele

Siinkohal peaks ettevõtte juhatuse otsustama milliseid meetmeid nad oma liinidel rakendavad ning vastavalt sellele on oluline uuendada ka protsessi voodiagramme, sellisel juhul on kõigile arusaadav kuidas liin peab tulevikus opereerima.

6. Ohje

Selle faasi põhieesmärk on projekti lõpetamine ja väljatöötatud lahenduste üleandmine protsessi omanikele sedasi, et tulemused säilivad.

6.1. Metodoloogia ja dokumentatsiooni välja töötamine hoidmaks ellu viidavaid muudatusi päevakorras

Selleks, et säilitada ellu viidavaid muudatusi on välja vaja töötada protseduur mille abil saab konstantselt jälgida peamisi sisendeid või väljundeid.

Näidissettevõtte puhul osutusid ühtedeks kriitilisemateks sisenditeks alustamise ja lõpetamise ajad. Tuleks luua dokumentatsioon näiteks Exceli kujul, kuhu pannakse kirja iga agregaadid käivitamise ja lõpetamise ajad. Teine võimalus on teha lülitused automaatika abil ning sellisel juhul ei oleks vaja tulemusi kusagile ülesse märkida.

Väljundina oleks hea jälgida iga agregaadid võimsusi, kuid on võimalik jälgida ka ainult jaotuspunkti koondtarbimist ning nendest andmetest tuvastada juba ebastandardseid kõikumisi tarbimises tööpäeva sees.

Eelpool nimetatud mõõtmistulemused tuleks kanda protsessi ohje graafikutele.

All olev nimekiri loetleb mõningased tähtsad kasud mis tulenevad ohje kaartide kasutamisest

- Ohje kaardid on efektiivsed tööriistad arusaamaks protsessi variatsioonist ja aitamaks saavutada statistiline kontroll. Need annavad protsessiga seotud inimestele usaldusväärset informatsiooni.
- Statistilise kontrolli all oleva protsessi talitus on ennustatav.
- Protsessi mis on statistilise kontrolli all saab edasiselt parendada vähendades tavapõhjustest tingitud variatsiooni ja juhtides protsessi õigesse asukohta. Eeldatavaid efekte välja pakutud lahendustele saab mõõta ja isegi pisimate muudatuste mõju protsessile analüüsida.
- Ohje kaardid võimaldavad leida ühise keele ja arusaama protsessi talitusest nii kõrgema kui madalama struktuuri üksuste vahel.
- Tänu ohje kaartide omadusele on eristatavad tavapõhjustest ja eripõhjustest tingitud variatsioonid.

6.2. Juhtkonna poolt valitud muudatuste elluviimine

Välja pakutud lahendustest ei ole alati võimalik kõiki teostada, seega juhtkonnal tuleks teha oma valikud ning sellest lähtudes täpsem plaan koos ajakavaga muudatuste ellu viimiseks. Vajalik on siinkohal määrata vastutavad isiksused jms.

6.3. Protsessi ohje plaani väljatöötamine ning selle üle andmine protsessi omanikele

Efektiivseks protsessi andmete käsitlemiseks on tähtis aru saada variatsiooni kontseptsioonist. Mõned variatsiooni allikad protsessis põhjustavad lühiajalisi erinevusi väljundis, näiteks 15 minutilisi tipukoormuse kõikumisi koormusgraafikus. Teised variatsiooni allikad põhjustavad pikaajalisi muutusi protsessis, näiteks koormuse kasvamine ajas vastavalt turunõudlusele või temperatuuri muutustele. Ajaperiood ja tingimused millal mõõtetulemused on seega võetud ja salvestatud mõjutavad kogu variatsiooni mis saab olema esindatud.

Lihtsustamise seisukohalt võib öelda, et, väljundid mis asuvad variatsiooni spetsifikatsiooni limiitides on aktsepteeritavad ja väljaspool spetsifikatsiooni limiite asuvad väljundid ei ole. Igasuguse protsessi juhtimiseks ja variatsiooni vähendamiseks on vaja leida variatsiooni tekkimise juurpõhjused. Esimeseks sammuks on teha vahet variatsiooni tava- j eripõhjustel.

Üksikud mõõtetulemused võivad kõik üksteisest erineda, grupina moodustavad nad mustri mida saab kirjeldada jaotusena. Seda jaotust saab kirjeldada järgmiste omadustega:

- Jaotuse mediaan või keskmine (iseloostav väärtus)
- Hajuvuse (vahemik vähimast väärtusest suurimani)
- Kuju (variatsiooni muster – kas see on sümmeetriline, kaldu jne)

Tavapärased variatsiooni põhjused viitavad mitmetele protsessi sisestele variatsiooni allikatele. Protsessi väljund milles on esindatud ainult tavapärased variatsiooni allikad omab ajas stabiilset ja korratavat jaotust. Sellist süsteemi ja protsessi nimetatakse statistilise kontrolli all olevaks. Juhul, kui esindatud on ainult tavapärased variatsiooni põhjused ja ajas see ei muutu on protsessi väljund ennustatav.

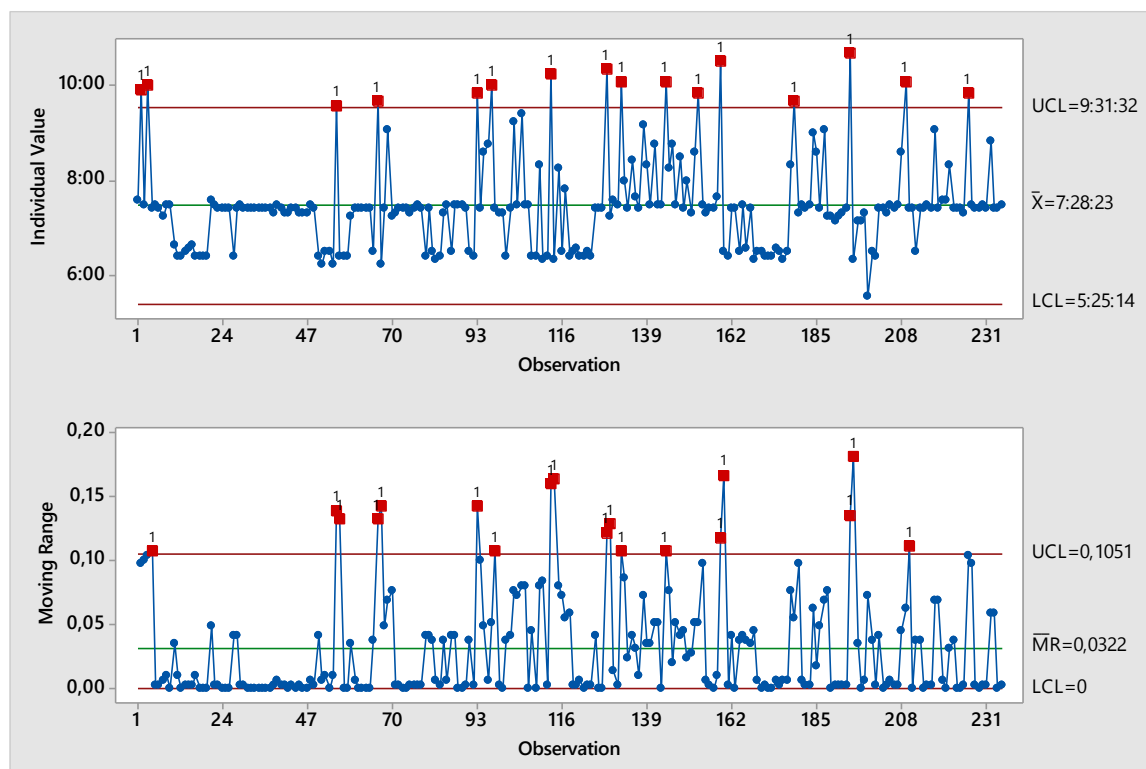
Eripõhjused viitavad tihtipeale mõjuritele mis põhjustavad protsessi väljundi muutust üle kontroll limiitide. Juhtumitel, kui erijuhtumid on esindatud põhjustavad need sümmeetrilise

jaotuse muutumist. Need põhjused hakkavad protsessi väljundit mõjutama ettearvamatul moel. Kui eripõhjused on protsessis esindatud ei ole selle väljund ajas stabiilne.

Eripõhjuste muudatused protsessi väljundi jaotusele võivad olla nii kasulikud kui ka pärssivad. Juhul, kui eripõhjused ei ole protsessile kasulikud tuleks need identifitseerida ja protsessist eemaldada. Protsessile kasulikud põhjused tuleks samuti tuvastada kuid vastupidiselt muuta need osaks protsessist endast.

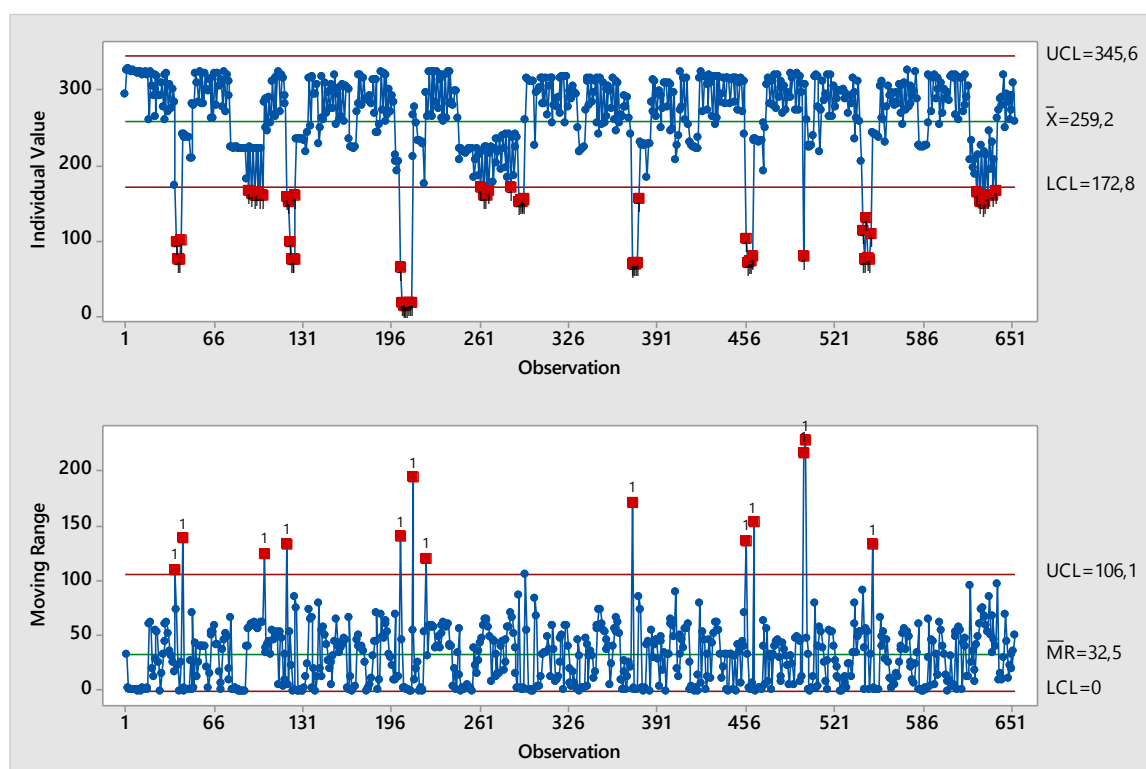
Protsessi ohjeks tuleks tarvitusele võtta statistilise protsessi ohje meetodid nagu näiteks autotööstustes laialdaselt levinud I-MR graafikud. I-MR graafik on individuaalsete väärtuse ja nende muutuste graafik koos. Individuaalsete väärtuste graafik on joonistatud ülemisele poolele ja nende vaheline muutus alumisele. Vaadeldes mõlemat graafikut koos on võimalik jälgida korraga protsessi väljundit ja väljundite vahelist variatsiooni, samuti märgata eripõhjustest tingitud anomaaliaid.

Näidisetevõtte puhul on koostatud I-MR graafikud HEET värviliini pesuvanni 2014 aasta alustusaegadele, Joonis 6.1., ja suvaliste tööpäevade tööaja sisese pesuvanni ja kõvendusahju tarbimise jälgimiseks, Joonis 6.2.. Graafikud on genereeritud kasutades statistikaprogrammi Minitab.



Joonis 6.1. I-MR graafik elektromehaanika pesuvanni alustusaegadele

Graafikult on näha, et keskmine alususaeg pesuvallil on 7:30, samuti on protsessis esindatud alustusaegade vahel väga suur variatsioon. MR graafikul punasega tähistatud punktid viitavad eripõhjustele mis on tingitud mingite halbade tegurite kokkulangevusest või muudest anomaaliatest. Individuaalväärtuste ülemisi ja alumisi kontroll limiite ei tasu uskuda enne, kui eripõhjused on likvideeritud. Juhul kui tahetakse tööstusettevõttes hakata tegelema tarbimise juhtimisega on vaja agregaatide käivitamise protsess saada kontrolli alla.



Joonis 6.2. Elektromehaanika värviini tööaja sisese tarbitava võimsuse I-MR graafik

Graafikult on näha, et keskmine tööaja sisene värviini tarbitav võimsus on 259 kW, samuti on protsessis esindatud viie minuti keskmiste väärtuste vahel suur variatsioon. MR graafikul punasega tähistatud punktid viitavad eripõhjustele mis on tingitud kas liini seisakutest või muudest probleemidest millega tuleb kindlasti tegeleda. Individuaalväärtuste ülemisi ja alumisi kontroll limiite ei tasu uskuda enne, kui eripõhjused on likvideeritud.

Graafikul välja toodud tähistate tähendused ja valemid on järgmised:

X_n – individuaalväärtus

\bar{X} – individuaalväärtuste keskmine

$$\bar{X} = \frac{\sum_n^1 X_n}{n}$$

UCL_X – ülemine individuaalväärtuste kontroll limiit

$$UCL_x = \bar{X} + E_2 \overline{MR}$$

LCL_X – alumine individuaalväärtuste kontroll limiit

$$LCL_x = \bar{X} - E_2 \overline{MR}$$

MR – väärtuste vaheline muutus

$$MR = |X_1 - X_2|$$

\overline{MR} – väärtuste vaheliste muutuse keskmine

$$\overline{MR} = \frac{\sum_n^1 |X_1 - X_2| \dots + [X_{n-1} - X_n]}{n - 1}$$

UCL_{MR} – ülemine väärtuste vahelise muutuse kontroll limiit

$$UCL_{MR} = D_4 * \overline{MR}$$

LCL_{MR} – alumine väärtuste vahelise muutuse kontroll limiit

$$LCL_{MR} = D_3 * \overline{MR}$$

Tabel 6.1. I-MR graafiku konstantide väärtused

Valimi suurus	E2	D4	D3
2	2,660	3,268	-

6.4. Tulemuste auditeerimine

I-MR graafikutele kantud tulemusi tuleks auditeerida kord kvartalis ning teha päring parendustegevuste kohta eripõhjuste likvideerimiseks. Juhul kui viiakse ellu mõni parendustegevus on võimalik see nendel graafikutel välja tuua eraldi etapina peale mida arvutatakse uued kontroll limiidid. Juhul kui parendusettepanek on hea, kitsenevad kontroll limiidid ning protsessis ei ole esindatud erijuhtumeid.

Lõputöö kokkuvõte

Käesoleva magistritöö peamiseks eesmärgiks oli koostada DMAIC ja Six Sigma põhimõtete abil metodoloogia, mida kasutades saab tootmisettevõtte kaardistada ja analüüsida enda elektrienergia tarbimist ning seeläbi vähendada maksimaalset kasutusvõimsust tunnis. Sealjuures kasutati reaalse ettevõtte andmeid ja seni välja pakutud lahendusi näidetena.

Magistritöö esimeses faasis moodustati projekti kavand ja valideeriti selle sisu. Arvestati teoreetiline majanduslik kasu tipuvõimsuste alandamisest, et projektiga kaasata vajalikud osapooled. Teoreetiliseks majanduslikuks kasuks saadi 10700 € aastas. Koostati protsessi kaart, mis tekitas arusaama sisendite ja väljundite suhtest ning lõi üldise pildi projekti raamistikust. Projekti käigus tehti kindlaks milliseid mõõtetulemusi on vaadeldavast ettevõttest võimalik saada. Seletati ära kommunikatsiooni plaani ja projekti plaani koostamise vajalikkus.

Teises faasis auditeeriti tootmisettevõtet. Auditi käigus kaardistati täielikult värviliinidega seonduvad protsessid. Moodustati voodiagrammid erinevatele liini osadele, et aru saada tootmisprotsessi toimimisest, kui suures osas on see muudetav ning millised osad võivad kõige enam mõjutada koormusgraafikute kujunemist. Auditi käigus selgitati välja energiamahukaimad agregaadid tootmisliinidel, nendeks osutusid pesuvannid ja värvikõvenduse ahjud. Optimeeritavateks agregaatideks valiti voodiagrammi koostamisest tuleneva informatsiooni põhjal pesuliin ja värvikõvendusahi HEET värviliini puhul ja värviliini seadmed, ahi ja pesuliin HETT värviliini puhul. Määratleti protsessi jaoks olulised sisendid, väljundid ja muud tehnilised parameetrid ning defineeriti need muudetavateks või mitte. Olulisteks parameetriteks HEET ja HETT värviliini puhul osutusid puhvri suurus, seadmete alustamise, lõpetamise ning tsükli ajad. Mitte muudetavateks parameetriteks osutusid nominaaltemperatuurid ja seadistusajad, kuid töö käigus selgus, et neid on siiski võimalik optimeerida. Peale oluliste sisendite ja väljundite väljaselgitamist koostati andmete kogumise plaan. Peale andmete kogumise plaani koostamist analüüsiti mõõtesüsteemi, et välja selgitada millised mõõtepunkt milliseid agregaatide mõõdavad. Mõõtesüsteemi analüüsist selgus, et HEET värviliini puhul mõõdetakse pesuliini ja kõvendusahju tarbimist eraldi ning HETT värviliini puhul koos. HETT värviliini puhul mõõdeti lisaks pesuliini ja värvikõvendusahjule ka väljatõmbega seonduvate agregaatide võimsusi. Järgmisena koguti andmeid baastaseme määramiseks, enamuse tehnilisi andmeid oli võimalik saada liini meistritelt ja tehase käidujuhilt. Agregaatide mõõdetavaid viie minuti tarbimise andmed koguti serverist ning 10 kV jaotusalajaamade andmed edastas käidujuht. Projekti baastase sai määratud esialgsete andmete

põhjal kus toodi välja 10 kV jaotusalajaamade koormuskestuskõverad, tüüpkoormusgraafikud, mõõdetavate agregaatide tüüpkoormusgraafikud ja tehnilised andmed. Saadud tulemuste põhjal uuendati protsessi voodiagramme. Kogutud 10 kV jaotusalajaamade keskmiste tunni tarbimiste põhjal teostati süsteemi suutlikkuse analüüs, et seda võrrelda tulemustega peale parendusettepanekute elluviimist. Süsteemi suutlikkuse analüüsist selgus, et elektromehaanika jaotuspunkti korral langes 58% koormustest ja elektroonika jaotuspunkti korral 43% koormustest soovitud vahemikku.

Projekti kolmandas faasis analüüsiti tootmisettevõtte auditi käigus koostatud voodiagrammi ning toodi välja selle kitsaskohad. Agregaatide alustusajad ei olnud konkreetselt paika määratud, puhvrite võimekust ei kasutatud täiel määral ning lõuna ajal tekkisid tootmisveisakud. Järgmisena analüüsiti mõõtmisfaasis kogutud andmeid juurpõhjuste väljaselgitamiseks ja protsessi voo analüüsist tulenevate puuduste kinnitamiseks. Koostati agregaatide alustusaegade regressiooni analüüs millest selgus, et puudub süsteemne agregaatide käivitamise ja välja lülitamise protseduur. Analüüsiti tipuvõimsuste kujunemise ajahorisonti ja määratleti kõige tõenäolisemad ajavahemikud tipukoormuste kujunemiseks. Analüüsist selgus, et ajahorisont tipuvõimsuste tekkimiseks on elektromehaanika jaotusalajaama puhul kella kaheksast üheteistkümmeni hommikul ja kella ühest kolmeni päeval, elektroonika jaotusalajaama puhul kella seitsmest üheksani hommikul. Analüüsiti 2014 aasta 10 kV jaotusalajaamade tunnisest võimsuste jaotusi, et aru saada nende võimsuste hajuvusest. Koostati regressiooni analüüs mõõdetavate agregaatide võimsustele ja 10 kV jaotusalajaamade tunniandmetele, millest selgus, et ainult nende mõõtetulemuste põhjal ei ole võimalik luua usaldusväärset regressiooni mudelit. Saadud andmete põhjal koostati teooriad võimalike halbade stsenaariumite kohta, nendeks ostusid agregaatide suvalisest käivitamisest ja seiskamisest tingitud tipuvõimsused ja ülekulu. Kogutud andmete põhjal sai väita, et ettevõttes ei ole rakendatud tarbimise juhtimist ning suurest koormuste hajuvusest tingitult ei ole mõttekas kasutada näiteks releejuhtimist küttekehade väljalülitamise näol. Välja pakutud teooriad valideeriti analüüsi tulemustega.

Neljandas faasis töötati välja potentsiaalsed lahendused, nendeks osutusid agregaatide käivitus ja lõpetamise aegade standardiseerimine, lõunapausidest tekkinud variatsiooni ja võimaliku energia tarbimise raiskamise eemaldamine. Puhvrite võimekuse kasutamine aegjuhtimiseks odavama tunnihinnaga režiimile ning sellest tingitud tootmisliinide tootlikkuse kasv. Peale potentsiaalsete lahenduste väljatöötamist arvatati võimalikud säästud, milleks saadi mõlema värviliini puhul üle 4000 € suurune sääst aastas, lisaks tootmisliinide tootlikkuse kasv

minimaalselt 10% ulatuses. Protsessi voodiagramme vastavalt parendusettepanekutele antud magistritöös ei uuendatud, sest näidissettevõtte ei ole välja pakutud lahendusi rakendanud.

Viimases faasis kirjeldati metodoloogia ja dokumentatsiooni väljatöötamise vajalikkust muudatuste ellu viimiseks ja ohjamiseks. Toodi välja ohje kaartidest tulenevad potentsiaalsed kasutegurid. Seletati lahti protsessi ohje plaani väljatöötamine ning variatsiooni ohjamise mõte. Kirjeldati ja koostati ettevõttele statistilise protsessi ohje meetmed I-MR graafikute näol agregaatide alustusaegade ja tööaja sisese koormuse jälgimiseks ning selgitati miks koostatud graafikuid peab peale muudatuste elluviimist juhatus auditeerida vähemalt korra kvartalis.

Magistritööd praktilise väljundina saab tööstusettevõtte välja pakutud parendusettepanekute põhjal säästa mõlema liini optimeerimisega kokku 8000 € aastas ning tõsta tootlikust minimaalselt 10% ulatuses, mis on üpriski märkimisväärne tulemus. Töö käigus tehtavaid parendusettepanekuid rakendades on omakorda võimalik vähendada energiaettevõttega sõlmitud ostu-müügi lepingutes sätestatud igakuise elektrienergia eest makstavat võimsustasu. Peale parendusettepanekute elluviimist tuleks hinnata uue süsteemi suutlikkust võrreldes koostatud baastasemega. Samuti tuleks põhjalikumalt uurida staatilise tarbimise juhtimise rakendamise võimalusi nagu sagedusmuundurite kasutamist ajamite juhtimiseks ning liinil olevate agregaatide nominaaltemperatuuride optimeerimist vastavalt tootmisplaanile.

Töö käigus selgus, et probleemseks kohaks on tarbimise juhtimiseks vajalik metodoloogia puudumine probleemide püstitamisel ja nende lahendamisel. Valede probleemide lahendamine ei vii tihtipeale tulemusteni ning süsteemis ei saavutata stabiilsust, sest ei ole ostud leida tegelikku juurpõhjust. Magistritöös toodi välja ja näitlikustatud vajalikud punktid mis on vaja läbida tarbimise juhtimise rakendamiseks tööstusettevõttes. Töö peamine eesmärk, tarbimise juhtimiseks vajaliku metoodika väljatöötamine, saavutati läbi Six Sigma ja DMAIC põhimõtete interpreteerimise tarbimise juhtimisele.

Kirjandus

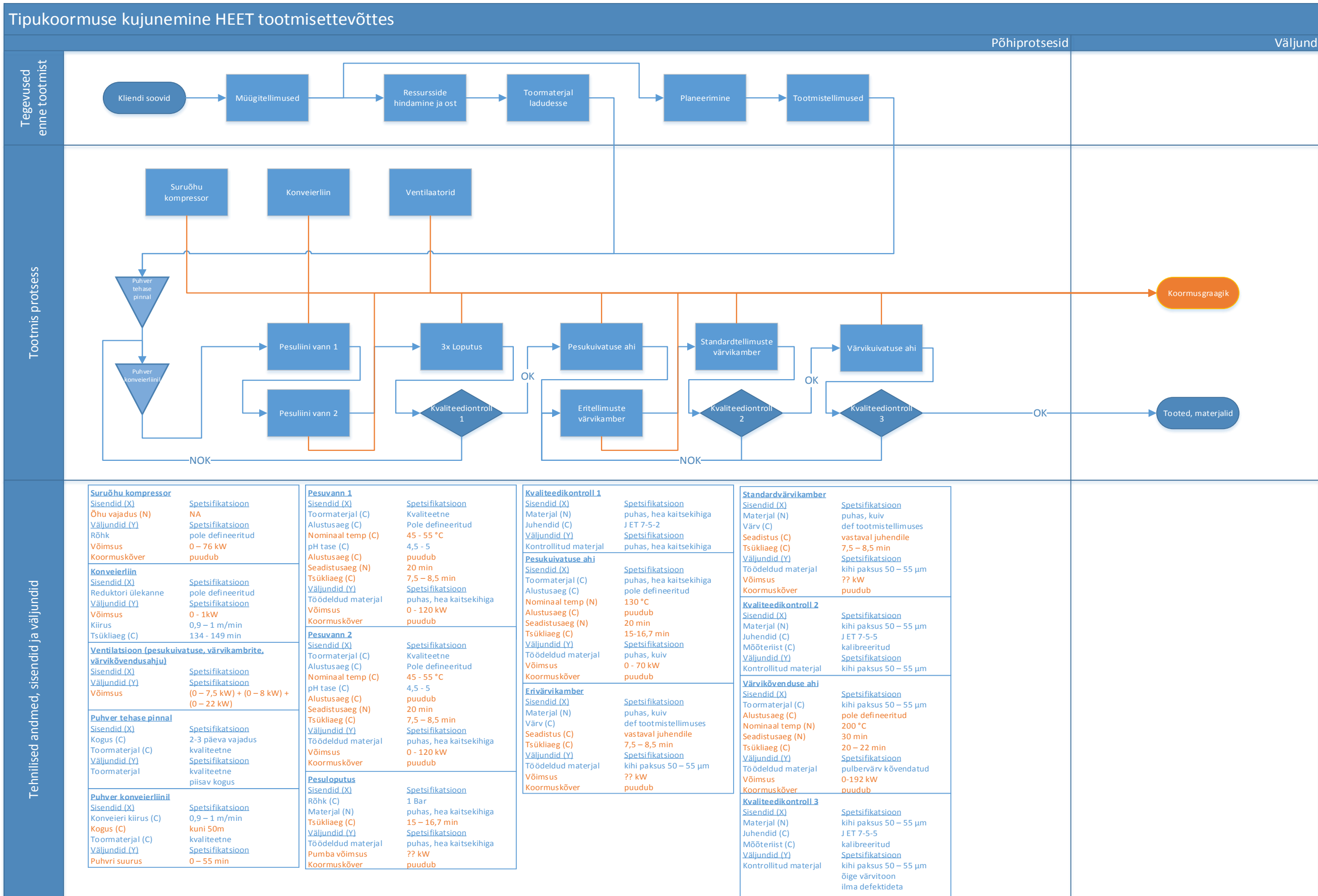
- [1] Argo Rosin, Imre Drovтар, Siim Link, Hardi Hõimoja, Heigo Mölder, Taavi Mölder, „Tarbimise juhtimine suurtarbijate koormusgraafikute salvestamine ning analüüs tarbimise juhtimise rakendamise võimaluste tuvastamiseks,“ Elering, Tallinn, 2014.
- [2] *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC (1).*
- [3] *A Demand Response Action Plan For Europe, Smart Energy Demand Coalition (SEDC), Brussels 2013..*
- [4] P.Raesaar, Nõudluse juhtimine ja energiasääst, 2001.
- [5] Wikipedia, „<http://en.wikipedia.org/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/DMAIC>. [Kasutatud 15 Mai 2015].
- [6] T. Konsultatsioonid, „<http://www.tjo.ee/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tjo.ee/mis-on-dmaic>. [Kasutatud 15 Mai 2015].
- [7] A. Kuhi-Thalfeldt, „AS Harju Keki ja AS Harju Elektri tootmisterritooriumil olevate alajaamade tipukoormuse optimeerimine,“ Elektroenergeetika õppesuund, Tallinn, 2005.
- [8] G. Strbac, „Demand side management: Benefits and challenges,“ *Energy Policy*, kd. 36, p. 4419–4426, 2008.
- [9] A. Entek, „Elektrienergia hinnakiri 2002,“ 2002. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.entek.ee/hinnakiri.pdf>.
- [10] P. Uuemaa, I. Drovтар, A. Puusepp, J. Kilter, A. Rosin ja J. Valtin, „Cost-Effective Optimization of Load Shifting in the Industry by Using Intermediate Storages,“ %1 *IEEE ISGT Europe 2013*, Copenhagen, Denmark, 2013.
- [11] K. Furusawa, H. Sugihara ja K. Tsuji, „Economic Evaluation of Demand-side Energy Storage Systems by Using a Multi-Agent-Based Electricity Market,“ *Electrical Engineering in Japan*, vol. 167, pp. 36-45, 2009.

- [12] R. Palma-Behnke, C. Benavides, E. Aranda, J. Llanos ja D. Saez, „Energy management system for a renewable based microgrid with a demand side management mechanism,“ %1 *IEEE Computational Intelligence Applications In Smart Grid (CIASG)*, pp.1-8., 2011.
- [13] K. Furusawa, H. Sugihara, K. Tsuji ja Y. Mitani, „A Study of Economic Evaluation of Demand-Side Energy Storage System in Consideration of Market Clearing Price,“ *Electrical Engineering in Japan*, kd. 158, pp. 22-35, 2007.
- [14] „<http://support.minitab.com/>,“ Minitab, [Võrgumaterjal]. Available: <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/>. [Kasutatud 15 Mai 2015].

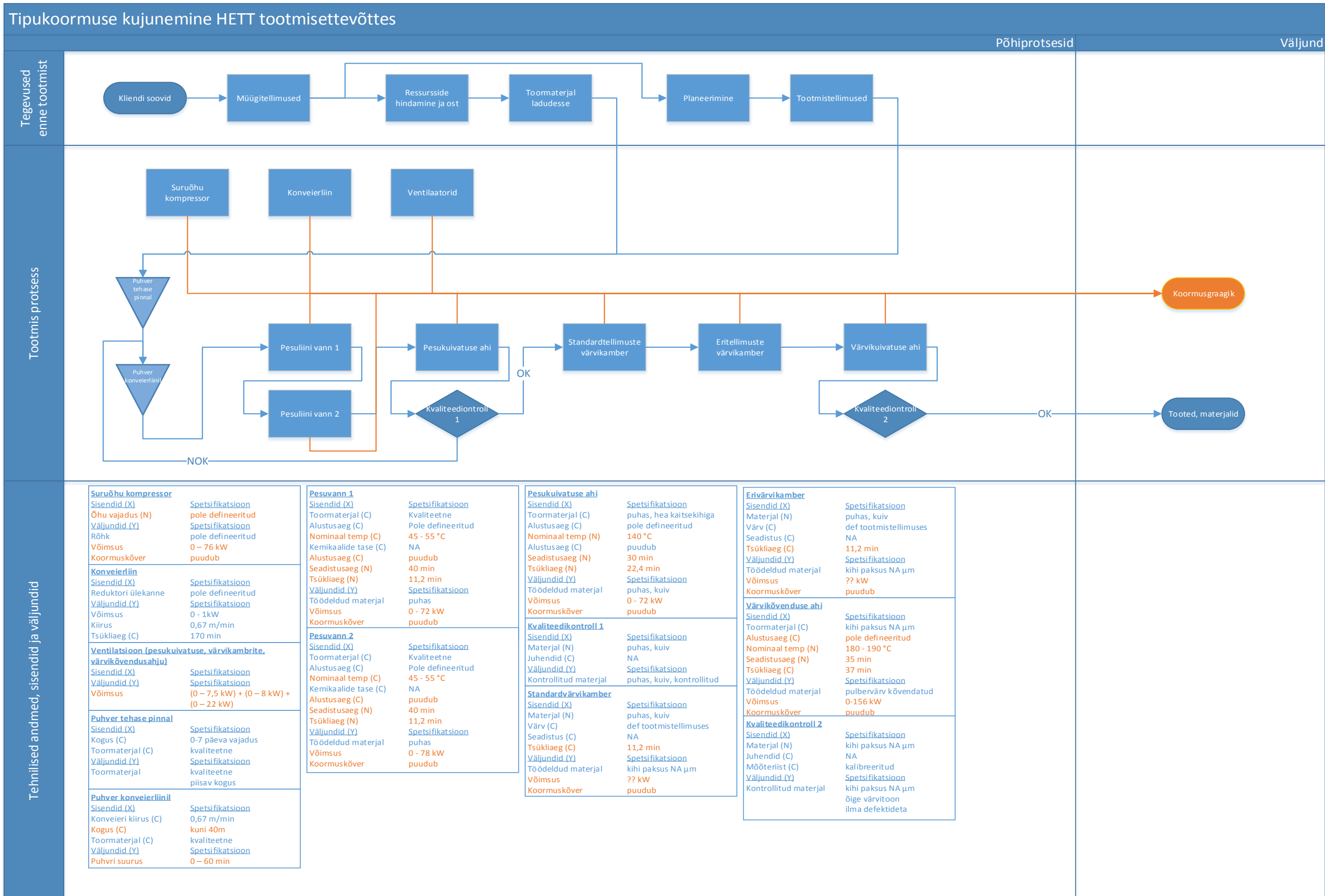
Lisad

L1 – HEET värviliini voodiagramm lk 72

L2 – HETT värviliini voodiagramm lk 73



Joonis 8.1. Elektromehaanika (HEET) värviliini voodiagramm



Joonis 8.2. Elektroonika (HETT) värviliini voodiagramm