



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**INFORMATIKOS FAKULTETAS**

**Ignas Sedunovas**

**MAŠINŲ, TEIKIANČIŲ INFORMACIJĄ *MTCONNECT*  
PROTOKOLU, ILGO LAIKO INTERVALO DUOMENŲ  
SURINKIMAS IR ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
doc. dr. T. Blažauskas

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**INFORMATIKOS FAKULTETAS**

**MAŠINŲ, TEIKIANČIŲ INFORMACIJĄ *MTCCONNECT*  
PROTOKOLU, ILGO LAIKO INTERVALO DUOMENŲ  
SURINKIMAS IR ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas  
Programų sistemų inžinerija (621E16001)

**Vadovas**  
doc. dr. T. Blažauskas

**Recenzentas**  
doc. dr. J. Čeponis

**Projektą atliko**  
Ignas Sedunovas

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Informatikos

(Fakultetas)

Ignas Sedunovas

(Studento vardas, pavardė)

Programų sistemų inžinerija (621E16001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Mašinų, teikiančių informaciją *MTCconnect* protokolu, ilgo laiko intervalo duomenų surinkimas ir analizė“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 23 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Ignas Sedunovo**, baigiamasis projektas tema „Mašinų, teikiančių informaciją *MTCconnect* protokolu, ilgo laiko intervalo duomenų surinkimas ir analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Sedunovas, Ignas. Mašinų, teikiančių informaciją *MTCConnect* protokolu, ilgo laiko intervalo duomenų surinkimas ir analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Tomas Blažauskas; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: informatikos inžinerija, technologijos mokslų studijų sritis.

Reikšminiai žodžiai: *MTCConnect*, *pramoninės staklės*, *didieji duomenys*, *duomenų analizė*.

Kaunas, 2016. 49 p.

## **SANTRAUKA**

Šiais laikais yra stengiamasi įvairius procesus automatizuoti. Gamybos pramonėje yra pasitelkiamos mašinos / robotai, kurie gamina produktą pagal tam tikrą kompiuterinę programą. Sugedus ar nusidėvėjus detalei nutraukiamas įrenginio darbas. Kartais tai netgi apgadina susijusias įrenginio dalis / detales. Kurį laiką mašinų komunikacijai buvo rašomos specifinės programos, kurių reikėdavo nemažai ir jas būdavo nelengva palaikyti.

2009 metais buvo sukurtas standartizuotas nemokamas mašinų duomenų perdavimo internetu protokolas *MTCConnect*. Nuo to laiko, kai atsirado šis standartas, mašinų pramonėje iškilo ir vis dar kyla poreikis per atstumą stebėti ir analizuoti duomenis, kuriuos pateikia veikiantys įrenginiai. To įmonėms reikia dėl to, kad sumažėja laiko, darbo jėgos ir išlaidų sąnaudos, didėja produktyvumas, atsiranda geresnės sąlygos konkuruoti, ir galima bet kuriuo metu prižiūrėti mašinas nuotoliniu būdu.

Šio darbo metu yra kuriama programinė įranga, kuri surenka iš įvairių įrenginių *MTCConnect* protokolu perduodamus duomenis ir vykdo jų analizę ieškant pasikartojančių gedimų. Šiame dokumente pateikta magistrinio darbo analizė, kurioje analizuojama standarto specifikacija, duomenų surinkimo principas, aptariamoms ir palyginamos egzistuojančios sistemos, naudojančios šį standartą. Taip pat dokumente pateikiama projektinė dalis, kurioje aprašoma visa projektavimo eiga. Aprašomi gauti bandymų rezultatai, pasiūlomas tolesnis sistemos tobulinimas.

Sedunovas, Ignas. *Collection and Analysis of Long-Term Data Provided by Machinery via MTConnect Protocol*: Master's thesis in Software Engineering Study Programme / supervisor doc. dr. Tomas Blažauskas. The Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Informatics Engineering, Technological Sciences.

Key words: *MTConnect, industrial machinery, big data, data analysis.*

Kaunas, 2016. 49 p.

## **SUMMARY**

Nowadays, efforts are made to automate various processes. Manufacturing industry is using software controlled machines and / or robots to create end-product. When a part fails the whole operation of the machinery has to be stopped to execute repairs. Sometimes a failure might even cause more damage to surrounding parts or machinery. For a period of time a lot of custom software were needed for machine intercommunication and it was hard to maintain it.

In 2009 the *MTConnect* standard emerged – a free standardized way to transfer machine data via the internet. Since then an increased demand to remotely monitor and analyze machinery data can be observed in the manufacturing industry. This brings benefits such as decrease in time, labor and expense costs, better competition conditions and remote machine supervision.

In this project, software is developed which collects data from machines using *MTConnect* protocol and analyzes it to detect recurring failures. This document contains analysis of the master's thesis, in which the standard specification and data collection principles is analyzed, existing systems using this standard are reviewed and compared. Also, the document contains project part, which describes the entire design process. Lastly, experiment results are summarized and ideas for further system improvements are presented.

## TURINYS

1.	Įvadas .....	11
1.1.	Dokumento paskirtis .....	11
1.2.	Darbo tikslas .....	11
1.3.	Mokslinis naujumas .....	11
1.4.	Uždaviniai .....	12
2.	<i>MTConnect</i> duomenų surinkimo ir analizės analitinė dalis.....	12
2.1.	<i>MTConnect</i> standartas.....	12
2.2.	Esamos sistemos, naudojančios <i>MTConnect</i> .....	14
2.2.1.	Microsoft Visio integracija .....	14
2.2.2.	Virpėjimo nustatymas panaudojant stebėseną .....	15
2.2.3.	Google Glass sprendimas.....	15
2.2.4.	Promise .....	15
2.2.5.	<i>Kaizen</i> pobūdžio sprendimas .....	15
2.2.6.	Įrenginių sąveikos gerinimas .....	16
2.2.7.	Komercinių ribotų <i>SPC</i> metodų gerinimas .....	16
2.2.8.	Gamyklos sistemų kokybės stebėjimas realiu laiku .....	16
2.2.9.	<i>Pneuviz</i> – suspausto oro stebėjimo programa .....	16
2.2.10.	<i>MTConnect</i> pritaikymas paskirstytos gamybos aplinkoje .....	17
2.2.11.	Įrenginių stebėjimo sistema, grįsta <i>MTConnect</i> technologija.....	17
2.2.12.	Sistemų palyginimas .....	18
2.3.	Situacijos Lietuvoje įvertinimas .....	18
2.4.	Įgyvendinimo iššūkiai.....	19
2.5.	Analizės išvados .....	20
3.	<i>MTConnect</i> duomenų surinkimo ir analizės sistemos projektinė dalis.....	20
3.1.	Sistemos panaudos atvejų diagrama .....	20
3.2.	Funkciniai reikalavimai .....	23
3.3.	Nefunkciniai reikalavimai.....	24
3.3.1.	Reikalavimai sistemos išvaizdai .....	24
3.3.2.	Reikalavimai panaudojamumui .....	24
3.3.3.	Reikalavimai vykdymo savybėms .....	24
3.3.4.	Reikalavimai patikimumui ir pasiekiamumui.....	25

3.3.5.	Reikalavimai veikimo sąlygoms .....	25
3.3.6.	Reikalavimai saugumui.....	25
3.3.7.	Kultūriniai-politiniai reikalavimai .....	25
3.4.	Sistemos architektūros modelis .....	26
3.4.1.	Sistemos statinis vaizdas.....	26
3.4.2.	Sistemos dinaminis vaizdas .....	28
3.4.3.	Veiklos diagramos .....	33
3.4.4.	Sistemos išdėstymo vaizdas.....	34
3.4.5.	Duomenų vaizdas.....	35
3.5.	Naudojamos technologijos.....	39
4.	<i>MTCConnect</i> duomenų surinkimo ir analizės sistemos tyrimai.....	39
4.1.	Duomenų analizės tikslumas .....	39
4.2.	Duomenų kaupimas ir analizė.....	40
5.	<i>MTCConnect</i> duomenų surinkimo ir analizės sistemos eksperimentinė dalis .....	42
5.1.	Duomenų surinkimo modulio charakteristikų tyrimas .....	42
5.1.1.	Tyrimo eiga.....	42
5.1.2.	Tyrimo rezultatai.....	42
5.2.	Duomenų analizės modulio charakteristikų tyrimas.....	44
5.2.1.	Tyrimo eiga.....	44
5.2.2.	Tyrimo rezultatai.....	45
6.	Išvados .....	47
7.	Literatūra.....	48
8.	Priedai .....	50
	1 Priedas. Eksperimente naudoto įrenginio konfigūracija .....	50
	2 Priedas. Mokslinis straipsnis (pristatytas XXI tarpuniversitetinės tarptautinės magistrantų ir doktorantų konferencijoje „Informacinė visuomenė ir universitetinės studijos 2016“) .....	52

## PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. <i>MTCConnect</i> komponentų schema [1] .....	14
3.1 pav. <i>MTCConnect</i> duomenų surinkimo ir analizės sistemos panaudos atvejų diagrama.....	20
3.2 pav. Sistemos, suskirstytos į paketus, vaizdas .....	26
3.3 pav. Duomenų analizės serviso klasių diagrama .....	26
3.4 pav. Duomenų surinkimo serviso klasių diagrama .....	27
3.5 pav. Saityno programos klasių diagrama.....	28
3.6 pav. <i>PotentialIssue</i> būsenos diagrama .....	29
3.7 pav. <i>Agent</i> būsenos diagrama.....	29
3.8 pav. <i>MeasurementRange</i> būsenos diagrama.....	29
3.9 pav. <i>Device</i> būsenos diagrama.....	29
3.10 pav. Duomenų surinkimo sekų diagrama .....	30
3.11 pav. Duomenų analizės sekų diagrama.....	30
3.12 pav. Įrenginių sąrašo parodymo sekų diagrama.....	31
3.13 pav. Agentės ir prie jos prijungtų prietaisų registracijos sekų diagrama .....	31
3.14 pav. Įrenginio duomenų parodymo sekų diagrama.....	32
3.15 pav. Įrenginio kritinių parametrų ribų keitimo sekų diagrama .....	32
3.16 pav. Potencialių įrenginio klaidų gavimo sekų diagrama .....	32
3.17 pav. Duomenų surinkimo veiklos diagrama .....	33
3.18 pav. Duomenų analizės veiklos diagrama.....	34
3.19 pav. Išdėstymo diagrama .....	34
3.20 pav. <i>CommonComponentType</i> struktūra.....	36
3.21 pav. <i>ComponentDescriptionType</i> struktūra .....	36
3.22 pav. <i>ComponentConfigurationType</i> struktūra.....	37
3.23 pav. <i>ChannelsType</i> struktūra.....	37
3.24 pav. <i>DataItemsType</i> struktūra .....	38
3.25 pav. <i>ComponentType</i> paveldinčios struktūros .....	38
5.1 pav. Vieno įrenginio duomenų kiekio kitimas laike .....	43
5.2 pav. Vieno įrenginio duomenų dydžio kitimas laike .....	43
5.3 pav. Naujausių rodmenų kiekio kitimas didėjant duomenų imties intervalui.....	46
5.4 pav. Istorinių rodmenų kiekio kitimas didėjant duomenų imties intervalui .....	46
5.5 pav. Analizės trukmės kitimas didėjant duomenų imties intervalui .....	47



## LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Sistemų palyginimas .....	18
2.2 lentelė. <i>MTCConnect</i> įrenginių sugeneruojamų duomenų kiekiai .....	19
3.1 lentelė. Panaudojimo atvejis „Peržiūrėti prietaisų sąrašą“ .....	21
3.2 lentelė. Panaudojimo atvejis „Užregistruoti naują prietaisą“ .....	21
3.3 lentelė. Panaudojimo atvejis „Peržiūrėti konkretaus prietaiso rodmenis“ .....	21
3.4 lentelė. Panaudojimo atvejis „Nustatyti prietaiso parametrų kritines ribas“ .....	22
3.5 lentelė. Panaudojimo atvejis „Pranešti apie netinkamą prietaiso statusą“ .....	22
3.6 lentelė. Panaudojimo atvejis „Surinkti duomenis iš įrenginių ir išsaugoti“ .....	22
3.7 lentelė. Panaudojimo atvejis „Analizuoti duomenis“ .....	23
3.8 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 10.A.1 .....	24
3.9 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 10.A.2 .....	24
3.10 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 11.C.1 .....	24
3.11 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.A.1 .....	24
3.12 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.A.2 .....	24
3.13 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.A.3 .....	25
3.14 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.D.1 .....	25
3.15 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.F.1 .....	25
3.16 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.F.2 .....	25
3.17 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 13.B.1 .....	25
3.18 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 15.A.1 .....	25
3.19 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 15.E.1 .....	25
3.20 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 16.A.1 .....	25

## TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

*MTConnect* – atvirų, nemokamų standartų rinkinys, skirtas didinti sąveiką tarp prietaisų, kontrolės prietaisų ir programinės įrangos panaudojant duomenų perdavimą internetiniu tinklu.

*XML* – universali dokumentų ženklavimo kalba, skirta dokumentų struktūrai aprašyti. Nepriklausoma nuo kompiuterių ir operacinių sistemų, neribojanti dokumento pavaizdavimo.

Intranetas – vietinis tinklas, naudojantis interneto protokolus duomenims persiųsti, galintis turėti ryšį su internetu.

*NoSQL* – duomenų bazės, skirtos saugoti duomenis, kurių struktūra yra apibrėžta kitaip negu lentelių ryšiais reliacinėse duomenų bazėse, tipas.

Protokolas – taisyklių ir susitarimų rinkinys, apibrėžiantis ryšio ir duomenų perdavimo formatus bei procedūras tarp dviejų ar daugiau kompiuterių arba kitokių įrenginių.

*ASME* – Amerikos mechanikos inžinierių asociacija (*angl. American Society of Mechanical Engineers*).

*CMM* – koordinačių nustatymo įtaisas (*angl. Coordinate Measuring Machine*).

Adapteris – aparatinės sąsajos įtaisas siejamų įtaisų signalų parametrų suderinti.

Agentė – programa, kuri atlieka tam tikrus veiksmus įvykus tam tikram įvykiui.

Didieji duomenys – terminas, apibrėžiantis duomenų rinkinius, kurie yra tokie dideli, kad tampa labai sunku juos apdoroti naudojant standartines duomenų apdorojimo programas (*angl. Big Data*).

*HTTP* – hipertekstų persiuntimo protokolas saityno duomenims (ištekliams) persiųsti.

## 1. ĮVADAS

Šiais laikais yra stengiamasi įvairius procesus automatizuoti. Gamybos pramonėje yra pasitelkiamos mašinos / robotai, kurie gamina produktą pagal tam tikrą kompiuterinę programą. Kurį laiką mašinų komunikacijai buvo rašomos specifinės programos, kurių reikėdavo nemažai ir jas būdavo nelengva palaikyti. Kad tai palengvintų, buvo sukurtas standartizuotas nemokamas mašinų duomenų perdavimo internetu protokolas *MTConnect* [1], kurio pirmoji versija 1.0.1 išleista 2009 metais [2].

Nuo to laiko, kai atsirado standartizuotas metodas gauti mašinų duomenis nuotoliniu būdu, mašinų pramonėje iškilo ir vis dar kyla poreikis per atstumą stebėti ir analizuoti duomenis, kuriuos pateikia veikiantys įrenginiai. To įmonėms reikia dėl to, kad sumažėja laiko, darbo jėgos ir išlaidų sąnaudos, didėja produktyvumas, atsiranda geresnės sąlygos konkuruoti, ir galima bet kuriuo metu prižiūrėti mašinas iš bet kurios vietos su interneto prieiga [3] [4].

Darbe pateikiamas sprendimas, kurį naudojant būtų surenkami pramoninių staklių, suderinamų su *MTConnect* standartu, rodmenys ir analizuojami siekiant nustatyti pasikartojančius gedimus prieš jiems dar įvykstant. Taip pat yra aprašomi tyrimo metodai, kuriais siekiama manipuluoti, konvertuoti duomenis ir optimizuoti koreliacijos skaičiavimus.

### 1.1. Dokumento paskirtis

Šiame dokumente pateikiama *MTConnect* duomenų surinkimo ir analizės sprendimo analizė, kurioje apžvelgiamas *MTConnect* standartas bei egzistuojančios sistemos, naudojančios jį. Taip pat pateikiamas sukurtos *MTConnect* duomenų surinkimo ir analizės sistemos projektas. Eksperimentinėje dalyje aprašomas vykdytas tyrimas, sistemos plėtojimo perspektyvos ir kitos išvalgos.

### 1.2. Darbo tikslas

Ištirti mašinų, teikiančių informaciją *MTConnect* protokolu, ilgo laiko intervalo duomenų surinkimo ir analizės dėsningumus ir įvertinti pritaikomumą praktikoje.

### 1.3. Mokslinis naujumas

1. Suprojektuota ir sukurta duomenų surinkimo ir analizės sistema, naudojanti *MTConnect* standartą ir *NoSQL* technologiją.
2. Atlikti sistemos tyrimai, kurių tikslas nustatyti duomenų kiekio ir greitaveikos dėsningumus plečiantis sistemai ir kintant duomenų imtims.

## 1.4. Uždaviniai

1. Išanalizuoti *MTConnect* standarto specifikacija.
2. Išanalizuoti egzistuojančius *MTConnect* panaudojimo būdus.
3. Įvertinti potencialius *MTConnect* duomenų surinkimo ir analizės sprendimo iššūkius.
4. Suprojektuoti ir sukurti *MTConnect* duomenų surinkimo ir analizės sprendimą.
5. Iširti sukurtą sprendimą ir atlikti patobulinimus greitaveikai didinti.
6. Atlikti duomenų kiekio ir greitaveikos eksperimentus su skirtingais įrenginių kiekiais ir skirtingais duomenų imties intervalais.

## 2. *MTCONNECT* DUOMENŲ SURINKIMO IR ANALIZĖS ANALITINĖ DALIS

### 2.1. *MTConnect* standartas

*MTConnect* yra atviras, nemokamas standartas, skirtas skatinti didesnę sąveiką tarp įrenginių ir programinės įrangos. Jis yra pagrįstas atviruoju duomenų integracijos protokolu. Sukurdamas atvirą ir išplečiamą komunikacijos kanalą savaiminio diegimo (angl. *plug-and-play*) tarpusavio ryšiui tarp prietaisų, įrangos ir sistemų, *MTConnect* leidžia jiems keistis ir suprasti vieni kitų duomenis ir šitaip sumažinti integracijos kaštus. Akcentuotina, kad standartas skirtas perduoti duomenis ir kad jis duomenims nesuteikia jokios papildomos prasmės.

*MTConnect* yra sukurtas remiantis labiausiai paplitusiais pramonės ir programinės įrangos standartais, todėl maksimaliai padidina jam įgyvendinti prieinamų įrankių kiekį ir suteikia aukščiausią sąveiką su kitais pramonės šakų standartais ir įrankiais. Pagrindiniai technologiniai komponentai, naudojami *MTConnect*, yra universalioji dokumentų ženklavimo kalba (*XML*), skirta dokumentų struktūrai aprašyti, ir hipertekstų persiuntimo protokolas saityno duomenims (ištekliams) persiųsti (*HTTP*) [1].

Šiuo metu *MTConnect* palaiko didelę įvairovę duomenų tipų, reikalingų perduoti duomenis iš pramoninių įrenginių. Pagrindiniai komponentai, apibrėžti *MTConnect* standarte, apima: valdiklius, trajektorijas, tiesines ašis, sukimo ašis, technologinę įrangą, pavaras, duris, jutiklius ir įvairias sistemas (hidraulinės, pneumatines, tepimo, aušinimo, elektros).

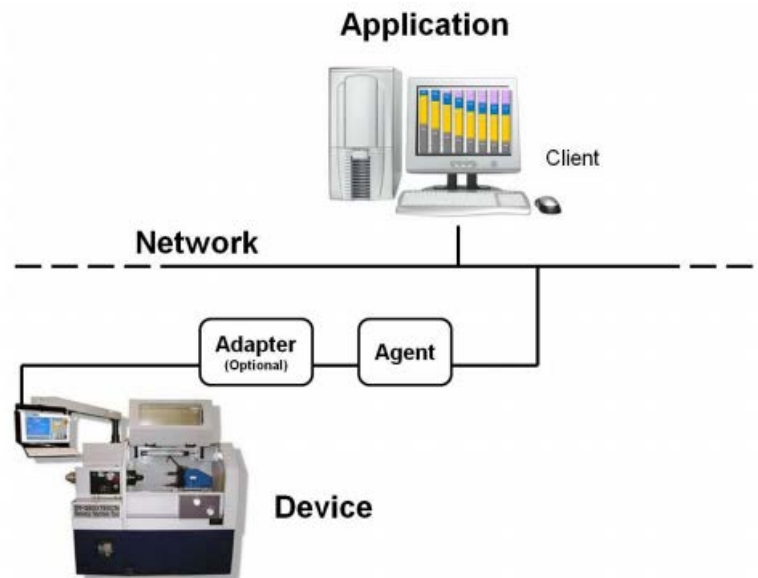
Kartu su įrenginio ar jo dalies *XML* duomenų modeliu *MTConnect* teikia trijų kategorijų duomenų tipus, kurie yra skirti apibrėžti informaciją apie įrangą ir apdirbimo procesą:

- Mėginys (angl. *sample*) – nuolat kintančio arba analoginio duomens reikšmė.
- Įvykis (angl. *event*) – diskreti įrenginio informacija. Įvykis gali pateikti arba būseną su dvejomis arba daugiau diskrečių reikšmių arba grynojo teksto žinutes.

- Būklė (angl. *condition*) – įrenginio sveikata ir gebėjimas funkcionuoti. Būklė gali būti tik 4 tipų: nesama (angl. *unavailable*), normali (angl. *normal*), įspėjamas (angl. *warning*), klaida (angl. *fault*).

Sistema, įgyvendinta naudojant *MTCConnect* standartą, yra sudaryta iš 5 pagrindinių dalių (1 pav.) [1]:

- Įrenginys (angl. *device*) – dažniausiai mašininis įrankis, bet gali būti bet kuri įrangos dalis arba duomenų šaltinis.
- Adapteris (angl. *adapter*) – neprivaloma programinės arba techninės įrangos dalis, kuri konvertuoja rodmenis į *MTCConnect* standartą. Kai kurie įrenginiai rodmenis teikia jau pagal standartą – tokiu atveju adapteris nereikalingas.
- Agentė (angl. *agent*) – programinės įrangos dalis, kuri surenka, organizuoja ir kaupia duomenis, gautus iš įrenginio ar adapterio. Ji apdoroja užklausas, gautas iš vartotojo (taikomosios programos), ir pateikia reikiamus duomenis. Agentės funkcija ir duomenų struktūra yra specifikuota *MTCConnect* standarto.
- Tinklas (angl. *network*) – fizinis ryšys tarp duomenų šaltinio (įrenginio) ir duomenų naudotojo (taikomosios programos). Dažniausiai tai yra interneto tinklas ir įprastai yra naudojamas standartinis bendravimo metodas – *HTTP* protokolas. Be to, *MTCConnect* struktūra gali būti pritaikyta ir kitokiems tinkliniams sprendimams.
- Taikomoji programa (angl. *application*) – tikrasis *MTCConnect* duomenų prašytojas ir naudotojas. Tipinės taikomosios programos funkcijos yra teikti užklausas, kaupti, manipuluoti ir atvaizduoti duomenis.



**2.1 pav.** *MTConnect* komponentų schema [1]

Šis standartas yra nuolat pildomas ir tobulinamas naudojant kitus technikos standartus – 2015 metų birželį buvo išleista naujausia 1.3.1 versijos specifikacija [2].

## **2.2. Esamos sistemos, naudojančios *MTConnect***

Nuo 2013 metų JAV gynybos departamentas rengia kasmet vykstantį *MTConnect Challenge* konkursą, skirtą skatinti kurti ir įgyvendinti idėjas, kaip galima panaudoti gamybos duomenis [3]. Be to, kasmetinėje *ASME (The American Society of Mechanical Engineers)* konferencijoje taip pat yra pristatomi įvairūs sprendimai, naudojantys *MTConnect*.

### **2.2.1. Microsoft Visio integracija**

Jamesas Finnas [4] sukūrė *MTConnect* sprendimą *Microsoft Visio* programai. Šis modeliavimo įrankis leidžia gamybos kontrolės priežiūros personalui greitai ir nepriklausomai susikurti duomenų gavimo ir atvaizdavimo / peržiūros langą, kuriuo naudodamiesi vėliau gali išspręsti netikėtai atsiradusias gamybos cecho problemas.

Šio sprendimo pagrindinė savybė yra tai, kad naudojant *Microsoft Visio* duomenys iš viso cecho, kurie tuo metu yra transliuojami *MTConnect* kanalu, yra greitai surenkami, agreguojami ir vaizdžiai pateikiami realiu laiku.

### **2.2.2. Virpėjimo nustatymas panaudojant stebėseną**

Autorius nagrinėja anomaliją, kai mašinos pjaunamosios ar gręžiamosios detalės pradėdavo virpėti per daug ir dėl to detalė nusidėvėdavo greičiau, o produkto kokybė suprastėdavo. Pažeistų detalių keitimas kainuoja daugiau ir ilgas mašinos neveiksnumo laikas remonto metu gali neigiamai paveikti visą cecho produktyvumą. Valerie Pezzullo [5] reikėjo būdo tai pastebėti anksčiau negu atsirasdavo defekto garsas.

Autoriaus sprendimas buvo panaudoti *MTCConnect* duomenis apie detalių parametrus iš prietaiso ir duomenis apie vibracijos lygį iš jutiklių juos perduodant į kontrolinį valdiklį, kuris įvertinęs esamą situaciją atlieka tam tikras prietaisų korekcijas (pvz., sumažina grąžto sukimosi greitį). Atlikus skaičiavimus vienam procesui, apdoroti duomenys yra siunčiami į kitą valdiklį, kuris atsakingas už kitą procesą, kad jis taip pat įvertintų šią padėtį ir atliktų reikiamus pakeitimus.

### **2.2.3. Google Glass sprendimas**

Ravis Sivalingamas [6] savo sprendime apjungė *MTCConnect* funkcionalumą ir *Google Glass* galimybes: įžvalgų ekraną, vaizdo kamerą, lietimui jautrią dalį, mikrofoną, el. pašta ir interneto prieigą. Nuskenavus su vaizdo kamera unikalų mašinos kodą darbuotojas akinių ekrane mato to prietaiso dabartinius parametrus, gali apžiūrėti detalę trimatėje erdvėje, gali modifikuoti prietaiso darbo planą ir perduoti bet kokią informaciją kolegai.

### **2.2.4. Promise**

*MTCConnect Challenge 2* konkurse Shane'as Crandallas pristatė savo intuityvią, lengvai valdomą internetinę programą, kuri naudoja *MTCConnect* teikiamą informaciją. Sprendimas vartotojui suteikia galimybę tuščiam lange susikurti įvairių matavimo formų (stulpelinė diagrama, grafikas, matuoklis su ciferblatu ir pan.) elementus ir nustatyti, kurio prietaiso ir kurie duomenys bus rodomi. Ši programa taip pat leidžia nustatyti duomenų vaizdavimo spalvą pagal reikšmę, keisti foną, kad būtų lengviau susigaudyti, kurioje prietaiso vietoje stovi matuoklis. Visi duomenys yra vaizduojami realiu laiku.

### **2.2.5. Kaizen pobūdžio sprendimas**

Šis sprendimas buvo konkrečiai taikomas optimizuoti *Boeing* įmonės procesus [7]. *MTCConnect* pagalba duomenys buvo žymiai greičiau surenkami negu naudojant firminius tų mašinų įrankius. Surinkti duomenys buvo agreguojami ir pateikiami įvairių grafikų pavidalu. Juos išanalizavęs cechą aptarnaujantis personalas galėjo lengviau ir greičiau identifikuoti realią įvairių procesų trukmę, kainą ir kitus parametrus.

### **2.2.6. Įrenginių sąveikos gerinimas**

Athulanas Vijayaraghavanas [8] kartu su komanda bandė sujungti nesuderinamus prietaisus. Naudodami *MTCConnect* standartizuotą sąsają jie apjungė įvairius įrenginius bendram tikslui. Taip pat buvo renkami duomenys, kuriuos programinė įranga realiu laiku analizuodavo ir sekdamo, ar mašina veikia taip, kaip ji buvo užprogramuota (buvo vykdomas proceso plano verifikavimas). Vėliau tuos duomenis ir išvestinius rezultatus galėjo peržiūrėti cecho personalas ir atlikti tam tikrus proceso pakeitimus.

### **2.2.7. Komercinių ribotų SPC metodų gerinimas**

Statistinės procesų kontrolės (angl. *Statistical Process Control (SPC)*) tikslas yra ne aptikti blogą kokybę, o užkirsti kelią jos atsiradimui [9]. *SPC* metodais yra siekiama stebėti procesą, jį kontroliuoti ir atlikti reikiamus pakeitimus. Tuo tikslu autoriai naudodami *MTCConnect* sukūrė programą, kuri analizuodavo gautus duomenis ir bandydavo apskaičiuoti tolimesnę prietaiso eigą. Jei buvo nustatomi galimi nukrypimai, tai programa įvertindavo, kaip reikia pamodifikuoti tolimesnę proceso eigą ir nusiųsdavo šią komandą mašinai.

### **2.2.8. Gamyklos sistemų kokybės stebėjimas realiu laiku**

Siekdami pagerinti gamybos kokybę, kuri buvo įvertinama pasibaigus procesui, kai galutinis produktas yra apžiūrimas ir įvertinamas, o po to retrospektyviai įvertinamas pats procesas ir sąnaudos, autoriai *C++* kalba sukūrė taikomąją programą, kuri panaudodama *MTCConnect* gaudavo duomenis iš *CMM*, juos apdorodavo, suformuodavo *HTML* dokumentą ir realiu laiku pateikdavo interneto naršyklėje (konkrečiai, *Internet Explorer*) [10]. Pateiktame dokumente buvo išskiriamos reikšmės, kurios peržengdavo viršutinę arba apatinę maksimalaus leistino nuokrypio ribą. Automatizavus stebėjimo procesą, aptarnaujančiam personalui liko daugiau laiko kitoms produktyvumo užduotims.

### **2.2.9. Pneviz – suspausto oro stebėjimo programa**

Gamybos pramonėje suspaustas oras yra laikomas ketvirta didžiausia pagalbine priemone po elektros, gamtinių dujų ir vandens. Jis yra naudojamas daugybėje įvairių pneumatinių ir mechaninių prietaisų kiekviename ceche. Todėl Sri Atluru su trimis kolegomis sprendė suspausto oro stebėjimo ir utilizavimo optimizavimo problemą ir sukūrė projektą, kuris išanalizuoja suspausto oro panaudojimą įvairiose situacijose metalo pjovimo operacijų metu [11]. Taikomoji programa buvo sukurta naudojant *LabVIEW* programinį paketą ir skirta stebėti procesą bei analizuoti informaciją. Duomenims gauti programa buvo susieta su *MTCConnect* duomenimis,



perduodamais įmonės vidiniu tinklu. Specifinių jutiklių rodmenys buvo nagrinėjami įvairiuose scenarijuose ir taip buvo nustatoma kainos, energijos ir anglies pėdsakų įtaka suspausto oro panaudojamumui ceche.

#### **2.2.10. *MTConnect* pritaikymas paskirstytos gamybos aplinkoje**

Johnas L. Michaloskis su kolegomis sprendė problemą, kad reikia patogaus detales gaminančių programuojamų mašinų duomenų stebėjimo realiu laiku [12]. Valdyba teigė, kad informatyvūs, tikslūs ir laiku pateikiami įrenginių duomenys gali būti kritinis sėkmingos gamybos aspektas. Kadangi įmonės tinklas turėjo saugumo apribojimų, buvo nuspręsta naudoti dviejų linijų intraneto ryšį. Pirmąją liniją neapdoroti duomenys buvo perduodami iš prietaiso į atskirą kompiuterį, kuriame *MTConnect* pagalba jie būdavo konvertuojami į standartizuotą formatą. Iš šio kompiuterio kita linija duomenys būdavo perduodami į centralizuotą prietaisų stebėjimo skydą. Šis sprendimas įmonei garantavo tikslų gamybos kokybės įvertinimą realiu laiku.

#### **2.2.11. Įrenginių stebėjimo sistema, grįsta *MTConnect* technologija**

Sprendimas susideda iš dviejų tinklu sujungtų komponentų: paties įrenginio ir pranešimų serverio [13]. Mašinoje esantis *MTConnect* adapteris surenka dabartinės būsenos duomenis ir intranetu siunčia į pranešimų serveryje esančią *MTConnect* agentę, kuri apdoroja gautus duomenis, konvertuoja į standartizuotą *MTConnect XML* formatą. Tada šiuos duomenis duomenų surinkimo servisas išsaugo į serverio duomenų bazę. Vėliau iš šių duomenų yra generuojamos ataskaitos, kurias naudojant interneto naršyklę galima pasiekti prisijungus prie pranešimų serveryje esančios saityno programos. Taip pat, atsižvelgiant į surinktus duomenis, el. pašto serverio pagalba mašinų operatoriams yra siunčiami pranešimai *SMS* ir / arba el. laišku.

## 2.2.12. Sistemų palyginimas

Žemiau pateikiamas aptartų sistemų palyginimas pagal atliekamas funkcijas.

2.1 lentelė. Sistemų palyginimas

	Priima standartizuotus XML duomenis	Kaupia gautus duomenis	Duomenys yra vaizdžiai pateikiami	Duomenys pateikiami realiu laiku	Yra galimybė tinkinti duomenų atvaizdavimą	Analizuoja duomenis	Siūnčia pranešimus	Modifikuoja procesą eigoje
<i>Microsoft Visio</i> integracija	+	+	+	+	+	-	-	-
Virpėjimo nustatymas panaudojant stebėseną	+	-	+	+	-	+	-	+
<i>Google Glass</i> sprendimas	+	-	+	+	-	-	+	-
<i>Promise</i>	+	+	+	+	+	-	-	-
<i>Kaizen</i> pobūdžio sprendimas	+	+	+	+	+	-	-	-
Įrenginių sąveikos gerinimas	+	+	+	+	+	-	-	-
Komercinių ribotų <i>SPC</i> metodų gerinimas	+	+	+	+	-	+	-	+
Gamyklos sistemų kokybės stebėjimas realiu laiku	+	-	+	+	-	-	-	-
<i>Pneuviz</i> – suspausto oro stebėjimo programa	+	+	+	+	+	-	-	-
<i>MTCConnect</i> pritaikymas paskirstytos gamybos aplinkoje	+	+	+	+	+	-	-	-
Įrenginių stebėjimo sistema, grįsta <i>MTCConnect</i> technologija	+	+	+	+	+	-	+	-

Palyginus esamas sistemas (2.1 lentelė) matome, kad nei viena analizuota sistema atlieka visas šias funkcijas. 2 ir 7 eilutėse pavaizduotos sistemos analizuoja duomenis, tačiau nebando aptikti pasikartojančių gedimų.

## 2.3. Situacijos Lietuvoje įvertinimas

*Eurostat* duomenimis, 2013 metais Lietuvoje pramonė sudarė 20,8% nuo BVP ir buvo didžiausias ekonomikos sektorius. Lietuvos Respublikos statistikos departamento duomenimis 2016 metų pradžioje veikė 7699 apdirbamosios gamybos ūkio subjektai [14]. Tačiau nebuvo rasta duomenų, kad pramonės įmonės Lietuvoje naudotų įrenginius, kurie turėtų integruotą *MTCConnect*

arba bent jau būtų suderinami su šiuo protokolu, todėl nėra aišku, ar Lietuvos įmonėms šis projektas aktualus.

## 2.4. Įgyvendinimo iššūkiai

Bandant įgyvendinti MTConnect protokolu informaciją teikiančių mašinų veikimo ilgame laiko intervale anomalijų analizę yra susiduriama su toliau įvardytais sunkumais.

### Duomenų struktūra

*MTConnect* pateikiami duomenys standartizuotu *XML* formatu yra apibrėžti rekursiniais ryšiais [15], todėl reliacinės duomenų bazės, nepritaikytos saugoti tokios struktūros informaciją ir vykdyti išrinkimo užklausas, duomenų saugojimui netinka.

Todėl sprendimui reikia rinktis *NoSQL* tipo duomenų bazę, kuri kaip tik ir buvo kuriama saugoti nestruktūrizuotą informaciją.

### Duomenų kiekis

Norint atlikti ilgesnio laikotarpio duomenų analizę, iš pradžių juos reikia sukaupti. Athulanas Vijayaraghavanas apžvelgdamas McKinsey ataskaitą apie *didžiuosius duomenis* pateikė savo apytikslius pesimistiškus skaičiavimus, kuriuose matomi labai dideli duomenų kiekiai, kuriuos sugeneruoja *MTConnect* standartu grįsti pramonės įrenginiai [16]:

**2.2 lentelė.** *MTConnect* įrenginių sugeneruojamų duomenų kiekiai

	Paprastas stebėjimas		Detalus stebėjimas	
Mėginių per sekundę	10	hz	100	hz
Duomenų įrašų mėginyje kiekis	10	įrašų	50	įrašų
Duomenų įrašo dydis	50	bytes	50	bytes
Mėginio dydis	500	bytes	2500	bytes
Įrenginio duomenų perdavimo sparta	5	kbps	250	kbps
Dienos duomenų kiekis	432	MB	21600	MB
Duomenų kiekis per metus	158	GB	7889	GB
Metų senumo duomenys saugomi:				
Mažam cechui (10 įrenginių)	2	TB	79	TB
Vidutiniam cechui (30 įrenginių)	5	TB	237	TB
Dideliam cechui (100 įrenginių)	16	TB	789	TB
Pramoninei įmonei (500 įrenginių)	79	TB	3945	TB
Visa JAV rinka (1,2 mln. įrenginių)	189	PB	9467	TB

Tokie dideli duomenų kiekiai, apibūdinami kaip *didieji duomenys* (angl. *big data*), yra dar viena priežastis, kodėl reiktų naudoti *NoSQL* duomenų bazines, kurios yra pajėgios operuoti su tokios didelės apimties duomenimis.

Todėl atsižvelgus į cecho pajėgumą ir įvertinus numatomą stebėjimo kainą, reikia protingai pasirinkti duomenų, kurie bus analizuojami, imties dydį.

## 2.5. Analizės išvados

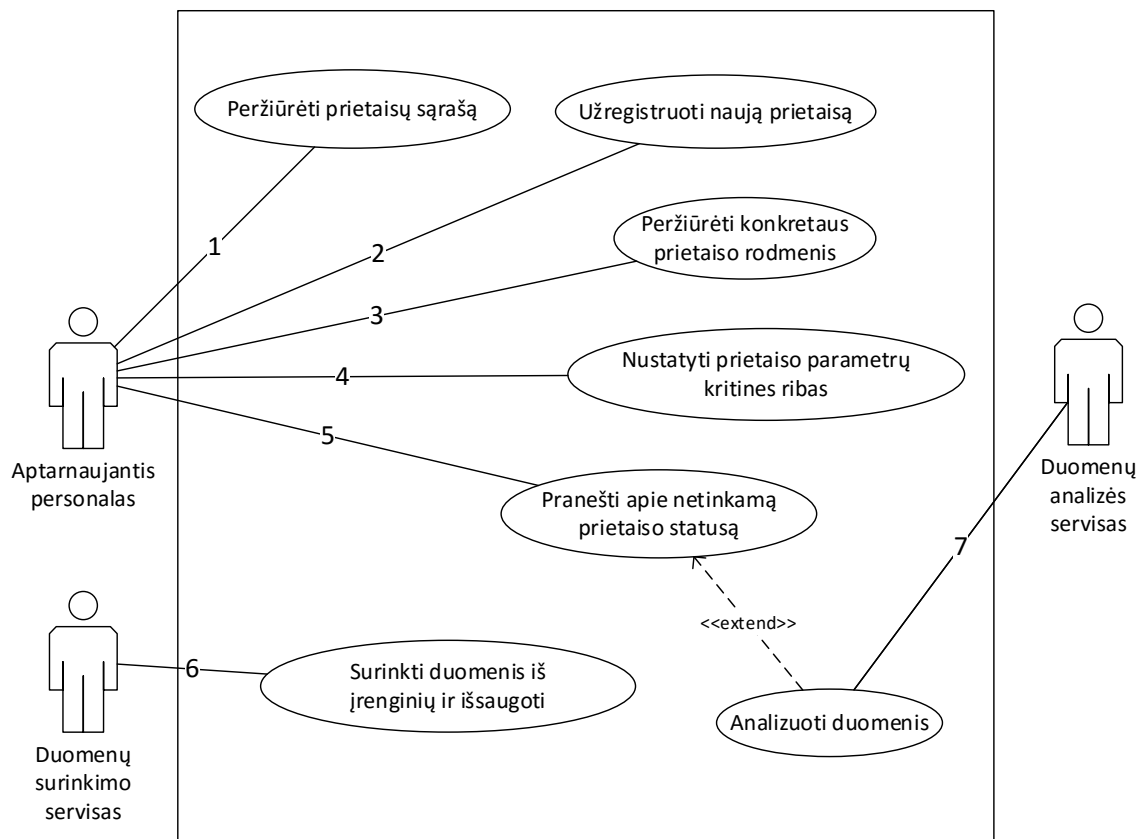
Išanalizavus esamus sprendimus matosi, kad nuo pat *MTCconnect* standarto atsiradimo pradžios yra nuolat kuriami įvairūs jo pritaikymai įmonėse su pramoninėmis mašinomis. Vieni sprendimai orientuojasi į duomenų vaizdavimą realiu laiku ir rankinę analizę, o kiti labiau skirti analizuoti ir modifikuoti procesą jo eigoje, tačiau beveik visi sprendimai daugiau ar mažiau persidengia funkcionalumo atžvilgiu.

Idėjos įgyvendinimui kyla kelios realizacijos problemos, tačiau buvo identifikuoti būdai tai išspręsti.

## 3. *MTCCONNECT* DUOMENŲ SURINKIMO IR ANALIZĖS SISTEMOS PROJEKTINĖ DALIS

### 3.1. Sistemos panaudos atvejų diagrama

Žemiau pateikiama *MTCconnect* duomenų surinkimo ir analizės sistemos panaudos atvejų diagrama ir panaudojimo atvejų aprašymai.



3.1 pav. *MTCconnect* duomenų surinkimo ir analizės sistemos panaudos atvejų diagrama

**3.1 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Peržiūrėti prietaisų sąrašą“

<b>Panaudos atvejis</b>	<b>PA1. Peržiūrėti prietaisų sąrašą</b>
Tikslas	Peržiūrėti prietaisų sąrašą
Aktoriai	Aptarnaujantis personalas
Ryšys su kitais PA	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlyga	Vartotojas atsidarė pagrindinį svetainės puslapį
Sužadinimo sąlyga	Vartotojas paspaudė nuorodą „Prietaisų peržiūra“
Po-sąlyga	Vartotojas mato prietaisų sąrašą
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vartotojas atsidaro pagrindinį svetainės puslapį</li> <li>2. Vartotojas paspaudžia nuorodą „Prietaisų peržiūra“</li> <li>3. Parodomas prietaisų sąrašas</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	Nėra

**3.2 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Užregistruoti naują prietaisą“

<b>Panaudos atvejis</b>	<b>PA2. Užregistruoti naują prietaisą</b>
Tikslas	Užregistruoti naują prietaisą
Aktoriai	Aptarnaujantis personalas
Ryšys su kitais PA	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlyga	Vartotojas atsidarė pagrindinį svetainės puslapį
Sužadinimo sąlyga	Vartotojas paspaudė mygtuką „Naujo prietaiso registracija“
Po-sąlyga	Naujas prietaisas užregistruotas svetainėje
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vartotojas atsidaro pagrindinį svetainės puslapį</li> <li>2. Vartotojas paspaudžia mygtuką „Naujo prietaiso registracija“</li> <li>3. Vartotojui parodoma naujo prietaiso registracijos forma</li> <li>4. Vartotojas užpildo formą ir spaudžia mygtuką „Užregistruoti“</li> <li>5. Naujas prietaisas užregistruojamas svetainėje</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	Nėra

**3.3 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Peržiūrėti konkretaus prietaiso rodmenis“

<b>Panaudos atvejis</b>	<b>PA3. Peržiūrėti konkretaus prietaiso rodmenis</b>
Tikslas	Peržiūrėti konkretaus prietaiso rodmenis
Aktoriai	Aptarnaujantis personalas
Ryšys su kitais PA	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	<p>Prietaiso rodmenys turi būti pateikti lentelių pavidalu.</p> <p>Prietaiso rodmenys, didesni nei kritinė riba, turi būti identifikuoti raudona spalva. Rodmenys, kurie yra iki 10% mažesni už kritinę ribą, turi būti identifikuoti geltona spalva. Visi kiti rodmenys turi būti identifikuoti žalia spalva.</p> <p>Prietaisų rodmenys turi būti atnaujinami kas 1 sekundę.</p>
Prieš-sąlyga	Vartotojas atsidarė prietaisų sąrašo puslapį
Sužadinimo sąlyga	Vartotojas paspaudė ant prietaiso sąrašo
Po-sąlyga	Vartotojas mato prietaiso rodmenis
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vartotojas atsidaro prietaisų sąrašo puslapį</li> <li>2. Vartotojas paspaudžia ant prietaiso sąrašo</li> <li>3. Parodomi prietaiso rodmenys</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	Nėra

**3.4 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Nustatyti prietaiso parametrų kritines ribas“

<b>Panaudos atvejis</b>	<b>PA4. Nustatyti prietaiso parametrų kritines ribas</b>
Tikslas	Nustatyti prietaiso parametrų kritines ribas
Aktoriai	Aptarnaujantis personalas
Ryšys su kitais PA	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlyga	Vartotojas atsidarė prietaiso rodmenų peržiūros puslapį
Sužadinimo sąlyga	Vartotojas paspaudė mygtuką „Nustatyti kritines ribas“
Po-sąlyga	Prietaiso parametrams nustatytos kritinės ribos
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vartotojas atsidaro prietaiso rodmenų peržiūros puslapį</li> <li>2. Vartotojas paspaudžia mygtuką „Nustatyti kritines ribas“</li> <li>3. Vartotojui parodoma kritinių ribų forma</li> <li>4. Vartotojas užpildo formą ir spaudžia mygtuką „Išsaugoti“</li> <li>5. Naujos prietaiso parametrų ribos išsaugomos duomenų bazėje</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	Nėra

**3.5 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Pranešti apie netinkamą prietaiso statusą“

<b>Panaudos atvejis</b>	<b>PA5. Pranešti apie netinkamą prietaiso statusą</b>
Tikslas	Gauti pranešimą apie netinkamą prietaiso statusą
Aktoriai	Aptarnaujantis personalas, Duomenų analizės servisas
Ryšys su kitais PA	PA7
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlyga	Prietaisas yra užregistruotas sistemoje
Sužadinimo sąlyga	Sistema užfiksavo netinkamą prietaiso statusą
Po-sąlyga	Vartotojas gavo pranešimą apie netinkamą prietaiso statusą
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema užfiksuoja netinkamą prietaiso statusą</li> <li>2. Sistema vartotojui išsiunčia pranešimą apie netinkamą prietaiso statusą</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	Nėra

**3.6 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Surinkti duomenis iš įrenginių ir išsaugoti“

<b>Panaudos atvejis</b>	<b>PA6. Surinkti duomenis iš įrenginių ir išsaugoti</b>
Tikslas	Surinkti duomenis iš įrenginių ir išsaugoti, kad vėliau būtų galima atlikti ilgo laikotarpio anomalijų analizę
Aktoriai	Duomenų surinkimo servisas
Ryšys su kitais PA	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	Prietaiso rodmenys turi būti pateikti lentelių pavidalu. Sistema prietaisų rodmenis turi saugoti ne ilgiau kaip 60 dienų.
Prieš-sąlyga	Prietaisas yra užregistruotas sistemoje
Sužadinimo sąlyga	Nėra
Po-sąlyga	Prietaiso rodmenys yra išsaugoti duomenų bazėje
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prietaisas išsiuntė duomenis į agentę</li> <li>2. Duomenų surinkimo servisas surinko naujausius prietaiso rodmenis</li> <li>3. Duomenų surinkimo servisas išsaugojo naujausius prietaiso rodmenis</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	Nėra

### 3.7 lentelė. Panaudojimo atvejis „Analizuoti duomenis“

Panaudos atvejis	PA7. Analizuoti duomenis
Tikslas	Vykdyti ilgo laikotarpio duomenų analizę siekiant nuspėti gedimus
Aktoriai	Duomenų analizės servisas
Ryšys su kitais PA	PA5
Nefunkciniai reikalavimai	Vieno prietaiso vienos duomenų imties analizė neužtrunka ilgiau nei 10 minučių. Duomenų analizei reikalinga vienos iteracijos imtis neturi viršyti 30 dienų sukauptos informacijos kiekio.
Prieš-sąlyga	Duomenų bazėje yra sukaupta mažiausiai 1 dienos prietaisų informacija
Sužadinimo sąlyga	Nėra
Po-sąlyga	Aptinkamas galimas prietaiso sutrikimas
Pagrindinis scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paimamas tam tikras vieno prietaiso duomenų kiekis</li> <li>2. Duomenys analizuojami</li> <li>3. Randamas galimas sutrikimas</li> <li>4. Apie jį pranešama aptarnaujančiam personalui</li> <li>5. Kartojami 1-4 žingsniai imant vis kitus duomenų kiekius</li> <li>6. Kartojami 1-5 žingsniai visiems prietaisams</li> </ol>
Alternatyvus scenarijus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paimamas tam tikras vieno prietaiso duomenų kiekis</li> <li>2. Duomenys analizuojami</li> <li>3. Kartojami 1-2 žingsniai imant vis kitus duomenų kiekius</li> <li>4. Kartojami 1-3 žingsniai visiems prietaisams</li> <li>5. Nerandama galimų sutrikimų</li> </ol>

### 3.2. Funkciniai reikalavimai

Svarbiausios sistemos funkcijos yra:

- *Peržiūrėti prietaisų sąrašą.* Aptarnaujančiam personalui reikia matyti visus sistemoje užregistruotus prietaisus, kad galėtų vykdyti veiksmus su jais arba identifikuoti neužregistruotus prietaisus.
- *Užregistruoti naują prietaisą.* Aptarnaujančiam personalui reikia užregistruoti naujus prietaisus, kad matytų suformatuotą jų informaciją ir kad sistema galėtų ieškoti anomalijų.
- *Peržiūrėti konkrečius prietaiso rodmenis.* Aptarnaujančiam personalui reikia peržiūrėti bet kurio prietaiso duomenis, kad žinotų, kokia jo būseną ir ar viskas veikia tinkamai.
- *Nustatyti prietaiso parametrų kritines ribas.* Aptarnaujantis personalas gali norėti pamodifikuoti prietaiso parametrų numatytąsias kritines ribas pagal savo poreikius.
- *Pranešti apie netinkamą prietaiso statusą.* Aptarnaujantis personalas turi būti informuotas apie netinkamą prietaiso statusą, kad galėtų pakeisti sugedusią ar nusidėvėjusią detalę.

- *Surinkti duomenis iš įrenginių ir išsaugoti.* Reikia surinkti duomenis ir išsaugoti, kad vėliau būtų galima atlikti ilgo laikotarpio anomalijų analizę.
- *Analizuoti duomenis.* Analizuojant sukauptus prietaisų duomenis tam tikrame laiko intervale galima identifikuoti galimus gedimus.

### 3.3. Nefunkciniai reikalavimai

#### 3.3.1. Reikalavimai sistemos išvaizdai

##### 3.8 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 10.A.1

Reikalavimo #:	10.A.1
Reikalavimo aprašymas:	Prietaiso rodmenys turi būti pateikti lentelių pavidalu.
Tinkamumo kriterijus:	Prietaiso rodmenų peržiūros puslapyje visi prietaiso duomenys yra pateikiami lentelėse.

##### 3.9 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 10.A.2

Reikalavimo #:	10.A.2
Reikalavimo aprašymas:	Prietaiso rodmenys, didesni nei kritinė riba, turi būti identifikuoti raudona spalva. Rodmenys, kurie yra iki 10% mažesni už kritinę ribą, turi būti identifikuoti geltona spalva. Visi kiti rodmenys turi būti identifikuoti žalia spalva.
Tinkamumo kriterijus:	Prietaiso rodmenų peržiūros puslapyje visi prietaiso duomenys yra pateikiami lentelėse.

#### 3.3.2. Reikalavimai panaudojamumui

##### 3.10 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 11.C.1

Reikalavimo #:	11.C.1
Reikalavimo aprašymas:	Aptarnaujantis personalas perskaitęs vartotojo vadovą turėtų ne ilgiau kaip per 5 valandas išmokti naudotis sistema.
Tinkamumo kriterijus:	Aptarnaujantis personalas perskaitęs vartotojo vadovą vidutiniškai per 3 valandas išmoksta naudotis sistema. Mokymasis niekada netrunka ilgiau 5 valandų.

#### 3.3.3. Reikalavimai vykdymo savybėms

##### 3.11 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.A.1

Reikalavimo #:	12.A.1
Reikalavimo aprašymas:	Prietaisų rodmenys turi būti išsaugomi 1 sekundės intervalais.
Tinkamumo kriterijus:	Prietaisų rodmenys yra išsaugomi vidutiniškai 1 sekundės (su 20% santykinu nuokrypiu) intervalais.

##### 3.12 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.A.2

Reikalavimo #:	12.A.2
Reikalavimo aprašymas:	Prietaisų rodmenys turi būti atnaujinami kas 1 sekundę.
Tinkamumo kriterijus:	Prietaisų rodmenys yra vidutiniškai atnaujinami kas 1 sekundę (0.25 sekundės paklaida).



### 3.13 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.A.3

Reikalavimo #:	12.A.3
Reikalavimo aprašymas:	Vieno prietaiso vienos duomenų imties analizė neužtrunka ilgiau nei 10 minučių.
Tinkamumo kriterijus:	Vieno prietaiso vienos duomenų imties analizė vidutiniškai užtrunka 6,5 minutės.

### 3.3.4. Reikalavimai patikimumui ir pasiekiamumui

#### 3.14 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.D.1

Reikalavimo #:	12.D.1
Reikalavimo aprašymas:	Sistema turi veikti 99.9% viso veikimo laiko.

#### 3.15 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.F.1

Reikalavimo #:	12.F.1
Reikalavimo aprašymas:	Sistema prietaisų rodmenis turi saugoti ne ilgiau kaip 60 dienų.

#### 3.16 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 12.F.2

Reikalavimo #:	12.F.2
Reikalavimo aprašymas:	Duomenų analizei reikalinga vienos iteracijos imtis neturi viršyti 30 dienų sukauptos informacijos kiekio.

### 3.3.5. Reikalavimai veikimo sąlygoms

#### 3.17 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 13.B.1

Reikalavimo #:	13.B.1
Reikalavimo aprašymas:	Sistema turi pilnai funkcionuoti naujausiose naršyklėse.
Tinkamumo kriterijus:	Sistemos visas funkcionalumas veikia naudojant naršyklių Mozilla Firefox 30+ ir Google Chrome 36+ versijas.

### 3.3.6. Reikalavimai saugumui

#### 3.18 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 15.A.1

Reikalavimo #:	15.A.1
Reikalavimo aprašymas:	Sistema turi būti prieinama visam aptarnaujančiam personalui.
Tinkamumo kriterijus:	Bet kuris aptarnaujančio personalo darbuotojas gali naudotis sistema.

#### 3.19 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 15.E.1

Reikalavimo #:	15.E.1
Reikalavimo aprašymas:	Sistema turi būti atskirta nuo išorinio interneto tinklo – turi veikti intranete.

### 3.3.7. Kultūriniai-politiniai reikalavimai

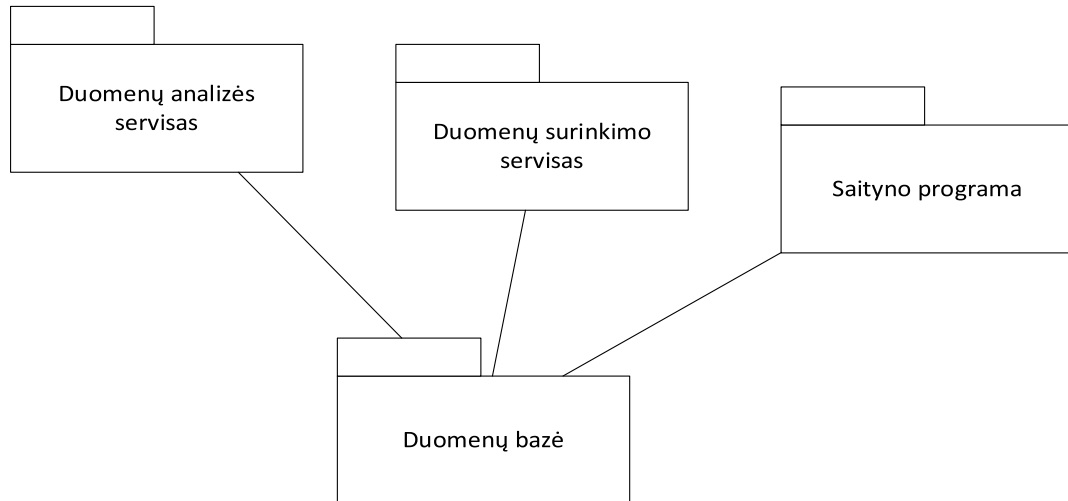
#### 3.20 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas 16.A.1

Reikalavimo #:	16.A.1
Reikalavimo aprašymas:	Vartotojo sąsaja turi būti anglų kalba.

### 3.4. Sistemos architektūros modelis

#### 3.4.1. Sistemos statinis vaizdas

Paveikslėlyje žemiau pateiktas *MTCConnect* duomenų surinkimo ir analizės sistemos, suskirstytos į paketus, vaizdas.

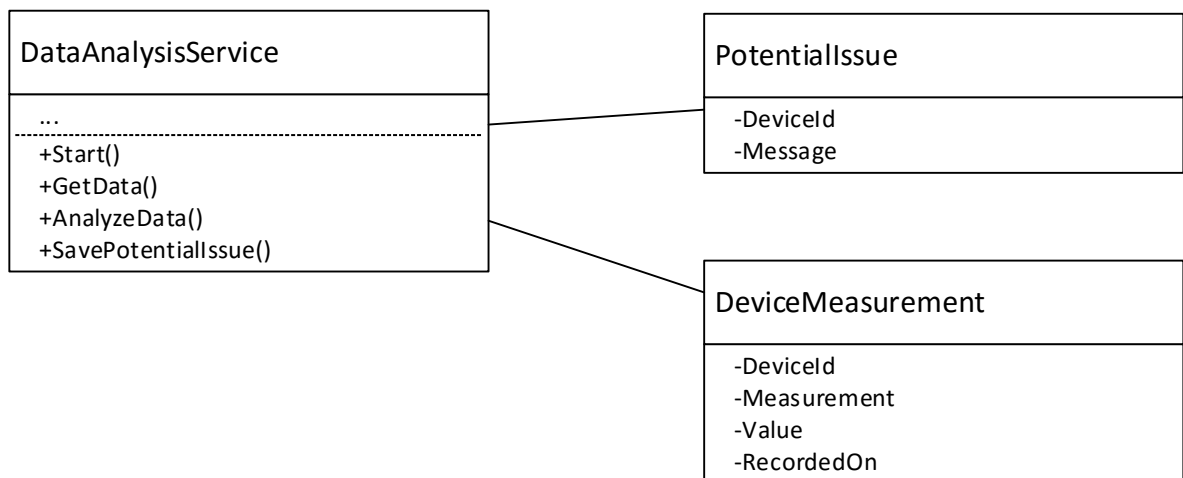


3.2 pav. Sistemos, suskirstytos į paketus, vaizdas

Kuriama sistema būtų galima išskaidyti į šiuos tarpusavyje tiesiogiai nekomunikuojančius paketus: duomenų analizės servisą, duomenų surinkimo servisą ir saityno programą. Paskiausioje dar papildomai bus naudojama 3 sluoksnių architektūra.

Kituose skyriuose kiekvienas paketas bus išnagrinėtas detaliau.

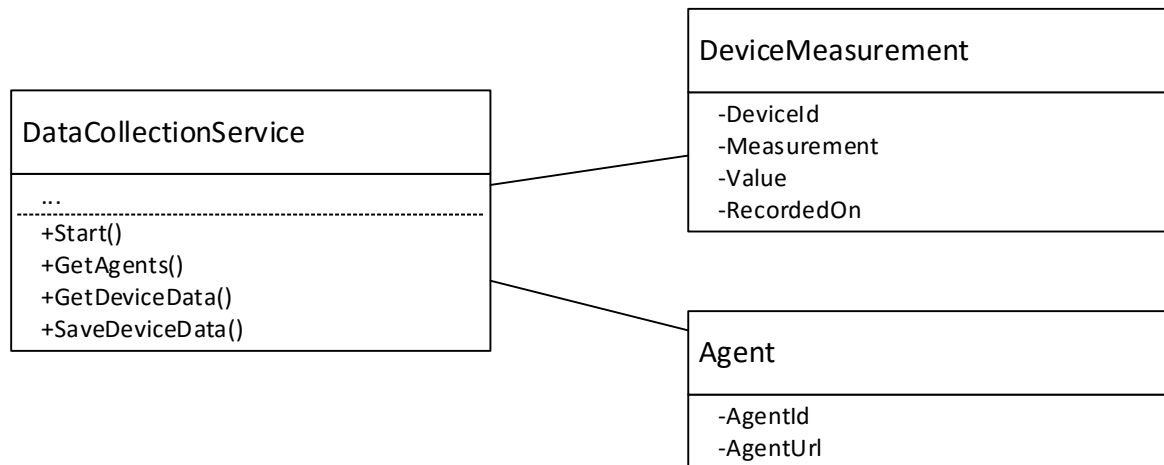
##### 3.4.1.1. Duomenų analizės servisas



3.3 pav. Duomenų analizės serviso klasių diagrama

Šis sistemos komponentas yra skirtas periodiškai analizuoti surinktus duomenis ir, aptikus potencialią problemą, ją išsaugoti duomenų bazėje, kad vėliau ji galėtų būti parodyta vartotojui.

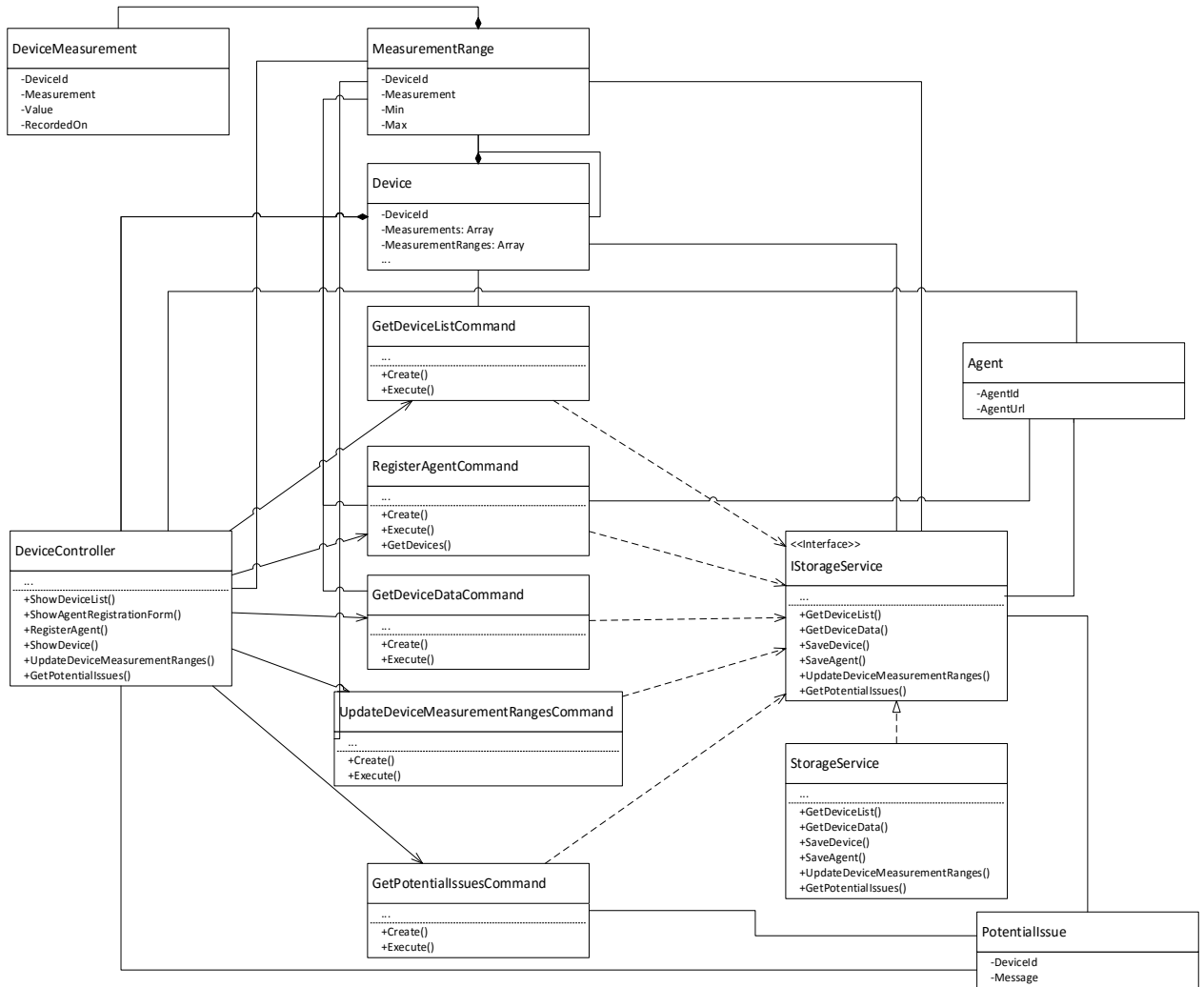
### 3.4.1.2. Duomenų surinkimo servisas



**3.4 pav.** Duomenų surinkimo serviso klasių diagrama

Šis sistemos komponentas yra skirtas periodiškai surinkti įrenginių rodmenis iš visų agenčių ir išsaugoti į duomenų bazę.

### 3.4.1.3. Saityno programa



3.5 pav. Saityno programos klasių diagrama

Saityno programa leidžia vartotojui naudojantis vartotojo sąsaja naudoti visu funkcionalumu, kuris apibrėžtas panaudojimo atvejais.

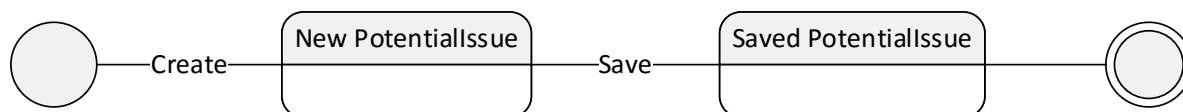
Kadangi bus naudojamas *C#.NET MVC* karkasas, tai automatiškai sugeneruotos klasės nėra įtrauktos į žemiau pateiktą klasių diagramą.

Taip pat bus naudojamas komandų projektavimo šablonas, kad būtų atskirtas funkcionalumas ir jį būtų galima patogiau testuoti.

### 3.4.2. Sistemos dinaminis vaizdas

Šiame skyriuje sąveikos ir būsenų specifikavimui yra pateikiamos esybių būsenų diagramos, sąveikos diagramos (bendradarbiavimo ir / arba sekų diagramos pavidalu) ir veiklos diagramos.

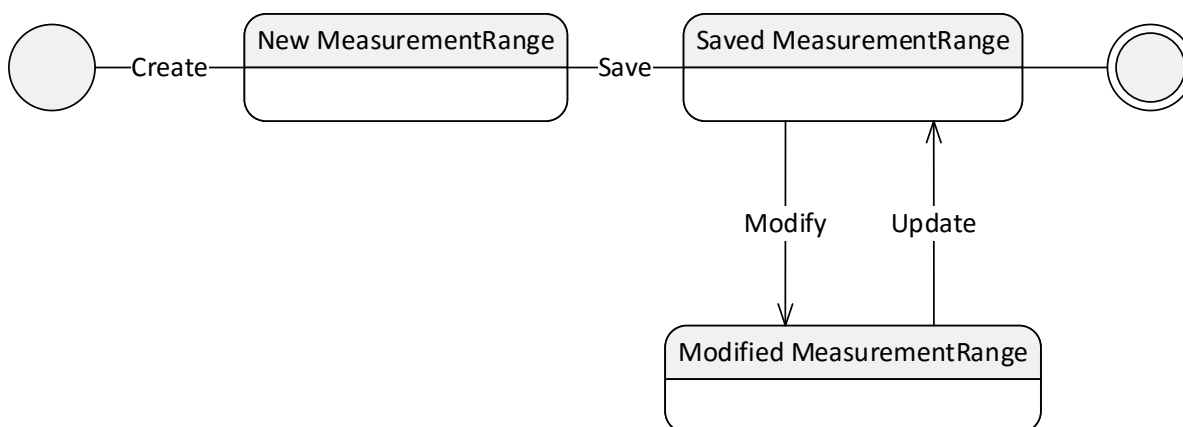
### 3.4.2.1. Būsenų diagramos



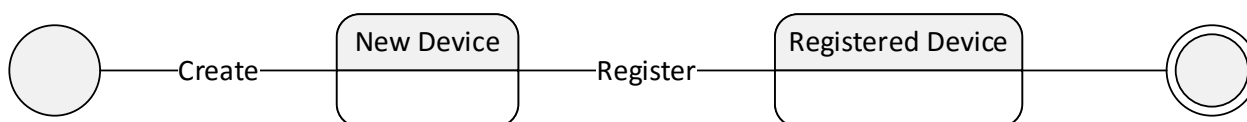
3.6 pav. *PotentialIssue* būsenos diagrama



3.7 pav. *Agent* būsenos diagrama

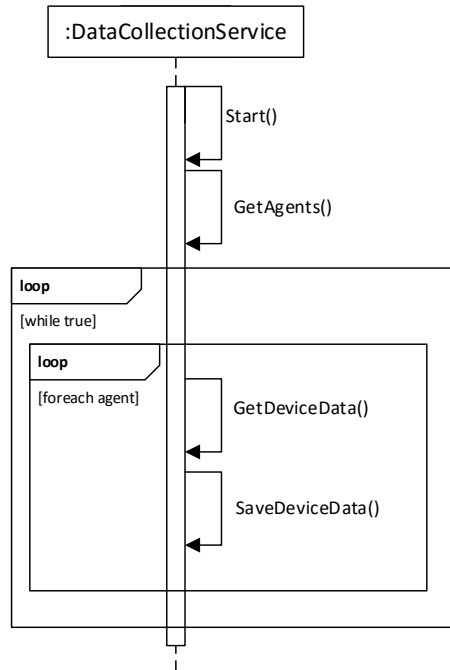


3.8 pav. *MeasurementRange* būsenos diagrama

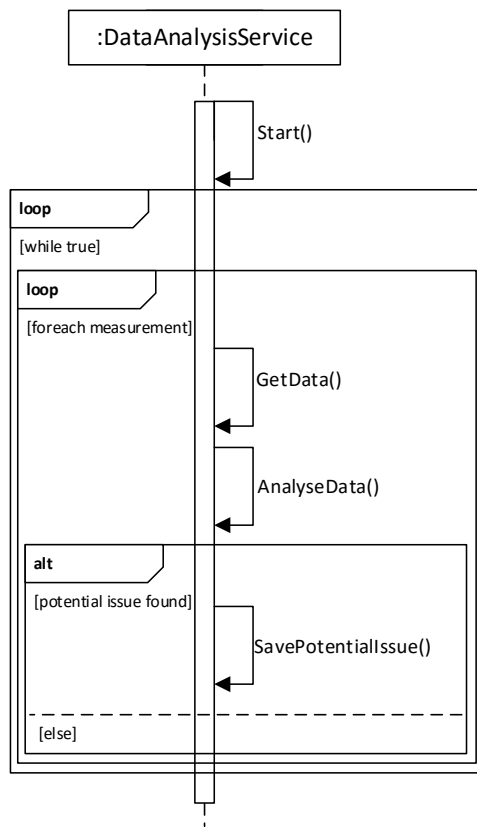


3.9 pav. *Device* būsenos diagrama

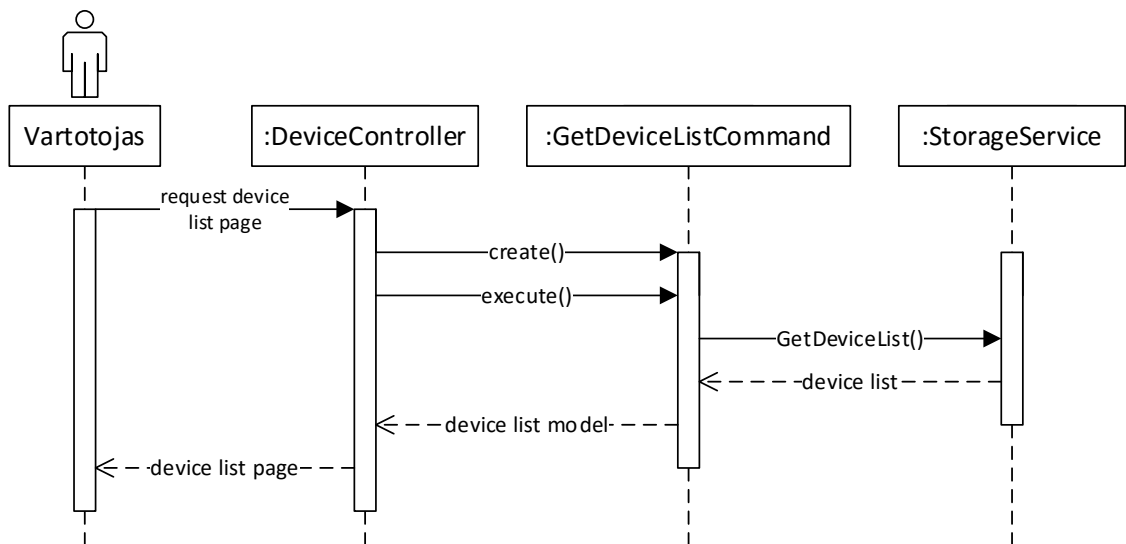
### 3.4.2.2. Sąveikos diagramos



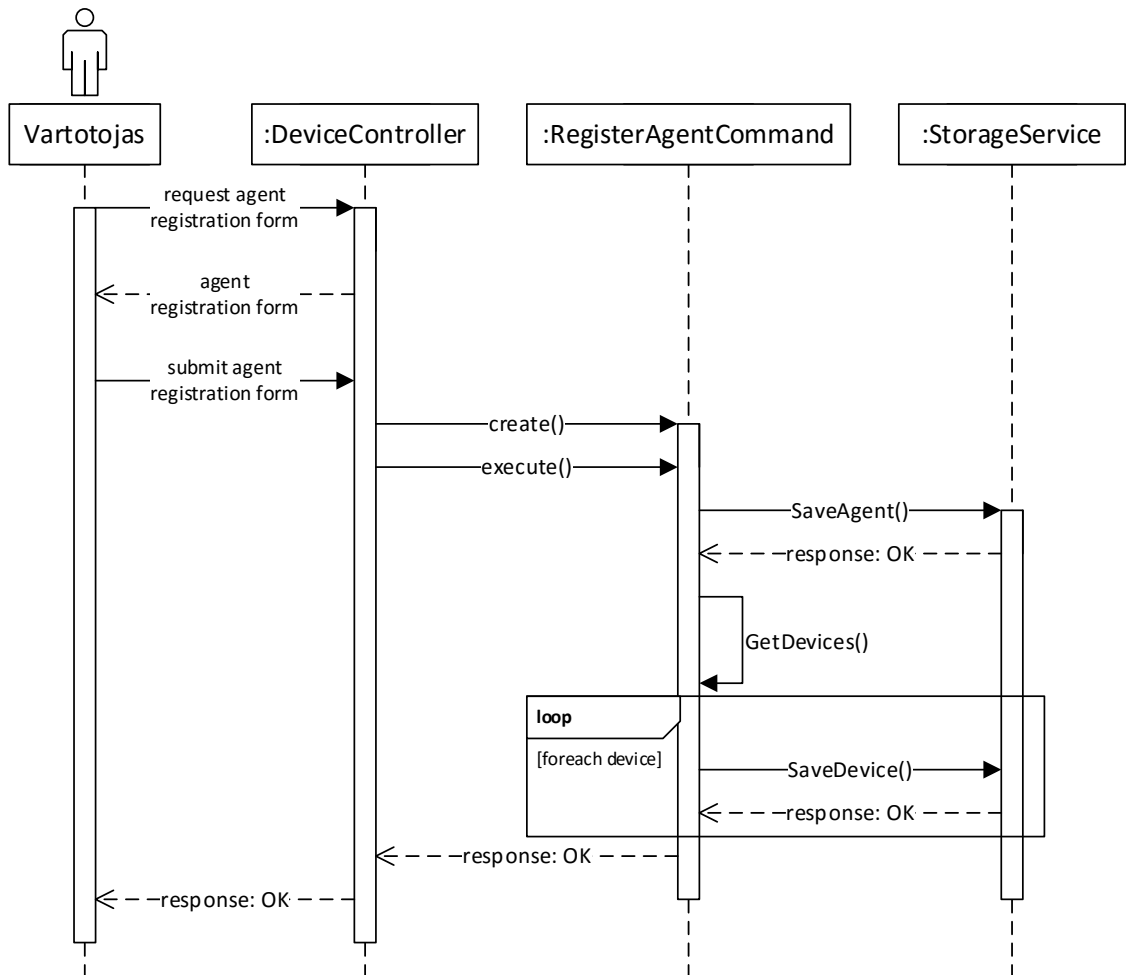
3.10 pav. Duomenų surinkimo sekų diagrama



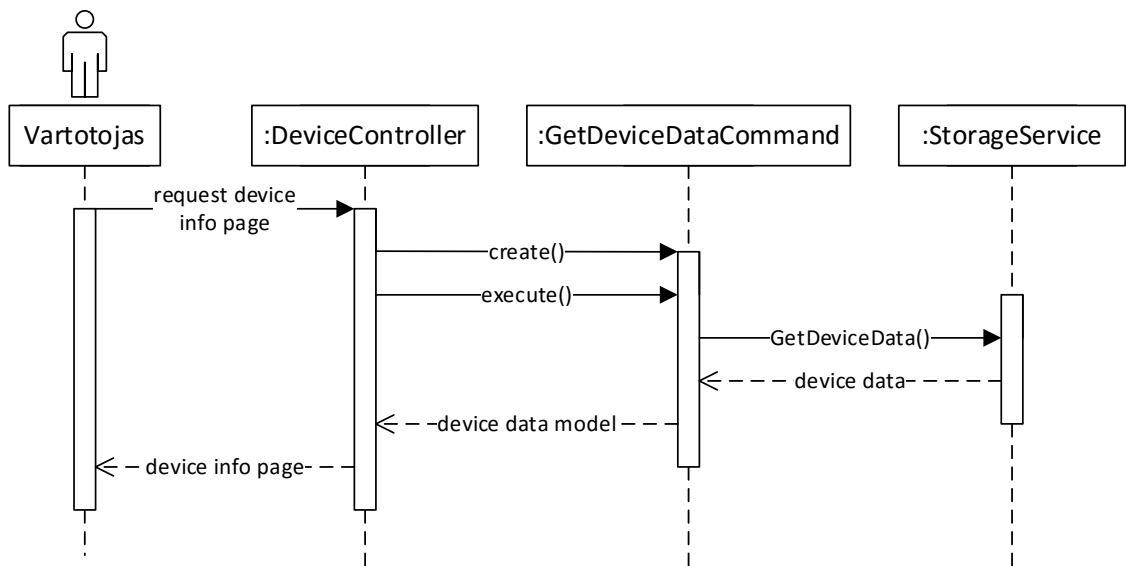
3.11 pav. Duomenų analizės sekų diagrama



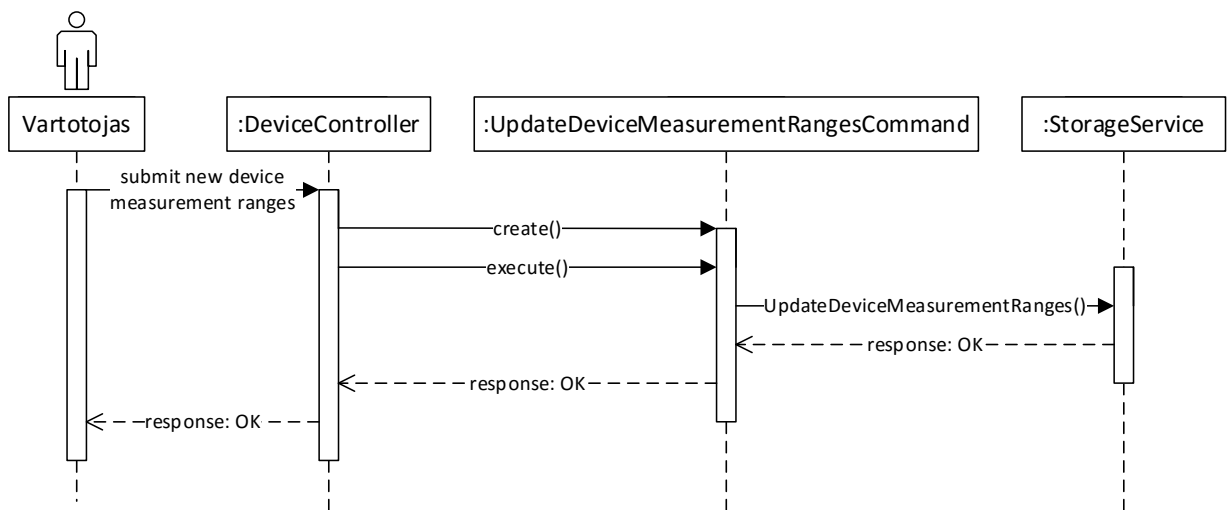
3.12 pav. Įrenginių sąrašo parodymo sekų diagrama



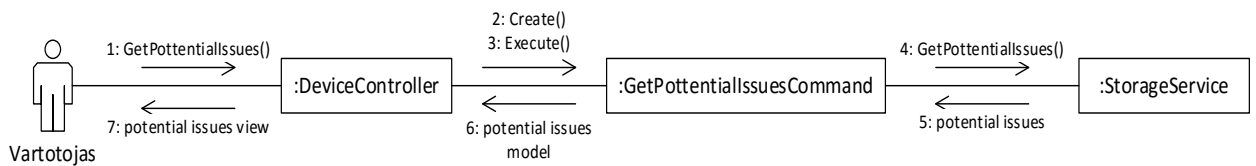
3.13 pav. Agentės ir prie jos prijungtų prietaisų registracijos sekų diagrama



3.14 pav. Įrenginio duomenų parodymo sekų diagrama



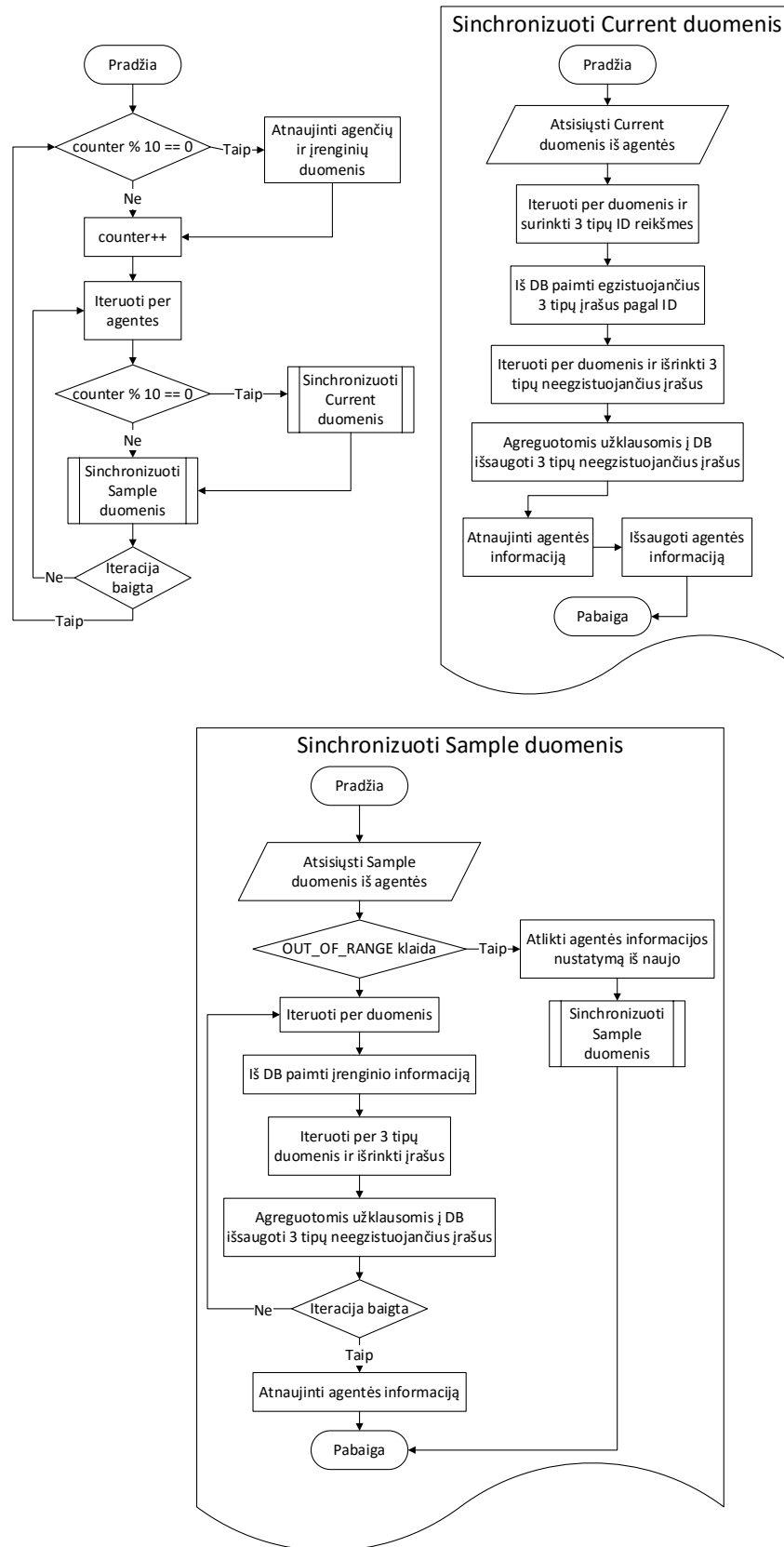
3.15 pav. Įrenginio kritinių parametų ribų keitimo sekų diagrama



3.16 pav. Potencialių įrenginio klaidų gavimo sekų diagrama



### 3.4.3. Veiklos diagramos



3.17 pav. Duomenų surinkimo veiklos diagrama



### **Kuriamos sistemos serveris**

Pradinėje versijoje planuojama visas kuriamos sistemos dalis (duomenų bazę, duomenų analizės servisą, duomenų surinkimo servisą ir saityno programą) laikyti viename serveryje. Serveryje turi būti įdiegta *Windows 8*, *Windows Server 2012* arba naujesnė operacinė sistema.

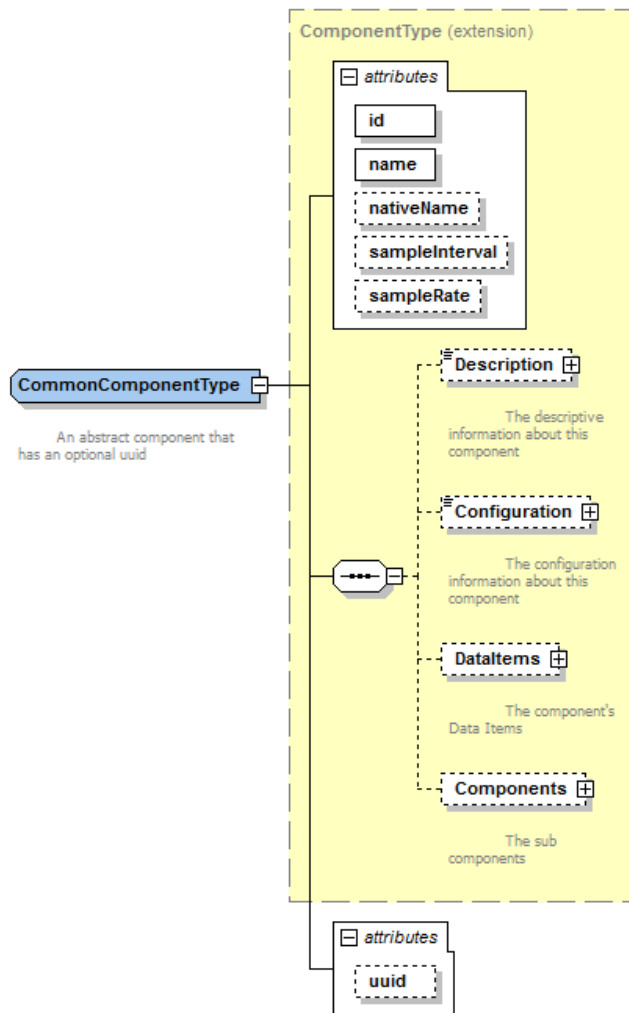
Serveris per intranetą gauna duomenis iš sistemoje užregistruotų *MTCConnect* agenčių. Viena agentė gali priimti duomenis iš vieno arba daugiau įrenginių. Jei įrenginys perduoda duomenis ne *MTCConnect* formatu, tai gali būti panaudotas *MTCConnect* adapteris duomenų konvertavimui.

### **Vartotojas**

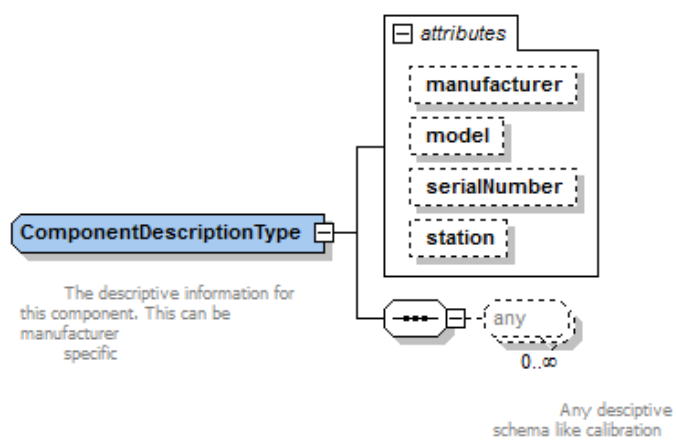
Vartotojai iš asmeninių kompiuterių per intranetą jungsis prie serverio, kad galėtų pasinaudoti kuriamu funkcionalumu. Tam tikslui jų kompiuteriuose turi būti įdiegtos *Mozilla Firefox 30+* ir / arba *Google Chrome 36+* naršyklės.

### **3.4.5. Duomenų vaizdas**

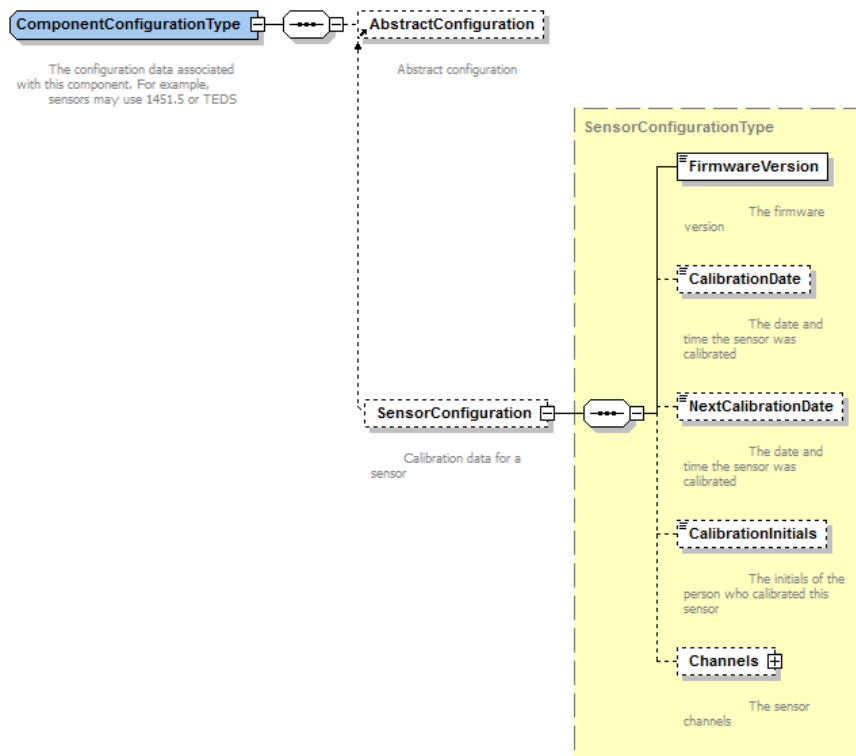
Kadangi nėra vienos diskrečiai apibrėžtos struktūros [17] ir bus naudojama *NoSQL* tipo duomenų bazė saugoti dokumentams, todėl žemiau yra pateikiamos atskirų sudėtinių tipų grafinės reprezentacijos.



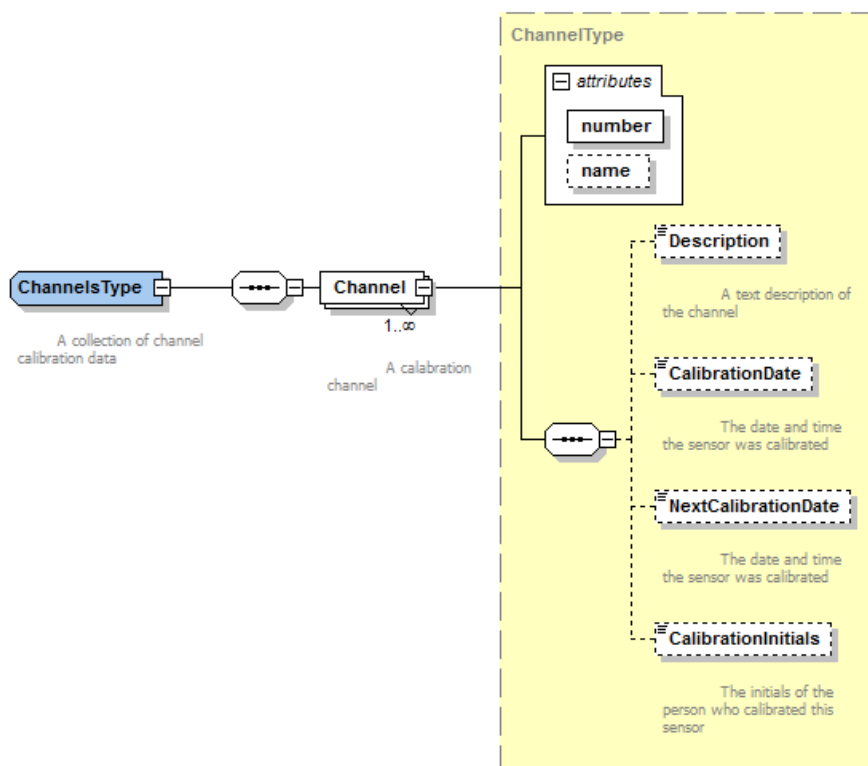
3.20 pav. *CommonComponentType* struktūra



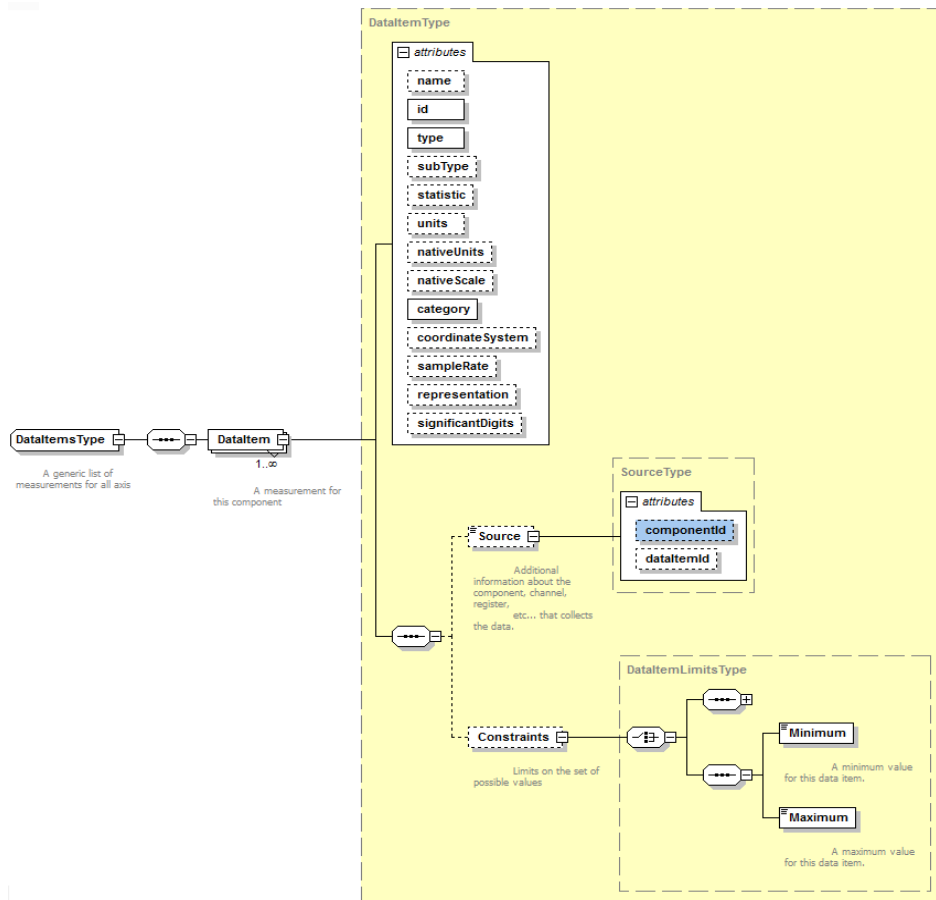
3.21 pav. *ComponentDescriptionType* struktūra



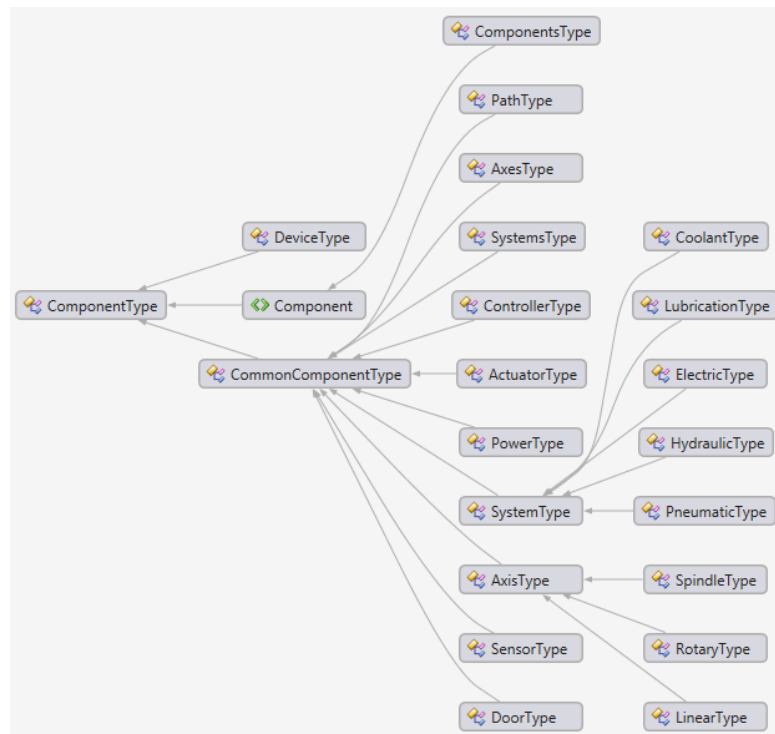
3.22 pav. *ComponentConfigurationType* struktūra



3.23 pav. *ChannelsType* struktūra



3.24 pav. *DataItemsType* struktūra



3.25 pav. *ComponentType* paveldinčios struktūros

### 3.5. Naudojamos technologijos

*C#.NET MVC* – saityno programos kūrimui.

*Elastic* – paieškai tarp didelių duomenų kiekių ir agregacijai.

*NEST* biblioteka – darbui su *Elastic*, aukšto lygio, *strongly typed*.

*Autofac dependency injection* – priklausomybių valdymui.

*Math.NET Numerics* biblioteka – algoritmai analizei.

## 4. *MTCCONNECT* DUOMENŲ SURINKIMO IR ANALIZĖS SISTEMOS TYRIMAI

### 4.1. Duomenų analizės tikslumas

Duomenų analizei sukurtas modulis nepertraukiamai analizuoja naujausius įrenginių rodmenis. Kadangi pagal standartą įrangos gedimai yra diskrečios būsenos, kurios gaunamos kartu su įrangos rodmenimis, todėl analizė buvo vykdoma lyginant  $n$  naujausių įrenginių rodmenų poaibį  $\{x_1, \dots, x_n\}$  su istorinių, buvusių prieš gedimus rodmenų poaibiu  $\{y_1, \dots, y_n\}$ , ir ieškant reikšmingos koreliacijos. Rodmenų panašumas yra laikomas reikšmingu, jei Pirsono koreliacijos koeficientas  $r$  (1) gaunamas ne mažesnis už 0.7 (statistiškai reikšmingas įvertis):

$$r = r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Viena analizės iteracija apima vieno įrenginio naujausių rodmenų lyginimą su tokios pačios imties istoriniais rodmenimis, kurie buvo gauti prieš visus to prietaiso gedimus. Analizės metu yra ieškoma ir reikšmingų duomenų panašumų ir anomalijų. Be to, kuriama sistema aptiktus potencialius gedimus išsaugo duomenų bazėje. Tuo metu saityno programa juos pateikia (kas sekundę atnaujina rodmenis ir potencialių gedimų sąrašą) įrenginius aptarnaujančiam personalui, nes jie tuo metu įvertina realią situaciją ir priima sprendimą, ką toliau daryti.

Konkretus pavyzdys: yra įrenginys su dviem nepriklausomais komponentais A ir B (pirmojo darbinė temperatūra yra žymiai didesnė už antrojo). Kažkuriuo laiko momentu B komponentas perkaista ir yra pakeičiamas nauju. Tačiau pakeitus jis vėl kaista. Šiuo atveju siūloma sistema užfiksuos, kad yra reikšminga koreliacija tarp B temperatūros didėjimo ir A temperatūros, ir praneš aptarnaujančiam personalui. Patikrinus įrenginį gali paaiškėti, kad buvo pažeista izoliacinė medžiaga tarp A ir B komponentų.

Šitaip analizuojant visus nebūtinai tarpusavyje susijusius duomenis tam tikrose laiko atkarpose nėra garantuojamas priežastinis ryšys. 1965 metais britų medicinos statistikas Austinas

Bradfordas Hillas pateikė 9 iki šiol plačiai cituojamus minimalius kriterijus šio ryšio buvimui nustatyti. Sukurtos sistemos analizės algoritmas užtikrina tik keletą iš jų [17]:

- Stiprumas (angl. *strength*) – algoritme naudojamas koreliacijos koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,7.
- Pastovumas (angl. *consistency*) – algoritmas lygina su prieš gedimą buvusiais rodmenimis, nes jie yra potencialūs priežasties požymiai.
- Specifiškumas (angl. *specificity*) – daroma prielaida, kad įrenginiai teikia visus įmanomus savo rodmenis.

Bet tai nėra laikoma didėle problema šioje sistemoje, nes tai leidžia aptikti anomalijas, ir galutinį sprendimą priima aptarnaujantis personalas, kuris, remdamasis savo dalykinės srities žiniomis, gali patvirtinti arba paneigti kelis kitus A. B. Hillo kriterijus (tikėtinumą, koherentiškumą, analogiją).

Kitas aptiktas keblumas yra tai, pramonės įmonėms ne visada pakanka vien tik *MTCConnect* standarte apibrėžtų duomenų, todėl jos pasinaudoja išplečiamumo galimybėmis ir apsibrėžia savo įrenginiams pritaikytus duomenis. Dėl šios priežasties atsiranda galimybė, kad sukurta sistema nesugebės analizuoti visų įmanomų duomenų, nes ji remiasi tik *MTCConnect* specifikacija.

Atsižvelgus į aukščiau išdėstytas priežastis, šiuo metu nėra planuojama atlikti eksperimentų įvertinti tikslumą.

## 4.2. Duomenų kaupimas ir analizė

Pradinė sistemos versija (V1) buvo sukurta kaupiant visus gaunamus *MTCConnect* standarto duomenis. Ji buvo testuojama naudojant oficialų testavimo įrenginį, kurio agentė pasiekiami adresu <http://agent.mtconnect.org>. Sistema buvo įdiegta į nešiojamąjį kompiuterį *Acer Aspire V3 (MS Windows 10, Intel Core i7 4702MQ, 16 GB RAM, 1 TB HDD)*. Per apytiksliai 4 valandas iš įrenginio buvo surinkta apie 3 mln. duomenų ir *Elastic* indekso dydis buvo apie 1 GB.

Pirminio bandymo metu sistemoje buvo užregistruoti 48 gedimai, buvo analizuojama 15 minučių duomenų imtis. Dėl to iš duomenų bazės buvo paimti 188627 naujausių rodmenų įrašai ir 5560104 istorinių rodmenų įrašai. Viena šios analizės iteracija užtruko 6 min. 45 sek. (4.1 lentelė).

### 4.1 lentelė. Pirminio duomenų analizės bandymo rezultatai

Analizavimo intervalas	15 min.
Praeities gedimų, su kuriais lyginama, skaičius	48
Naujausių rodmenų kiekis	188627
Bendras iš duomenų bazės paimtų istorinių rodmenų kiekis	5560104
Vienos iteracijos vienam įrenginiui trukmė	6 min. 45 sek.
Sunaudota darbinės atminties	Iki 1,8 GB RAM



Tačiau esant tokiai nedidelei imčiai vykdymo trukmė yra per ilga (nepraktiška). Tai galimai atsitiko dėl duomenų formato, perteklinio duomenų kiekio. Be to, visi trys sistemos moduliai veikė viename fiziniame kompiuteryje, apkrovė procesorių ir nepakako standartinio aušinimo – todėl kompiuteris per daug įkaito ir viso kompiuterio greیتaveika sumažėjo.

Dėl šių priežasčių ketinama atlikti šiuos patobulinimus:

- Kadangi kai kurių įrenginių komponentų analizuojami duomenys keičiasi daugiau nei kelis kartus per sekundę, todėl yra planuojama agreguoti duomenis sekundės intervalais darant prielaidą, kad nebus nepastebėti reikšmingi duomenų pasikeitimai.  
Šiam pakeitimui planuojama sukurti atskirą duomenų agregavimo servisą, nes šį funkcionalumą būtų neracionalu integruoti į duomenų surinkimo servisą, kadangi tai lėtintų duomenų surinkimą ir dėl nepilnų naujausių duomenų intervalų labai padidėtų algoritmo sudėtingumas.
- Kadangi sistema saugo visą gautą informaciją ir rodmenų objektas turi įvairių perteklinių duomenų, todėl planuojama analizei naudoti minimizuotą rodmenų objekto struktūrą (4.2 lentelė).
- Kadangi tarp kaupiamų duomenų yra tekstinių reikšmių, bet sukurta sistema gali analizuoti tik skaičius, todėl planuojama vykdyti fiksuotų tekstinių reikšmių aibių konversiją į skaitines reikšmes.
- Kadangi visi dabartiniai duomenys yra laikomi viename *Elastic* indekse, todėl jis tampa apkrautas ir praranda dalį našumo. Planuojama duomenų analizei naudoti atskirą indeksą, kuriame bus saugomi rodmenys.

**4.2 lentelė.** Agreguotų duomenų objekto struktūra

Laukas	Tipas	Aprašymas
Id	string	Unikalus įrašo kodas.
MtDeviceId	string	Unikalus įrenginio kodas.
MtComponentId	string	Unikalus įrenginio komponento kodas.
MtDataItemId	string	Unikalus įrenginio komponento duomens kodas.
TimeStamp	DateTime	Duomens surinkimo laikas.
Value	double	Duomens reikšmė.

Atlikus aukščiau aprašytus sistemos pakeitimus bus vykdomas eksperimentas siekiant nustatyti sistemos veikimo charakteristikų pasikeitimus. Planuojama, kad našumas padidės bent du kartus.

## 5. MTCONNECT DUOMENŲ SURINKIMO IR ANALIZĖS SISTEMOS EKSPERIMENTINĖ DALIS

### 5.1. Duomenų surinkimo modulio charakteristikų tyrimas

#### 5.1.1. Tyrimo eiga

Tyrimui buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris *Acer Aspire V3 (MS Windows 10, Intel Core i7 4702MQ, 16 GB RAM, 1 TB HDD)* su įdiegta patobulintos sistemos versija. Prieš pradedant eksperimentą duomenų bazėje buvo užregistruotas 1 įrenginys (konfigūracija pateikta 1 priede). Tyrimo metu buvo skaičiuojamas sukauptas duomenų kiekis ir dydis, analizei reikalingų agreguotų duomenų kiekis ir dydis. Šios charakteristikos reikšmės buvo įvertinamos duomenų surinkimo pradžioje ir praėjus 1 min., 5 min., 10 min., 30 min., 1 val., 1 val. 30 min., 2 val., 2 val. 30 min., 3 val. nuo pradžios.

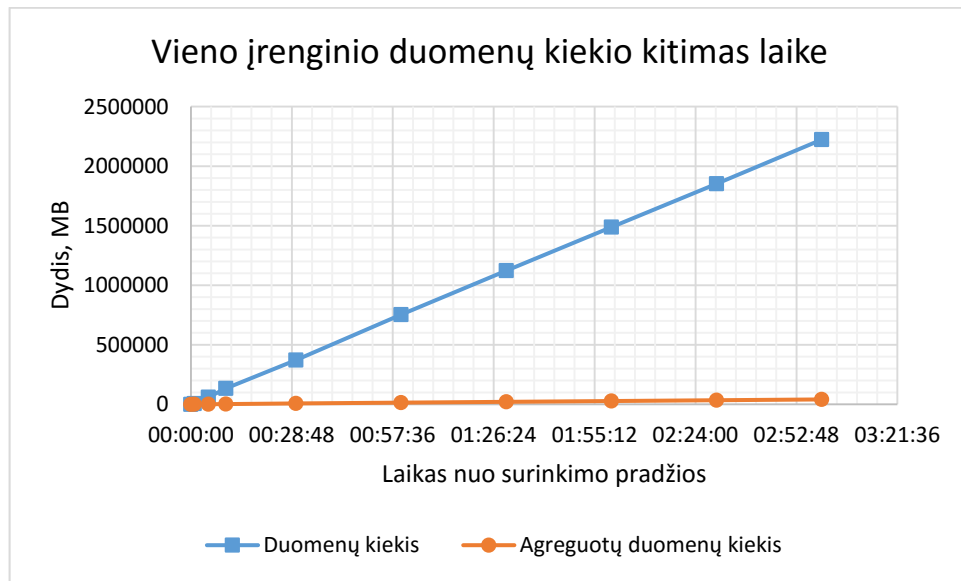
#### 5.1.2. Tyrimo rezultatai

5.1 lentelė. Duomenų surinkimo modulio charakteristikų tyrimo rezultatai

Laikas nuo pradžios, HH:MM	00:00	00:01	00:05	00:10	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30	03:00
Duomenų kiekis	0	6555	59609	133088	371843	753619	1123068	1487959	1852948	2223674
Duomenų dydis, MB	0,00	2,40	19,20	46,20	118,00	260,10	366,60	481,70	602,80	709,70
Agreguotų duomenų kiekis	0	141	1033	2345	6772	13763	20528	27167	33831	40555
Agreguotų duomenų dydis, MB	0,00	0,07	0,23	0,35	0,82	3,20	5,00	5,90	7,30	8,70

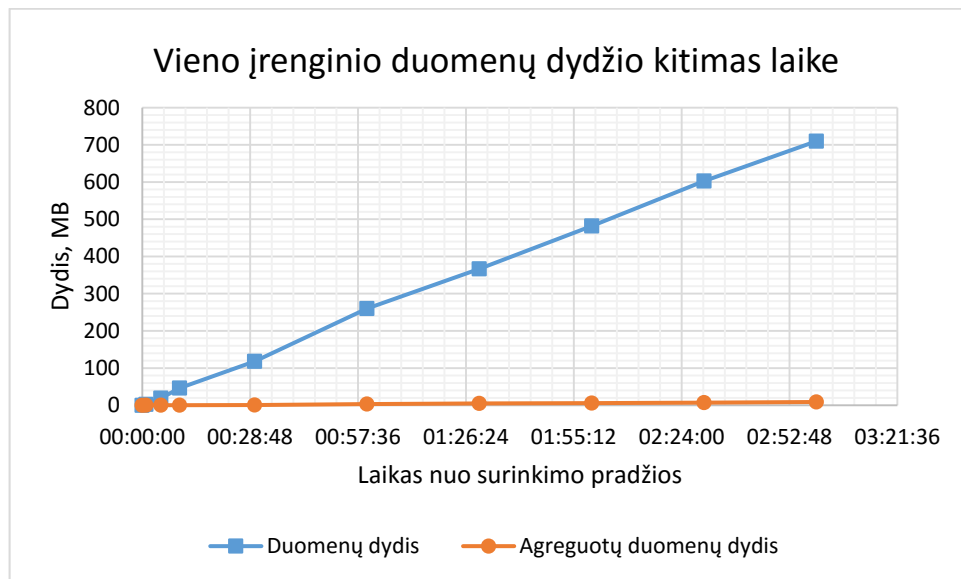
5.2 lentelė. Duomenų surinkimo modulio charakteristikų tyrimo rezultatų palyginimas

Laikas nuo pradžios, HH:MM	00:01	00:05	00:10	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30	03:00	Vidurkis
Duomenų kiekių santykis	46	58	57	55	55	55	55	55	55	54
Duomenų dydžių santykis	35	82	133	144	81	73	82	83	82	88



**5.1 pav.** Vieno įrenginio duomenų kiekio kitimas laike

5.1 pav. pateiktas vieno įrenginio duomenų kiekio kitimas laike eksperimento metu. Grafike pavaizduotos neapdoroto duomenų kiekio ir agreguoto duomenų kiekio kitimo kreivės. Matome, kad duomenų kiekis greitai monotoniškai didėja, kai tuo tarpu agreguotų duomenų kiekis didėja santykinai labai mažai. Per 3 valandas eksperimento metu buvo sukaupta 2223674 įrenginio rodmenų įrašų ir iš jų sugeneruota 33831 agreguotų rodmenų įrašų.



**5.2 pav.** Vieno įrenginio duomenų dydžio kitimas laike

5.2 pav. pateiktas vieno įrenginio duomenų dydžio kitimas laike eksperimento metu. Grafike pavaizduotos neapdoroto duomenų dydžio ir agreguoto duomenų dydžio kitimo kreivės. Matome, kad duomenų dydis greitai monotoniškai didėja, kai tuo tarpu agreguotų duomenų dydis

didėja santykinai labai mažai. Per 3 valandas eksperimento metu buvo sukaupta 709,70 MB įrenginio rodmenų įrašų, o iš jų sugeneruota 8,70 MB agreguotų rodmenų įrašų.

## **5.2. Duomenų analizės modulio charakteristikų tyrimas**

### **5.2.1. Tyrimo eiga**

Tyrimui buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris *Acer Aspire V3 (MS Windows 10, Intel Core i7 4702MQ, 16 GB RAM, 1 TB HDD)* su įdiegtomis pradine (V1) ir patobulinta (V2) sistemos versijomis. Papildomai buvo prijungtas išorinis aušintuvas *Hama Maxi Notebook Cooler*. Prieš pradėdant eksperimentą duomenų bazėje buvo užregistruotas 1 įrenginys (konfigūracija pateikta 1 priede) ir buvo kaupiami duomenys ne mažiau kaip 3 valandas. Taip pat buvo sugeneruota 10 istorinių gedimų.

Tyrimo metu buvo keičiamas duomenų imties intervalas (30 sek., 1 min., 5 min., 15 min., 30 min., 1 val., 1 val. 30 min., 2 val., 2 val. 30 min., 3 val.) ir skaičiuojami iš duomenų bazės paimti naujausių rodmenų bei istorinių rodmenų kiekiai analizei. Taip pat buvo matuojama vienos analizės iteracijos trukmė priklausomai nuo parinkto duomenų imties intervalo. Eksperimentas buvo atskirai atliekamas su V1 ir V2 sistemos versijomis.

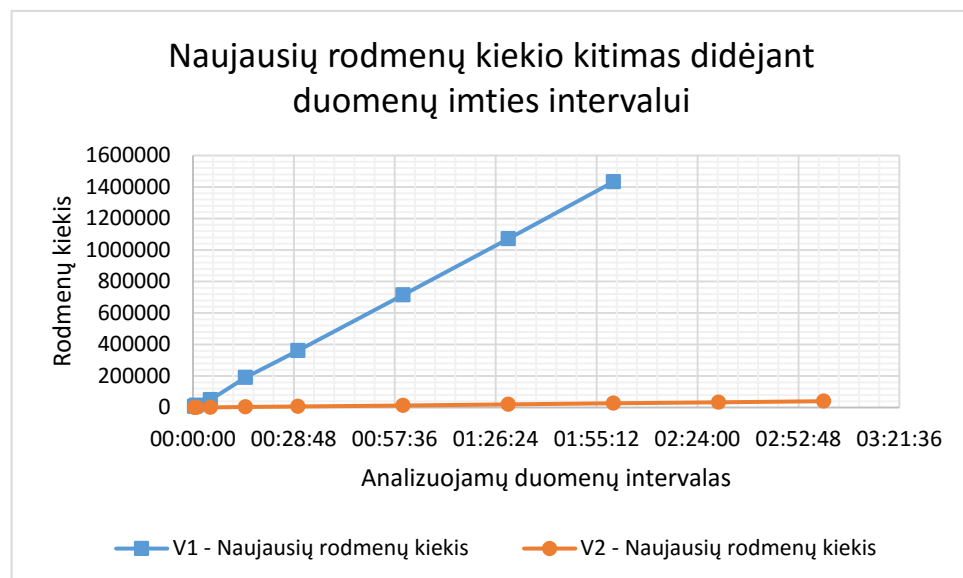
## 5.2.2. Tyrimo rezultatai

5.3 lentelė. Duomenų analizės modulio charakteristikų tyrimo rezultatai

Intervalas, HH:MM:SS	00:00:30	00:01:00	00:05:00	00:15:00	00:30:00	01:00:00	01:30:00	02:00:00	02:30:00	03:00:00
V1 - Naujausių rodmenų kiekis	7305	14166	49440	190486	360989	715160	1071609	1432156		
V1 - Istorinių rodmenų kiekis	90	90	402506	1743298	3336747	6162003	8318917	9838592		
V1 - Analizės trukmė, HH:MM:SS	00:00:05	00:00:04	00:00:34	00:02:18	00:04:32	00:08:17	00:12:45	00:27:14		
V2 - Naujausių rodmenų kiekis	1	287	961	3540	6750	13404	20043	26799	33794	40550
V2 - Istorinių rodmenų kiekis	100	100	8192	32963	63242	116225	156811	185128	202001	205347
V2 - Analizės trukmė, HH:MM:SS	00:00:01	00:00:00	00:00:01	00:00:02	00:00:04	00:00:06	00:00:08	00:00:10	00:00:11	00:00:11

5.4 lentelė. Duomenų analizės modulio charakteristikų tyrimo rezultatų palyginimas

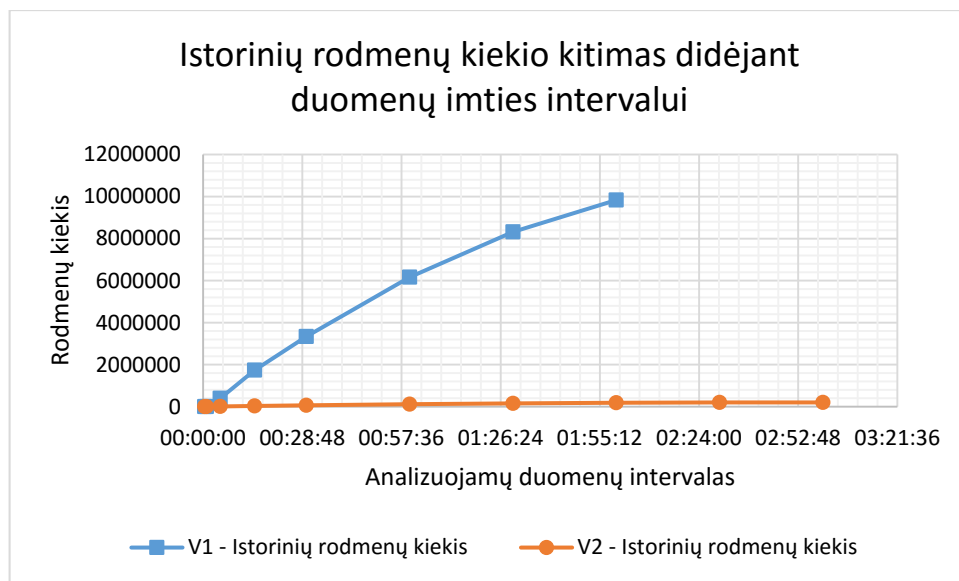
Intervalas, HH:MM	00:01	00:05	00:15	00:30	01:00	01:30	Vidurkis
Naujausių rodmenų kiekių santykis	49	51	54	53	53	53	52
Istorinių rodmenų kiekių santykis	1	49	53	53	53	53	44
Analizės trukmių santykis	9	37	73	74	80	91	61



**5.3 pav.** Naujausių rodmenų kiekio kitimas didėjant duomenų imties intervalui

5.3 pav. pateiktas naujausių rodmenų kiekio kitimas didėjant duomenų imties intervalui eksperimento metu. Grafike pavaizduotos V1 ir V2 sistemos versijų panaudotų naujausių rodmenų kiekio kitimo kreivės. Matome, kad V1 versijos sunaudotas naujausių rodmenų kiekis greitai monotoniškai didėja, kai tuo tarpu V1 versijos sunaudotas naujausių rodmenų kiekis auga santykinai labai lėtai. Analizuojant 2 valandų duomenų imtį V1 versija iš duomenų bazės paėmė 1432156 naujausius rodmenis, o V2 versija tik 26799.

V1 versijos eksperimentą teko nutraukti pasiekus 2 valandų duomenų imtį, nes buvo pasiektas sunaudojamas darbinės atminties limitas kompiuteryje: *Elastic* procesas sunaudodavo iki 5 GB RAM, o analizės servisas iki 11 GB RAM.

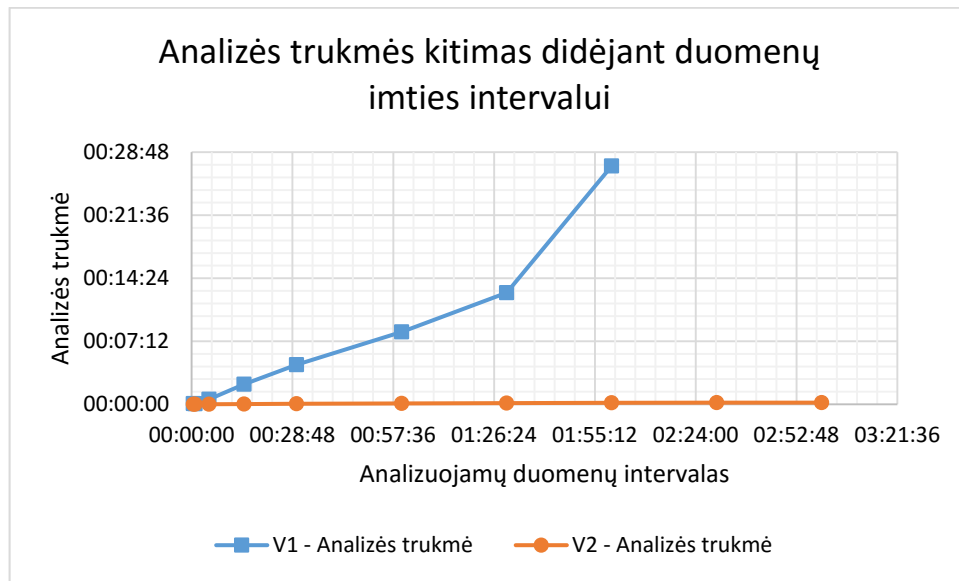


**5.4 pav.** Istorinių rodmenų kiekio kitimas didėjant duomenų imties intervalui

5.4 pav. pateiktas istorinių rodmenų kiekio kitimas didėjant duomenų imties intervalui eksperimento metu. Grafike pavaizduotos V1 ir V2 sistemos versijų panaudotų istorinių rodmenų kiekio kitimo kreivės. Matome, kad V1 versijos sunaudotas istorinių rodmenų kiekis greitai monotoniškai didėja, kai tuo tarpu V1 versijos sunaudotas istorinių rodmenų kiekis auga santykinai labai lėtai. Analizuojant 2 valandų duomenų imtį V1 versija iš duomenų bazės paėmė 9838592 istorinius rodmenis, o V2 versija tik 185128.

V1 versijos eksperimentą teko nutraukti pasiekus 2 valandų duomenų imtį, nes buvo pasiektas sunaudojamas darbinės atminties limitas kompiuteryje: *Elastic* procesas sunaudodavo iki 5 GB RAM, o analizės servisas iki 11 GB RAM.

Grafike matomas V1 sistemos versijos kreivės augimo sulėtėjimas, nes duomenų bazėje nebuvo pakankamai duomenų.



**5.5 pav.** Analizės trukmės kitimas didėjant duomenų imties intervalui

5.5 pav. pateiktas analizės trukmės kitimas didėjant duomenų imties intervalui eksperimento metu. Grafike pavaizduotos V1 ir V2 sistemos versijų duomenų analizės trukmės kitimo kreivės. Matome, kad V1 versijos analizės proceso trukmė greitai monotoniškai didėja, kai tuo tarpu V1 versijos analizės proceso trukmė ilgėja santykinai labai lėtai. Analizuojant 2 valandų duomenų imtį V1 versija užtruko 27 min. 14 sek., o V2 versija tik 10 sek.

V1 versijos eksperimentą teko nutraukti pasiekus 2 valandų duomenų imtį, nes buvo pasiektas sunaudojamas darbinės atminties limitas kompiuteryje: *Elastic* procesas sunaudodavo iki 5 GB RAM, o analizės servisas iki 11 GB RAM.

Grafike matomas V1 sistemos versijos kreivės staigus augimo padidėjimas esant 2 valandų duomenų imčiai, nes pasiekus darbinės atminties limitą operacinė sistema pradėjo naudoti sukeitimų failą (angl. *swap file*) kietajame diske.

## 6. IŠVADOS

Šiame darbe buvo:

1. Išanalizuota *MTCConnect* standarto specifikacija, pasirinktas duomenų surinkimo būdas, įvertinti potencialūs *MTCConnect* duomenų surinkimo ir analizės sprendimo iššūkiai.
2. Išanalizuoti ir palyginti egzistuojantys *MTCConnect* panaudojimo būdai.
3. Suprojektuota ir realizuota *MTCConnect* duomenų surinkimo ir analizės, kurios pagalba yra surenkami ir kaupiami įrenginių rodmenys, kurie vėliau yra analizuojami siekiant nuspėti pasikartojančius gedimus.

4. Iširta įgyvendinta sistema ir pasiūlyti bei atlikti patobulinimai.
5. Atlikti eksperimentai sistemos veikimo charakteristikų nustatymui.

Atlikus eksperimentus galima teigti, kad:

1. Sukurtos sistemos kaupiamų *MTCConnect* duomenų kiekiai ir dydžiai monotoniškai tiesiškai didėja laiko atžvilgiu ir tiesiogiai priklauso nuo įrenginių kiekio.
2. Iš 5.2 lentelės matome, kad, atlikus sistemos patobulinimus, analizei reikalingų duomenų kiekis (agreguotas) vidutiniškai sumažėjo 54 kartais, o jų dydis 88 kartus.
3. Sukurtos sistemos analizei sunaudotų naujausių ir istorinių rodmenų kiekis bei analizės trukmė monotoniškai tiesiškai didėja analizuojamų duomenų imties intervalo atžvilgiu ir tiesiogiai priklauso nuo įrenginių bei istorinių gedimų kiekių.
4. 5.4 lentelės matome, kad, atlikus sistemos patobulinimus, sunaudojamų naujausių rodmenų kiekis sumažėjo 52 kartais, sunaudojamų istorinių rodmenų kiekis sumažėjo 44 kartais, o analizė pagreitėjo 61 kartą.
5. Įvertinus aukščiau išvardytus punktus galima teigti, kad, patobulinus duomenų panašumų skaičiavimus ir atliktus keletą papildomų tyrimų, sukurtą sistemą būtų galima panaudoti praktiškai.

## 7. LITERATŪRA

- [1] W. Sobel, „MTCConnect® Standard. Part 1 - Overview and Protocol,“ MTCConnect Institute, 30 9 2014. [Tinkle]. Available: [http://static1.squarespace.com/static/54011775e4b0bc1fe0fb8494/t/557f2897e4b04b2acdba80b5/1434396823825/mtc\\_part\\_1\\_overview\\_v1.3.pdf](http://static1.squarespace.com/static/54011775e4b0bc1fe0fb8494/t/557f2897e4b04b2acdba80b5/1434396823825/mtc_part_1_overview_v1.3.pdf). [Kreiptasi 25 02 2016].
- [2] „MTCConnect Standard,“ MTCConnect Institute, [Tinkle]. Available: <http://www.mtconnect.org/standard>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [3] Nelson Baxter, Heather De Jesús, „Remote Machinery Monitoring – a Developing Industry,“ 5 2008. [Tinkle]. Available: <http://sandv.com/downloads/0805bax2.pdf>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [4] D. Edstrom, „MTCConnect: To Measure Is To Know,“ Virtual Photons Electronics, 2013. [Tinkle]. Available: <https://books.google.lt/books?id=Nz4rhrknzR0C>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [5] „Getting Started with MTCConnect. Connectivity Guide,“ AMT – The Association For Manufacturing Technology, 2011. [Tinkle]. Available: <https://static1.squarespace.com/static/54011775e4b0bc1fe0fb8494/t/55a93d00e4b03e1c028d77fb/1437154560450/Getting+Started+with+MTCConnect+-+FINAL.pdf>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [6] „MTCConnect Challenge,“ U.S. Department of Defense, 2013. [Tinkle]. Available: <https://www.dodmantech.com/Initiatives/MTCConnect>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [7] J. Finn, „Integration with Microsoft Visio,“ International TechneGroup Incorporated, 29 4 2013. [Tinkle]. Available: [http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip\\_files/production/8102/zip\\_files/MTCConnectResponse-ITI.pdf](http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip_files/production/8102/zip_files/MTCConnectResponse-ITI.pdf). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [8] V. Pezzullo, „Monitoring and Control of Chatter Conditions with MTCConnect,“ Clemson University, 31 5 2013. [Tinkle]. Available:



- [http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip\\_files/production/8428/zip\\_files/MTConnect\\_Challenge\\_\\_1\\_Valerie\\_Pezzullo.pdf](http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip_files/production/8428/zip_files/MTConnect_Challenge__1_Valerie_Pezzullo.pdf). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [9] R. Sivalingam, „Google Glass and the 4th Industrial Revolution,“ 1 9 2014. [Tinkle]. Available: <http://www.academia.edu/8306128/>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [10] Byeong Eon Lee; John L. Michaloski; Frederick M. Proctor; Sid Venkatesh; Nils Bengtsson, „MTConnect-Based Kaizen for Machine Tool Processes,“ Computers and Information in Engineering Conference, 15 8 2010. [Tinkle]. Available: [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=905591](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=905591). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [11] Vijayaraghavan, Athulan; Sobel, Will; Fox, Armando; Dornfeld, David; & Warndorf, Paul, „Improving Machine Tool Interoperability Using Standardized Interface Protocols: MT Connect,“ UC Berkeley: Laboratory for Manufacturing and Sustainability, 23 6 2008. [Tinkle]. Available: <http://escholarship.org/uc/item/4zs976kx>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [12] Sri Atluru, Amit Deshpande, „Statistical Process Monitoring With MTConnect,“ Proceedings of the ASME 2012 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 4 7 2012. [Tinkle]. Available: [http://www.researchgate.net/publication/254201445\\_STATISTICAL\\_PROCESS\\_MONITORING\\_WITH\\_MTCONNECT](http://www.researchgate.net/publication/254201445_STATISTICAL_PROCESS_MONITORING_WITH_MTCONNECT). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [13] John L. Michaloski; Byeong Eon Lee; Frederick M. Proctor; Sid Venkatesh, „Web-enabled Real-time Quality Feedback for Factory Systems using MTConnect,“ ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 12 8 2012. [Tinkle]. Available: [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=911323](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=911323). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [14] Sri Atluru, Amit Deshpande, Sam Huang, Ron Pieper, „PneuViz: MTConnect Compliant Compressed Air Monitoring Application,“ SME 2012 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 4 6 2012. [Tinkle]. Available: <http://www.home.amit-deshpande.com/mysite/Papers/MSEC2012Pneu.pdf>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [15] John L. Michaloski; Byeong Eon Lee; Frederick M. Proctor; Sid Venkatesh; Sidney Ly, „Quantifying the Performance of MT-Connect in a Distributed Manufacturing Environment,“ ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 30 8 2009. [Tinkle]. Available: [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=903259](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=903259). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [16] Ben Edrington, Bingyan Zhao, Adam Hansel, Masahiko Mori, Makoto Fujishima, „Machine Monitoring System Based on MTConnect Technology,“ 3rd International Conference on Through-life Engineering Services, 1 4 2014. [Tinkle]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114009664>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [17] M. Lata, „Veikiantys ūkio subjektai metų pradžioje,“ Lietuvos statistikos departamentas, 29 04 2016. [Tinkle]. Available: <http://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?portletFormName=visualization&hash=23259c80-3334-42b4-9378-aa7fdf0d7f0f>. [Kreiptasi 01 05 2016].
- [18] A. Vijayaraghavan, „McKinsey on (Manufacturing) Big Data: Part 1 - How Much Data?,“ 13 02 2012. [Tinkle]. Available: <http://www.systeminsights.com/blog/2012/2/13/mckinsey-on-manufacturing-big-data-part-1-how-much-data>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [19] AMT – The Association For Manufacturing Technology, „MTConnect Schema 1.2,“ 2010. [Tinkle]. Available: [http://mtconnect.org/media/39431/mtconnectdevices\\_12xsd.xml](http://mtconnect.org/media/39431/mtconnectdevices_12xsd.xml). [Kreiptasi 16 04 2015].
- [20] A. B. Hill, „The Environment and Disease: Association or Causation?,“ *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, nr. 58, pp. 295-300, 1965.

## 8. PRIEDAI

### 1 Priedas. Eksperimente naudoto įrenginio konfigūracija

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<MTConnectDevices xmlns="urn:mtconnect.org:MTConnectDevices:1.3"
xmlns:m="urn:mtconnect.org:MTConnectDevices:1.3"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="urn:mtconnect.org:MTConnectDevices:1.3
/schemas/MTConnectDevices_1.3.xsd">
  <Header creationTime="2016-05-20T07:48:22Z" sender="mtcagent" instanceId="1425445166"
version="1.3.0.9" assetBufferSize="1024" assetCount="0" bufferSize="131072" />
  <Devices>
    <Device id="dev" iso841Class="6" name="VMC-3Axis" sampleInterval="10" uuid="000">
      <Description manufacturer="SystemInsights" />
      <DataItems>
        <DataItem category="EVENT" id="avail" type="AVAILABILITY" />
        <DataItem category="EVENT" id="dev_asset_chg" type="ASSET_CHANGED" />
        <DataItem category="EVENT" id="dev_asset_rem" type="ASSET_REMOVED" />
      </DataItems>
      <Components>
        <Axes id="ax" name="Axes">
          <Components>
            <Rotary id="c1" name="C">
              <DataItems>
                <DataItem category="SAMPLE" id="c2" name="Sspeed"
nativeUnits="REVOLUTION/MINUTE" subType="ACTUAL" type="SPINDLE_SPEED"
units="REVOLUTION/MINUTE">
                  <Source>spindle_speed</Source>
                </DataItem>
                <DataItem category="SAMPLE" id="c3" name="Sovr" nativeUnits="PERCENT"
subType="OVERRIDE" type="SPINDLE_SPEED" units="PERCENT">
                  <Source>SspeedOvr</Source>
                </DataItem>
                <DataItem category="EVENT" id="cm" name="Cmode" type="ROTARY_MODE">
                  <Constraints>
                    <Value>SPINDLE</Value>
                  </Constraints>
                </DataItem>
                <DataItem category="CONDITION" id="Cloadc" type="LOAD" />
                <DataItem category="CONDITION" id="Csystem" type="SYSTEM" />
                <DataItem category="SAMPLE" id="c13" name="Cload" nativeUnits="PERCENT"
type="LOAD" units="PERCENT" />
              </DataItems>
            </Rotary>
            <Linear id="x1" name="X">
              <DataItems>
                <DataItem category="SAMPLE" id="x2" name="Xact" nativeUnits="MILLIMETER"
subType="ACTUAL" type="POSITION" units="MILLIMETER" />
                <DataItem category="SAMPLE" id="x3" name="Xcom" nativeUnits="MILLIMETER"
subType="COMMANDED" type="POSITION" units="MILLIMETER" />
                <DataItem category="SAMPLE" id="n3" name="Xload" nativeUnits="PERCENT"
type="LOAD" units="PERCENT" />
                <DataItem category="CONDITION" id="Xloadc" type="LOAD" />
                <DataItem category="CONDITION" id="Xsystem" type="SYSTEM" />
              </DataItems>
            </Linear>
            <Linear id="y1" name="Y">
              <DataItems>
                <DataItem category="SAMPLE" id="y2" name="Yact" nativeUnits="MILLIMETER"
subType="ACTUAL" type="POSITION" units="MILLIMETER" />
                <DataItem category="SAMPLE" id="y3" name="Ycom" nativeUnits="MILLIMETER"
subType="COMMANDED" type="POSITION" units="MILLIMETER" />
              </DataItems>
            </Linear>
          </Components>
        </Axes>
      </Components>
    </Device>
  </Devices>
</MTConnectDevices>
```

```

        <DataItem category="SAMPLE" id="y4" name="Yload" nativeUnits="PERCENT"
type="LOAD" units="PERCENT" />
        <DataItem category="CONDITION" id="Yloadc" type="LOAD" />
        <DataItem category="CONDITION" id="Ysystem" type="SYSTEM" />
    </DataItems>
</Linear>
<Linear id="z1" name="Z">
    <DataItems>
        <DataItem category="SAMPLE" id="z2" name="Zact" nativeUnits="MILLIMETER"
subType="ACTUAL" type="POSITION" units="MILLIMETER" />
        <DataItem category="SAMPLE" id="z3" name="Zcom" nativeUnits="MILLIMETER"
subType="COMMANDED" type="POSITION" units="MILLIMETER" />
        <DataItem category="SAMPLE" id="z4" name="Zload" nativeUnits="PERCENT"
type="LOAD" units="PERCENT" />
        <DataItem category="CONDITION" id="Zloadc" type="LOAD" />
        <DataItem category="CONDITION" id="Zsystem" type="SYSTEM" />
    </DataItems>
</Linear>
</Components>
</Axes>
<Controller id="cn1" name="controller">
    <DataItems>
        <DataItem category="EVENT" id="msg" type="MESSAGE" />
        <DataItem category="EVENT" id="estop" type="EMERGENCY_STOP" />
        <DataItem category="CONDITION" id="clp" type="LOGIC_PROGRAM" />
        <DataItem category="CONDITION" id="motion" type="MOTION_PROGRAM" />
        <DataItem category="CONDITION" id="system" type="SYSTEM" />
    </DataItems>
    <Components>
        <Path id="pth" name="path">
            <DataItems>
                <DataItem category="EVENT" id="cn2" name="block" type="BLOCK" />
                <DataItem category="EVENT" id="cn3" name="mode" type="CONTROLLER_MODE" />
                <DataItem category="EVENT" id="cn4" name="line" type="LINE" />
                <DataItem category="EVENT" id="cn5" name="program" type="PROGRAM" />
                <DataItem category="EVENT" id="cn6" name="execution" type="EXECUTION" />
                <DataItem category="EVENT" id="cnt1" name="tool_id" type="TOOL_ID" />
                <DataItem category="SAMPLE" id="Ppos" nativeUnits="MILLIMETER_3D"
subType="ACTUAL" type="PATH_POSITION" units="MILLIMETER_3D" />
                <DataItem category="SAMPLE" id="Frt" nativeUnits="MILLIMETER/SECOND"
type="PATH_FEEDRATE" units="MILLIMETER/SECOND">
                    <Source>path_feedrate</Source>
                </DataItem>
                <DataItem category="SAMPLE" id="Fovr" nativeUnits="PERCENT"
type="PATH_FEEDRATE" units="PERCENT">
                    <Source>feed_ovr</Source>
                </DataItem>
            </DataItems>
        </Path>
    </Components>
</Controller>
<Systems id="systems" name="systems">
    <Components>
        <Electric id="e1" name="electric">
            <DataItems>
                <DataItem category="EVENT" id="p2" name="power" type="POWER_STATE" />
            </DataItems>
        </Electric>
        <Coolant id="cool" name="coolant">
            <DataItems>
                <DataItem category="CONDITION" id="clow" type="LEVEL" />
                <DataItem category="CONDITION" id="coolpres" type="PRESSURE" />
                <DataItem category="CONDITION" id="filter" type="x:FILTER" />
            </DataItems>
        </Coolant>
    </Components>
</Systems>

```

```

        <DataItem category="CONDITION" id="coolantmotor" type="ACTUATOR" />
    </DataItems>
</Coolant>
<Hydraulic id="hsys" name="hydraulic">
    <DataItems>
        <DataItem category="CONDITION" id="hlow" type="LEVEL" />
        <DataItem category="CONDITION" id="hpres" type="PRESSURE" />
        <DataItem category="CONDITION" id="htemp" type="TEMPERATURE" />
    </DataItems>
</Hydraulic>
</Components>
</Systems>
</Components>
</Device>
</Devices>
</MTConnectDevices>

```

## 2 Priedas. Mokslinis straipsnis (pristatytas XXI tarpuniversitetinės tarptautinės magistrantų ir doktorantų konferencijoje „Informacinė visuomenė ir universitetinės studijos 2016“)

### Mašinų, teikiančių informaciją *MTConnect* protokolu, duomenų surinkimas ir analizė

Ignas Sedunovas  
 Programų inžinerijos katedra  
 Kauno technologijos universitetas  
 Kaunas, Lietuva  
 ignas.sedunovas@ktu.edu

**Santrauka** – šiame straipsnyje yra aprašomas *MTConnect* standarto panaudojimas renkant pramoninių staklių duomenis ir juos analizuojant, siekiant identifikuoti artėjantį gedimą. Pateikiama keletas jau esamų sprendimų ir siūlomas sprendimas, pristatomos problemos, iškilusios jį įgyvendinant. Taip pat aprašomas planuojamas tyrimas, kaip pagerinti siūlomo sprendimo duomenų analizės greitaveiką manipuliuojant, konvertuojant duomenis ir optimizuojant koreliacijos skaičiavimus.

**Raktiniai žodžiai** – *MTConnect*; pramoninės staklės; didieji duomenys (angl. *big data*); duomenų analizė.

#### I. ĮVADAS

Šiais laikais yra stengiamasi įvairius procesus automatizuoti. Gamybos pramonėje yra pasitelkiamos mašinos / robotai, kurie gamina produktą pagal tam tikrą kompiuterinę programą. Kurį laiką mašinų komunikacijai buvo rašomos specifinės programos, kurių reikėdavo nemažai ir jas būdavo nelengva palaikyti. Kad tai palengvintų, buvo standartizuotas nemokamas mašinų duomenų perdavimo internetu protokolas *MTConnect* [1], kurio pirmoji versija 1.0.1 išleista 2009 metais [2].

Nuo to laiko, kai atsirado standartizuotas metodas gauti mašinų duomenis nuotoliniu būdu, mašinų pramonėje iškilo ir vis dar kyla poreikis per atstumą stebėti ir analizuoti duomenis, kuriuos pateikia veikiančios įrenginiai. To įmonėms reikia dėl to, kad sumažėja laiko, darbo jėgos ir išlaidų sąnaudos, didėja produktyvumas, atsiranda geresnės sąlygos konkuruoti, ir galima bet kuriuo metu prižiūrėti mašinas iš bet kurios vietos su interneto prieiga [3] [4].

Vienas iš straipsnio tikslų yra aprašyti sprendimą, kurį naudojant būtų surenkami pramoninių staklių rodmenys ir analizuojami siekiant nustatyti pasikartojančius gedimus prieš jiems dar įvykstant. Kitas tikslas – aprašyti tyrimo metodus, kuriais siekiama manipuluoti, konvertuoti duomenis ir optimizuoti koreliacijos skaičiavimus.

Šis straipsnis susideda iš supažindinimo su *MTConnect* standarto veikimo principu, įvairių pramonei skirtų sprendimų, naudojančių *MTConnect*, apžvalgos, sukurto sprendimo ir problemų įgyvendinant jį aprašymo. Taip pat yra pateikiamas planuojamas tyrimas sukurtos sistemos našumui gerinti bei išvados.

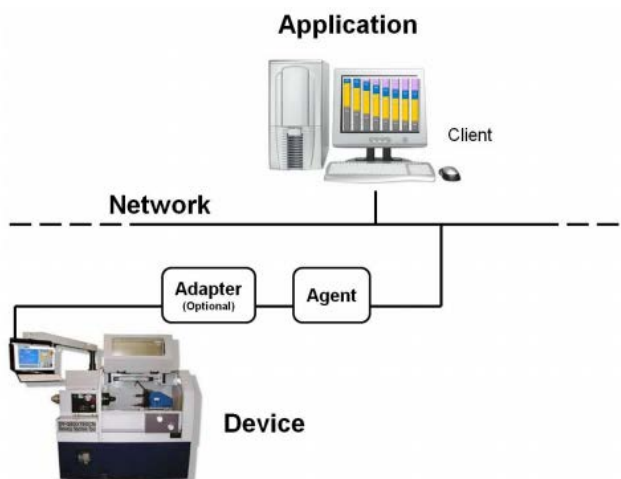
## II. MTCONNECT STANDARTAS

*MTConnect* yra atviras, nemokamas standartas, skirtas skatinti didesnę sąveiką tarp įrenginių ir programinės įrangos. Jis yra pagrįstas atviruoju duomenų integracijos protokolu. Sukurdamas atvirą ir išplečiamą komunikacijos kanalą savaiminio diegimo (angl. *plug-and-play*) tarpusavio ryšiui tarp prietaisų, įrangos ir sistemų, *MTConnect* leidžia jiems keistis ir suprasti vieni kitų duomenis ir šitaip sumažinti integracijos kaštus. Akcentuotina, kad standartas skirtas perduoti duomenis ir kad jis duomenims nesuteikia jokios papildomos prasmės.

*MTConnect* yra sukurtas remiantis labiausiai paplitusiais pramonės ir programinės įrangos standartais, todėl maksimaliai padidina jam įgyvendinti prieinamų įrankių kiekį ir suteikia aukščiausią sąveiką su kitais pramonės šakų standartais ir įrankiais. Pagrindiniai technologiniai komponentai, naudojami *MTConnect*, yra universalioji dokumentų ženklinimo kalba (*XML*), skirta dokumentų struktūrai aprašyti, ir hipertekstų persiuntimo protokolas saityno duomenims (ištekliams) persiūsti (*HTTP*) [5].

Sistema, įgyvendinta naudojant *MTConnect* standartą, yra sudaryta iš 5 pagrindinių dalių (1 pav.) [5]:

- Įrenginys (angl. *device*) – dažniausiai mašininis įrankis, bet gali būti bet kuri įrangos dalis arba duomenų šaltinis.
- Adapteris (angl. *adapter*) – neprivaloma programinės arba techninės įrangos dalis, kuri konvertuoja rodmenis į *MTConnect* standartą. Kai kurie įrenginiai rodmenis teikia jau pagal standartą – tokiu atveju adapteris nereikalingas.
- Agentė (angl. *agent*) – programinės įrangos dalis, kuri surenka, organizuoja ir kaupia duomenis, gautus iš įrenginio ar adapterio. Ji apdoroja užklausas, gautas iš vartotojo (taikomosios programos), ir pateikia reikiamus duomenis. Agentės funkcija ir duomenų struktūra yra specifikuota *MTConnect* standarto.
- Tinklas (angl. *network*) – fizinis ryšys tarp duomenų šaltinio (įrenginio) ir duomenų naudotojo (taikomosios programos). Dažniausiai tai yra interneto tinklas ir įprastai yra naudojamas standartinis bendravimo metodas – *HTTP* protokolas. Be to, *MTConnect* struktūra gali būti pritaikyta ir kitokiems tinkliniams sprendimams.
- Taikomoji programa (angl. *application*) – tikrasis *MTConnect* duomenų prašytojas ir naudotojas. Tipinės taikomosios programos funkcijos yra teikti užklausas, kaupti, manipuliuoti ir atvaizduoti duomenis.



1 pav. *MTConnect* komponentų schema [5]

Šis standartas yra nuolat pildomas ir tobulinamas naudojant kitus technikos standartus – 2015 metų birželį buvo išleista naujausia 1.3.1 versijos specifikacija [2].

## III. ESAMI SPRENDIMAI, NAUDOJANTYS MTCONNECT

Nuo 2013 metų JAV gynybos departamentas rengia kasmet vykstantį *MTConnect Challenge* konkursą, skirtą skatinti kurti ir įgyvendinti idėjas, kaip galima panaudoti gamybos duomenis [3]. Be to, kasmetinėje *ASME (The American Society of Mechanical Engineers)* konferencijoje taip pat yra pristatomi įvairūs sprendimai, naudojantys *MTConnect*.

### A. „Microsoft Visio“ integracija [7]

Jamesas Finnas sukūrė *MTConnect* sprendimą *Microsoft Visio* programai. Šis modeliavimo įrankis leidžia gamybos kontrolės priežiūros personalui greitai ir nepriklausomai susikurti duomenų gavimo ir atvaizdavimo / peržiūros langą, kuriuo naudodamiesi vėliau gali išspręsti netikėtai atsiradusias gamybos cecho problemas.

Šio sprendimo pagrindinė savybė yra tai, kad naudojant *Microsoft Visio* duomenys iš viso cecho, kurie tuo metu yra transliuojami *MTCConnect* kanalu, yra greitai surenkami, agreguojami ir vaizdžiai pateikiami realiu laiku.

#### B. *Virpėjimo nustatymas panaudojant stebėseną [8]*

Autorius nagrinėja anomaliją, kai mašinos pjaunamosios ar gręžiamosios detalės pradėdavo virpėti per daug ir dėl to detalė nusidėvėdavo greičiau, o produkto kokybė suprastėdavo. Pažeistų detalių keitimas kainuoja daugiau ir ilgas mašinos neveikimo laikas remonto metu gali neigiamai paveikti visą cecho produktyvumą. Valerie Pezzullo reikėjo būdo tai pastebėti anksčiau negu atsirasdavo defekto garsas.

Autoriaus sprendimas buvo panaudoti *MTCConnect* duomenis apie detalių parametrus iš prietaiso ir duomenis apie vibracijos lygį iš jutiklių juos perduodant į kontrolinį valdiklį, kuris įvertinęs esamą situaciją atlieka tam tikras prietaisų korekcijas (pvz., sumažina grąžto sukimosi greitį). Atlikus skaičiavimus vienam procesui, apdoroti duomenys yra siunčiami į kitą valdiklį, kuris atsakingas už kitą procesą, kad jis taip pat įvertintų šią padėtį ir atliktų reikiamus pakeitimus.

#### C. „*Google Glass*“ sprendimas [9]

Ravis Sivalingamas savo sprendime apjungė *MTCConnect* funkcionalumą ir *Google Glass* galimybes: įžvalgų ekraną, vaizdo kamerą, lietimui jautrią dalį, mikrofoną, el. paštą ir interneto prieigą. Nuskenavus su vaizdo kamera unikalų mašinos kodą darbuotojas akinių ekrane mato to prietaiso dabartinius parametrus, gali apžiūrėti detalę trimatėje erdvėje, gali modifikuoti prietaiso darbo planą ir perduoti bet kokią informaciją kolegai.

#### D. „*Promise*“

*MTCConnect Challenge 2* konkurse Shane'as Crandallas pristatė savo intuityvią, lengvai valdomą internetinę programą, kuri naudoja *MTCConnect* teikiamą informaciją. Sprendimas vartotojui suteikia galimybę tuščiam lange susikurti įvairių matavimo formų (stulpelinė diagrama, grafikas, matuoklis su ciferblatu ir pan.) elementus ir nustatyti, kurio prietaiso ir kurie duomenys bus rodomi. Ši programa taip pat leidžia nustatyti duomenų vaizdavimo spalvą pagal reikšmę, keisti foną, kad būtų lengviau susigaudyti, kurioje prietaiso vietoje stovi matuoklis. Visi duomenys yra vaizduojami realiu laiku.

#### E. „*Kaizen*“ pobūdžio sprendimas [10]

Šis sprendimas buvo konkrečiai taikomas optimizuoti *Boeing* įmonės procesus. *MTCConnect* pagalba duomenys buvo žymiai greičiau surenkami negu naudojant firminius tų mašinų įrankius. Surinkti duomenys buvo agreguojami ir pateikiami įvairių grafikų pavidalu. Juos išanalizavęs cechą aptarnaujantis personalas galėjo lengviau ir greičiau identifikuoti realią įvairių procesų trukmę, kainą ir kitus parametrus.

#### F. Įrenginių sąveikos gerinimas [11]

Athulanas Vijayaraghavanas kartu su komanda bandė sujungti nesuderinamus prietaisus. Naudodami *MTCConnect* standartizuotą sąsają jie apjungė įvairius įrenginius bendram tikslui. Taip pat buvo renkami duomenys, kuriuos programinė įranga realiu laiku analizuodavo ir sekdamo, ar mašina veikia taip, kaip ji buvo užprogramuota (buvo vykdomas proceso plano verifikavimas). Vėliau tuos duomenis ir išvestinius rezultatus galėjo peržiūrėti cecho personalas ir atlikti tam tikrus proceso pakeitimus.

#### G. *Komercinių ribotų SPC metodų gerinimas [12]*

Statistinės procesų kontrolės (angl. *Statistical Process Control (SPC)*) tikslas yra ne aptikti blogą kokybę, o užkirsti kelią jos atsiradimui. *SPC* metodais yra siekiama stebėti procesą, jį kontroliuoti ir atlikti reikiamus pakeitimus. Tuo tikslu autoriai naudodami *MTCConnect* sukūrė programą, kuri analizuodavo gautus duomenis ir bandydavo apskaičiuoti tolimesnę prietaiso eigą. Jei buvo nustatomi galimi nukrypimai, tai programa įvertindavo, kaip reikia pamodifikuoti tolimesnę proceso eigą ir nusiųsdavo šią komandą mašinai.

#### H. *Gamyklos sistemų kokybės stebėjimas realiu laiku [13]*

Siekdami pagerinti gamybos kokybę, kuri buvo įvertinama pasibaigus procesui, kai galutinis produktas yra apžiūrimas ir įvertinamas, o po to retrospektyviai įvertinamas pats procesas ir sąnaudos, autoriai C++ kalba sukūrė taikomąją programą, kuri panaudodama *MTCConnect* gaudavo duomenis iš *CMM*, juos apdorodavo, suformuodavo *HTML* dokumentą ir realiu laiku pateikdavo interneto naršyklėje (konkrečiai, *Internet Explorer*). Pateiktame dokumente buvo išskiriamos reikšmės, kurios peržengdavo viršutinę arba apatinę maksimalaus leistino nuokrypio ribą. Automatizavus stebėjimo procesą, aptarnaujančiam personalui liko daugiau laiko kitoms produktyvumo užduotims.

#### I. „*Pneuviz*“ – suspausto oro stebėjimo programa [14]

Gamybos pramonėje suspaustas oras yra laikomas ketvirta didžiausia pagalbine priemone po elektros, gamtinių dujų ir vandens. Jis yra naudojamas daugybėje įvairių pneumatinių ir mechaninių prietaisų kiekviename ceche. Todėl Sri Atluru su trimis kolegomis sprendė suspausto oro stebėjimo ir utilizavimo optimizavimo problemą ir sukūrė projektą, kuris išanalizuoja suspausto oro panaudojimą įvairiose situacijose metalo pjovimo operacijų metu. Taikomoji programa

buvo sukurta naudojant *LabVIEW* programinį paketą ir skirta stebėti procesą bei analizuoti informaciją. Duomenims gauti programa buvo susieta su *MTCConnect* duomenimis, perduodamais įmonės vidiniu tinklu. Specifinių jutiklių rodmenys buvo nagrinėjami įvairiuose scenarijuose ir taip buvo nustatoma kainos, energijos ir anglies pėdsakų įtaka suspausto oro panaudojamumui ceche.

#### J. „MTCConnect“ pritaikymas paskirstytos gamybos aplinkoje [15]

Johnas L. Michaloskis su kolegomis sprendė problemą, kad reikia patogaus detales gaminančių programuojamų mašinų duomenų stebėjimo realiu laiku. Valdyba teigė, kad informatyvūs, tikslūs ir laiku pateikiami įrenginių duomenys gali būti kritinis sėkmingos gamybos aspektas. Kadangi įmonės tinklas turėjo saugumo apribojimų, buvo nuspręsta naudoti dviejų linijų intraneto ryšį. Pirmąją liniją neapdoroti duomenys buvo perduodami iš prietaiso į atskirą kompiuterį, kuriame *MTCConnect* pagalba jie būdavo konvertuojami į standartizuotą formatą. Iš šio kompiuterio kita linija duomenys būdavo perduodami į centralizuotą prietaisų stebėjimo skydą. Šis sprendimas įmonei garantavo tikslų gamybos kokybės įvertinimą realiu laiku.

#### K. Įrenginių stebėjimo sistema, grįsta „MTCConnect“ technologija [16]

Sprendimas susideda iš dviejų tinklu sujungtų komponentų: paties įrenginio ir pranešimų serverio. Mašinoje esantis *MTCConnect* adapteris surenka dabartinės būsenos duomenis ir intranetu siunčia į pranešimų serveryje esančią *MTCConnect* agentę, kuri apdoroja gautus duomenis, konvertuoja į standartizuotą *MTCConnect XML* formatą. Tada šiuos duomenis duomenų surinkimo servisas išsaugo į serverio duomenų bazę. Vėliau iš šių duomenų yra generuojamos ataskaitos, kurias naudojant interneto naršyklę galima pasiekti prisijungus prie pranešimų serveryje esančios saityno programos. Taip pat, atsižvelgiant į surinktus duomenis, el. pašto serverio pagalba mašinų operatoriams yra siunčiami pranešimai SMS ir / arba el. laišku.

I LENTELĖ. MTCCONNECT SPRENDIMŲ PALYGINIMAS

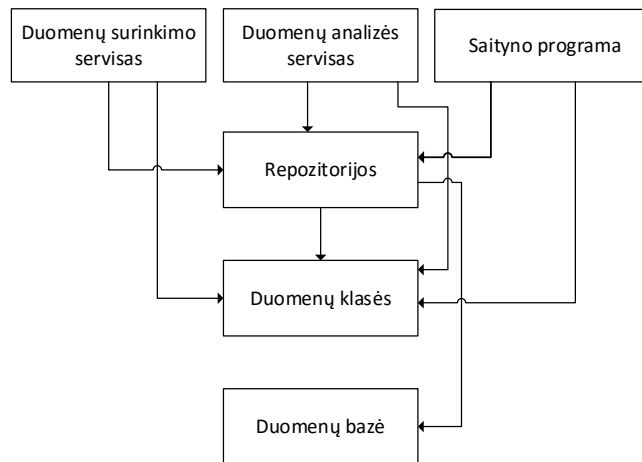
	Prima standartizuotus XML duomenis	Kaupia gautus duomenis	Duomenys yra vaizdžiai pateikiami	Duomenys pateikiami realiu laiku	Yra galimybė tinkinti duomenų atvaizdavimą	Analizuoja duomenis	Siunčia pranešimus	Modifikuoja procesą eigoje
„Microsoft Visio“ integracija	+	+	+	+	+	-	-	-
Virpėjimo nustatymas panaudojant stebėseną	+	-	+	+	-	+	-	+
„Google Glass“ sprendimas	+	-	+	+	-	-	+	-
„Promise“	+	+	+	+	+	-	-	-
„Kaizen“ pobūdžio sprendimas	+	+	+	+	+	-	-	-
Įrenginių sąveikos gerinimas	+	+	+	+	+	-	-	-
Komercinių ribotų SPC metodų gerinimas	+	+	+	+	-	+	-	+
Gamyklos sistemų kokybės stebėjimas realiu laiku	+	-	+	+	-	-	-	-
„Pneuviz“ – suspausto oro stebėjimo programa	+	+	+	+	+	-	-	-
„MTCConnect“ pritaikymas paskirstytos gamybos aplinkoje	+	+	+	+	+	-	-	-
Įrenginių stebėjimo sistema, grįsta „MTCConnect“ technologija	+	+	+	+	+	-	+	-

### IV. SIŪLOMAS SPRENDIMAS

#### A. Įgyvendinta sistema

Buvo sukurtas sprendimas rinkti ir kaupti pramoninių staklių rodmenis, kurie po to yra atvaizduojami aptarnaujančiam personalui prisijungus prie saityno programos. Siekiant atskirti skirtingo funkcionalumo procesus sistemą (2 pav.) sudaro trys dalys (duomenų surinkimo ir analizės servisas bei saityno programa), kurių kiekviena suprojektuota pagal trijų sluoksnių architektūrą ir naudoja tą pačią duomenų bazę. Jos įgyvendinimui buvo panaudotos šios technologijos: *C#.NET MVC*, *Elastic*, *NEST*, *Autofac*, *Math.NET*.

Duomenų surinkimui buvo parašytas atskiras modulis (duomenų surinkimo servisas), kurio funkcionalumas visiškai atitiko nurodymus ir reikalavimus *MTCConnect* standarto specifikacijoje [1], kurių reikia norint kaupti rodmenis esant normalioms sąlygoms ir klaidų atvejais.



2 pav. Sukurtos sistemos architektūra

Duomenų analizei sukurtas modulis, kuris nepertraukiamai analizuoja naujausius įrenginių rodmenis. Kadangi pagal standartą įrangos gedimai yra diskrečios būsenos, kurios gaunamos kartu su įrangos rodmenimis [1], todėl analizė buvo vykdoma lyginant  $n$  naujausių įrenginių rodmenų poaibį  $\{x_1, \dots, x_n\}$  su istorinių, buvusių prieš gedimus rodmenų poaibiu  $\{y_1, \dots, y_n\}$  ir ieškant reikšmingos koreliacijos. Rodmenų panašumas yra laikomas reikšmingu, jei Pirsono koreliacijos koeficientas  $r$  (1) gaunamas ne mažesnis už 0.7:

$$r = r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Viena analizės iteracija apima vieno įrenginio naujausių rodmenų lyginimą su tokios pačios imties istoriniais rodmenimis, kurie buvo gauti prieš visus to prietaiso gedimus. Analizės metu yra ieškoma ir reikšmingų duomenų panašumų ir anomalijų. Be to, kuriama sistema aptiktus potencialius gedimus išsaugo duomenų bazėje. Tuo metu saityno programa juos pateikia (kas sekundę atnaujina rodmenis ir potencialių gedimų sąrašą) įrenginius aptarnaujančiam personalui, nes jie tuo metu įvertina realią situaciją ir priima sprendimą, ką toliau daryti. Konkretus pavyzdys: yra įrenginys su dviem nepriklausomais komponentais A ir B (pirmojo darbinė temperatūra yra žymiai didesnė už antrojo). Kažkuriuo laiko momentu B komponentas perkaista ir yra pakeičiamas nauju. Tačiau pakeitus jis vėl kaista. Šiuo atveju siūloma sistema užfiksuoja, kad yra reikšminga koreliacija tarp B temperatūros didėjimo ir A temperatūros, ir praneš aptarnaujančiam personalui. Patikrinus įrenginį gali paaiškėti, kad buvo pažeista izoliacinė medžiaga tarp A ir B komponentų.

### B. Iššūkiai

Šitaip analizuojant visus nebūtinai tarpusavyje susijusius duomenis tam tikrose laiko atkarpose nėra garantuojamas priežastinis ryšys. 1965 metais britų medicinos statistikas Austinas Bradfordas Hillas pateikė 9 iki šiol plačiai cituojamus minimalius kriterijus šio ryšio buvimui nustatyti. Sukurtos sistemos analizės algoritmas užtikrina tik keletą iš jų [17]:

- Stiprumas (angl. *strength*) – algoritme naudojamas koreliacijos koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,7.
- Pastovumas (angl. *consistency*) – algoritmas lygina su prieš gedimą buvusiais rodmenimis, nes jie yra potencialūs priežasties požymiai.
- Specifiškumas (angl. *specificity*) – daroma prielaida, kad įrenginiai teikia visus įmanomus savo rodmenis.

Bet tai nėra laikoma didėle problema šioje sistemoje, nes tai leidžia aptikti anomalijas, ir galutinį sprendimą priima aptarnaujantis personalas, kuris remdamasis savo dalykinės srities žiniomis gali patvirtinti arba paneigti kelis kitus A. B. Hillio kriterijus (tikėtinumą, koherentiškumą, analogiją).

Kitas aptiktas keblumas yra tai, pramonės įmonėms ne visada pakanka vien tik *MTCConnect* standarte apibrėžtų duomenų, todėl jos pasinaudoja išplečiamumo galimybėmis ir apsibrėžia savo įrenginiams pritaikytus duomenis. Dėl šios priežasties atsiranda galimybė, kad sukurta sistema nesugebės analizuoti visų įmanomų duomenų, nes ji remiasi tik *MTCConnect* specifikacija.

Trečia iššūkis susijęs su duomenų kiekiu. Athulanas Vijayaraghavanas apžvelgdamas McKinsey ataskaitą apie *didžiuosius duomenis* pateikė savo apytikslius pesimistiškus skaičiavimus, kuriuose matomi labai dideli duomenų kiekiai, kuriuos sugeneruoja *MTCConnect* standartu grįsti pramonės įrenginiai:

2 LENTELĖ. *MTCCONNECT* ĮRENGINIŲ SUGENERUOJAMŲ DUOMENŲ KIEKIAI [18]



	Paprastas stebėjimas		Detalus stebėjimas	
<b>Mėginių per sekundę</b>	10	hz	100	hz
<b>Duomenų įrašų mėginyje kiekis</b>	10	įrašų	50	įrašų
<b>Duomenų įrašo dydis</b>	50	bytes	50	bytes
<b>Mėginio dydis</b>	500	bytes	2500	bytes
<b>Įrenginio duomenų perdavimo sparta</b>	5	kbps	250	kbps
<b>Dienos duomenų kiekis</b>	432	MB	21600	MB
<b>Duomenų kiekis per metus</b>	158	GB	7889	GB
<b>Metų senumo duomenys saugomi:</b>				
<b>Mažam cechui (10 įrenginių)</b>	2	TB	79	TB
<b>Vidutiniam cechui (30 įrenginių)</b>	5	TB	237	TB
<b>Dideliam cechui (100 įrenginių)</b>	16	TB	789	TB
<b>Pramoninei įmonei (500 įrenginių)</b>	79	TB	3945	TB
<b>Visa JAV rinka (1,2 mln. įrenginių)</b>	189	PB	9467	TB

Tai buvo žinoma prieš pradėdant kurti sistemą, todėl buvo pasirinkta naudoti *Elastic*, kaip dokumentinę duomenų bazę, nes tinka saugoti bet kokios struktūros duomenis ir tikėtina, kad ji veiks itin greitai [19].

## V. BANDYMAS

Realizavus sistemą buvo bandoma žiūrėti greitaveiką tikrinant oficialų testavimo įrenginį, kurio agentė pasiekama adresu <http://agent.mtconnect.org>. Sistema buvo įdiegta į nešiojamąjį kompiuterį *Acer Aspire V3 (MS Windows 10, Intel Core i7 4702MQ, 16 GB RAM, 1 TB HDD)*. Per 3-4 valandas iš įrenginio buvo surinkta apie 3 mln. duomenų ir *Elastic* indekso dydis buvo apie 1 GB.

Bandymo metu sistemoje buvo užregistruoti 48 gedimai, buvo analizuojama 15 min. duomenų imtis. Dėl to iš duomenų bazės buvo paimti 188627 naujausi rodmenys ir 5560104 istoriniai rodmenys. Viena šios analizės iteracija užtruko 6 min. 45 sek. (3 lentelė).

3 LENTELĖ. DUOMENŲ ANALIZĖS REZULTATAI

<b>Analizavimo intervalas</b>	15 min.
<b>Praeities gedimų, su kuriais lyginama, skaičius</b>	48
<b>Naujausių rodmenų kiekis</b>	188627
<b>Bendras iš duomenų bazės paimtų istorinių rodmenų kiekis</b>	5560104
<b>Vienos iteracijos vienam įrenginiui trukmė</b>	6 min. 45 sek.
<b>Sunaudota darbinės atminties</b>	Iki 1,8 GB RAM

Tačiau esant tokiai nedidelei imčiai vykdymo trukmė yra per ilga (nepraktiška). Tai galimai atsitiko dėl duomenų formato, perteklinio duomenų kiekio. Be to, visi trys sistemos moduliai veikė viename fiziniame kompiuteryje ir apkrovė procesorių – todėl jis per daug įkaito ir viso kompiuterio greitaveika sumažėjo.

## VI. TOLESNI DARBAI

Tyrimo metu planuojama sumodeliuoti įvairius įrenginio veikimo scenarijus ir atlikti šiuos veiksmus:

Kadangi kai kurių įrenginių komponentų analizuojami duomenys keičiasi daugiau nei kelis kartus per sekundę, todėl yra planuojama agreguoti duomenis sekundės ir / arba didesniais intervalais.

Kadangi visi dabartiniai duomenys yra laikomi viename *Elastic* indekse, todėl jis tampa apkrautas ir praranda dalį našumo. Planuojama duomenų analizei naudoti atskirą indeksą, kuriame bus saugomi rodmenys.

Kadangi sistema saugo visą gautą informaciją ir rodmenų objektas turi įvairių perteklinių duomenų, todėl planuojama analizei naudoti minimizuotą rodmenų objekto struktūrą.

Kadangi tarp kaupiamų duomenų yra tekstinių reikšmių, bet sukurta sistema analizuoja tik skaičius, todėl planuojama vykdyti konversiją į skaičius.

Kadangi analogiškas praeityje buvusiam gedimas gali atsitikti greičiau, todėl analizuojant bus bandoma keisti duomenų imčių mastelį.

Atlikus šiuos veiksmus ir keičiant imtį bus tiriama, kaip keičiasi analizavimo našumas, sunaudojami resursai ir aptiktų potencialių gedimų kiekis.

Tikimasi, kad našumas padidės bent du kartus.

## VII. IŠVADOS

Išanalizavus problemą buvo pateiktas siūlomas įgyvendintas sprendimas, kuris dėl didelių duomenų kiekių naudoja dokumentinę duomenų bazę ir kuris analizuoja duomenis ieškant koreliacijos.

Siūlomame sprendime buvo identifikuotos ir aprašytos problemos bei pasiūlyti keli sprendimai našumui gerinti keičiant imties intervalus, optimizuojant *Elastic* indeksus, modifikuojant duomenų struktūrą ir mastelį bei vykdant duomenų konvertavimą.

Naudojant siūlomą sprendimą sumažės pramoninių staklių priežiūros kaštai, todėl padidės aptarnaujančio personalo našumas ir jiems bus patogiau prižiūrėti įrenginius.

Kaupiant įrenginių duomenis bus galima peržiūrėti istorinius rodmenis, todėl darbuotojai galės objektyviau įvertinti ir priimti geresnius proceso pakeitimus.

Vykdant įrenginių duomenų analizę bus galima nuspėti potencialius gedimus, todėl sumažės įrenginio neveikimo laikas ir taisymo kaštai.

Naudojant *Elastic* bus išlaikoma greitaveika didėjant duomenų mastams, todėl sistema veiks efektyviai ilgesnį laiką.

Atlikus tyrimą su planuojamais pakeitimais padidės analizavimo našumas, todėl sistema aptiks greičiau ir daugiau potencialių gedimų.

## LITERATŪRA

- [1] „Getting Started with MTConnect. Connectivity Guide,“ AMT – The Association For Manufacturing Technology, 2011. [Tinkle]. Available: <https://static1.squarespace.com/static/54011775e4b0bc1fe0fb8494/t/55a93d00e4b03e1c028d77fb/1437154560450/Getting+Started+with+MTConnect+-+FINAL.pdf>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [2] „MTConnect Standard,“ MTConnect Institute, [Tinkle]. Available: <http://www.mtconnect.org/standard>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [3] „MTConnect Challenge,“ U.S. Department of Defense, 2013. [Tinkle]. Available: <https://www.dodmantech.com/Initiatives/MTConnect>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [4] J. Finn, „Integration with Microsoft Visio,“ International TechneGroup Incorporated, 29 4 2013. [Tinkle]. Available: [http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip\\_files/production/8102/zip\\_files/MTConnectResponse-ITI.pdf](http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip_files/production/8102/zip_files/MTConnectResponse-ITI.pdf). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [5] V. Pezzullo, „Monitoring and Control of Chatter Conditions with MTConnect,“ Clemson University, 31 5 2013. [Tinkle]. Available: [http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip\\_files/production/8428/zip\\_files/MTConnect\\_Challenge\\_\\_1\\_Valerie\\_Pezzullo.pdf](http://s3.amazonaws.com/challengepost/zip_files/production/8428/zip_files/MTConnect_Challenge__1_Valerie_Pezzullo.pdf). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [6] R. Sivalingam, „Google Glass and the 4th Industrial Revolution,“ 1 9 2014. [Tinkle]. Available: <http://www.academia.edu/8306128/>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [7] Byeong Eon Lee; John L. Michaloski; Frederick M. Proctor; Sid Venkatesh; Nils Bengtsson, „MTConnect-Based Kaizen for Machine Tool Processes,“ Computers and Information in Engineering Conference, 15 8 2010. [Tinkle]. Available: [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=905591](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=905591). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [8] Vijayaraghavan, Athulan; Sobel, Will; Fox, Armando; Dornfeld, David; & Warndorf, Paul, „Improving Machine Tool Interoperability Using Standardized Interface Protocols: MT Connect,“ UC Berkeley: Laboratory for Manufacturing and Sustainability, 23 6 2008. [Tinkle]. Available: <http://escholarship.org/uc/item/4zs976kx>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [9] Sri Atluru, Amit Deshpande, „Statistical Process Monitoring With MTConnect,“ Proceedings of the ASME 2012 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 4 7 2012. [Tinkle]. Available: [http://www.researchgate.net/publication/254201445\\_STATISTICAL\\_PROCESS\\_MONITORING\\_WITH\\_MTCONNECT](http://www.researchgate.net/publication/254201445_STATISTICAL_PROCESS_MONITORING_WITH_MTCONNECT). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [10] John L. Michaloski; Byeong Eon Lee; Frederick M. Proctor; Sid Venkatesh, „Web-enabled Real-time Quality Feedback for Factory Systems using MTConnect,“ ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 12 8 2012. [Tinkle]. Available: [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=911323](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=911323). [Kreiptasi 1 11 2014].

- [11] Sri Atluru, Amit Deshpande, Sam Huang, Ron Pieper, „PneuViz: MTConnect Compliant Compressed Air Monitoring Application,” SME 2012 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 4 6 2012. [Tinkle]. Available: <http://www.home.amit-deshpande.com/mysite/Papers/MSEC2012Pneu.pdf>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [12] John L. Michaloski; Byeong Eon Lee; Frederick M. Proctor; Sid Venkatesh; Sidney Ly, „Quantifying the Performance of MT-Connect in a Distributed Manufacturing Environment,” ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 30 8 2009. [Tinkle]. Available: [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=903259](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=903259). [Kreiptasi 1 11 2014].
- [13] Ben Edrington, Bingyan Zhao, Adam Hansel, Masahiko Mori, Makoto Fujishima, „Machine Monitoring System Based on MTConnect Technology,” 3rd International Conference on Through-life Engineering Services, 1 4 2014. [Tinkle]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114009664>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [14] M. Lata, „Veikiantys ūkio subjektai metų pradžioje,” Lietuvos statistikos departamentas, 29 04 2016. [Tinkle]. Available: <http://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?portletFormName=visualization&hash=23259c80-3334-42b4-9378-aa7fdf0d7f0f>. [Kreiptasi 01 05 2016].
- [15] W. Sobel, „MTConnect® Standard. Part 1 - Overview and Protocol,” MTConnect Institute, 30 9 2014. [Tinkle]. Available: [http://static1.squarespace.com/static/54011775e4b0bc1fe0fb8494/t/557f2897e4b04b2acdba80b5/1434396823825/mtc\\_part\\_1\\_overview\\_v1.3.pdf](http://static1.squarespace.com/static/54011775e4b0bc1fe0fb8494/t/557f2897e4b04b2acdba80b5/1434396823825/mtc_part_1_overview_v1.3.pdf). [Kreiptasi 25 02 2016].
- [16] A. Vijayaraghavan, „McKinsey on (Manufacturing) Big Data: Part 1 - How Much Data?,” 13 02 2012. [Tinkle]. Available: <http://www.systeminsights.com/blog/2012/2/13/mckinsey-on-manufacturing-big-data-part-1-how-much-data>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [17] AMT – The Association For Manufacturing Technology, „MTConnect Schema 1.2,” 2010. [Tinkle]. Available: [http://mtconnect.org/media/39431/mtconnectdevices\\_12xsd.xml](http://mtconnect.org/media/39431/mtconnectdevices_12xsd.xml). [Kreiptasi 16 04 2015].
- [18] Nelson Baxter, Heather De Jesús, „Remote Machinery Monitoring – a Developing Industry,” 5 2008. [Tinkle]. Available: <http://sandv.com/downloads/0805bax2.pdf>. [Kreiptasi 1 11 2014].
- [19] D. Edstrom, „MTConnect: To Measure Is To Know,” Virtual Photons Electrons, 2013. [Tinkle]. Available: <https://books.google.lt/books?id=Nz4rhrknzR0C>. [Kreiptasi 25 02 2016].
- [20] A. B. Hill, „The Environment and Disease: Association or Causation?,” *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, nr. 58, pp. 295-300, 1965.
- [21] Chris Golledge, Anup Nair, „Introducing NoSQL Capabilities. A Technical White Paper,” IBM Corporation, 2013. [Tinkle]. Available: [https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/idsteam/resource/IFMX-12.10.xC2-WP-Overall\\_20131018.pdf?lang=en](https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/idsteam/resource/IFMX-12.10.xC2-WP-Overall_20131018.pdf?lang=en). [Kreiptasi 25 02 2016].
- [22] M. Lata, „Veikiantys ūkio subjektai metų pradžioje,” Lietuvos statistikos departamentas, 29 04 2016. [Tinkle]. Available: <http://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?portletFormName=visualization&hash=23259c80-3334-42b4-9378-aa7fdf0d7f0f>. [Kreiptasi 01 05 2016].