

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Joonas Künstler 221300IABM

Väljakutsed nutiarvestite ja nutiandurite tõrkehalduse automatiseerimisel

Magistritöö

Juhendaja: Jaanus Kaugerand
doktorikraad

Tallinn 2023

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Joonas Künstler

03.01.2023

Annotatsioon

Aina rohkem toodetakse nutiarvesteid ja nutiandureid, mis võimaldavad automatiseerida selliseid äriprotsesse nagu kommunaalkulude arvestust või hoonete sisekliima juhtimist. Niisuguste seadmete arv kasvab kiiresti ja sellega seoses tekib aina rohkem seadmete tõrkeid. Nutiseadmetest andmete kogumise teenust pakkuv Ettevõtte vajab seda laadi tõrgete haldamiseks automaatset tõrkehaldust. Ettevõtte omapära on see, et lisaks nutiseadmetest kogutud andmetele on tõrke väljaselgitamiseks võimalik kasutada ka mobiilivõrgu infot. Töö käigus uuriti ja analüüsiti, milliste andmete alusel oleks võimalik luua automaatset tõrkehalduse süsteemi, mis tuvastaks, kas tõrke põhjus on seadmes, traadita andmesides või tõrge on ajutine ja kaob ise.

Täielikult automaatset tõrkehalduse süsteemi ei saa luua, kuna traadita andmeside seadme asukohas sõltub nii paljudest välistest mõjudest, et traadita andmeside kvaliteedi täpne automaatne hindamine ei ole võimalik. Siiski saab luua automatiseeritud tõrketuvastamise töövahendi, mis vähendab Ettevõtte tõrketuvastamise protsessi keerukust ja protsessile kuluvat aega.

Töö annab detailse ülevaate, milliseid andmeid tuleb kitsariba-esemevõrku või mobiilivõrku kasutavate nutiarvestite ja nutiandurite tõrkehalduse automatiseerimiseks kasutada.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 40 leheküljel, 5 peatükki, 4 joonist, 9 tabelit.

Abstract

Challenges in smart meter and smart sensor failure management automation

An increasing number of smart meters and smart sensors are being produced, which enable the automation of business processes such as the calculation of utility costs or the control of the indoor climate of buildings. The number of such devices is growing rapidly, and in connection with this, more device failures start to occur. A business that collects data from smart devices needs automatic failure management to manage such failures. The peculiarity of the company is that, in addition to the data collected from smart devices, it is also possible to use information from the mobile network data to find out why failure occurred. In this thesis I investigated and analysed which data could be used to create an automatic error management system that could detect whether the cause of the failure is in the device, in wireless data communication, or if the error is temporary and will pass by itself.

It is impossible to create a fully automatic failure management system because the wireless data connection at the location of the device depends on so many external influences that an accurate automatic evaluation of the wireless data connection quality is not possible. However, it is possible to create an automated failure detection and management tool that can significantly reduce the complexity and time spent on the failure detection process.

The work provides a detailed overview of data which can be used to automate the failure management of smart meters and smart sensors which are using NB-IoT network or a cellular network for data connection.

The thesis is in in Estonian and contains 40 pages of text, 5 chapters, 4 figures, 9 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

digiteisik	<i>digital twin</i> , tegelikku maailma kuuluva materiaalse või ainetu olemi digitaalvaste mudelina
2G	<i>second-generation cellular network</i> , teise põlvkonna mobiilside võrk
3G	<i>third-generation cellular network</i> , kolmanda põlvkonna mobiilside võrk
4G	<i>fourth-generation cellular network</i> , neljanda põlvkonna mobiilside võrk
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i> , rahvusvaheline mobiilseadme identifikaator
IoT	<i>internet of things</i> , esemevõrk, kontseptsioon, kus füüsiliselt eksisteerivad nutiseadmed suhtlevad omavahel ja serveritega ilma inimese osaluseta
APN	<i>access point name</i> , mobiilivõrgus pääsupunktinimi, mis seadistatakse selleks, et koondada ühte võrku näiteks ühe ettevõtte SIM-kaardid nii, et tegemist on selle ettevõtte privaatvõrguga, kuhu teised SIM-kaardid ei saa ühenduda
CMG	<i>Cloud Mobile Gateway</i> , mobiilivõrgu rakendus
DHCP	<i>dynamic host configuration protocol</i> , standardprotokoll, mis võimaldab arvutitel automaatselt saada IP-aadressi
disainiteadus	<i>Design Science</i> , meetod infosüsteemide ja tarkvaralahenduste uurimiseks
ECL	<i>coverage enhancement level</i> , andmete kordussaatmise režiim kitsariba-esemevõrgus
eSIM	<i>embedded-SIM</i> , sama funktsionaalsusega nagu SIM-kaart, erinevuseks see, et eSIM on kiip, mis on joodetud seadme trükkplaadile ja seda ei saa eemaldada
GPS	<i>global positioning system</i> , ülemaailmne positsioneerimissüsteem
kitsariba-esemevõrk	<i>NB-IoT (narrowband IoT)</i> , 3GPP lai võrk-esemevõrgu tehnoloogia, mis on mõeldud väikeste andmemahutude edastamiseks siseruumidest. Tehnoloogia fookuses on parem levi siseruumides ja tehnoloogiat kasutavate kiipide soodne hind ning võimalikult väike patarei kulu
LTE	<i>long-term evolution</i> , raadioside 4G-lairibatehnoloogia ja standard
MME	<i>Mobility Management Entity</i> , mobiilivõrgu rakendus

<i>MSISDN</i>	<i>mobile station/subscriber ISDN number</i> , mobiiltelefoni rahvusvaheline abonendinumber
nutiandur	<i>smart sensor</i> , andmete digitaalse eeltöötlusvõimega andur, mis on võimeline informatsiooni saatma ja vastu võtma. Näiteks temperatuuri- või õhuniiskuse andur.
nutiarvesti	<i>smart meter</i> , võrgustatud arvesti, mis on võimeline informatsiooni saatma ja vastu võtma. Näiteks elektri-, sooja-, vee- ja gaasiarvestid, mis saadavad arvesti näite.
nutiseade	<i>smart device</i> , digitaal- või hübriidseade, mis on arvutivõrgustatav, andmetöötlus- ja interaktsioonivõimeline, mingis ulatuses autonoomne, kasutaja konfigureeritav. Näiteks nutitelefon.
taatluskehtivusaeg	ajavahemik kahe järjestikuse korralise taatlemise vahel
rakendusliides	<i>application programming interface (API)</i> , kogum käske ja funktsioone, mis võimaldavad tarkvarakomponentide interaktsioone
<i>RSRP</i>	<i>reference signal received power</i> , signaali tugevus 4G võrgus
<i>RSRQ</i>	<i>reference signal received quality</i> , signaali kvaliteet 4G võrgus
<i>RSSI</i>	<i>received signal strength indicator</i> , signaali tugevus 2G ja 3G võrgus
SIM-kaart	<i>SIM card</i> , mobiilset andmesidet kasutavasse seadmesse pistetav kiipkaart mobiilse andmeside võimaldamiseks
<i>SINR</i>	<i>signal to interference plus noise ratio</i> , signaali tugevuse ja müra suhe
<i>SSO</i>	<i>single sign-on access</i> , pääsu reguleerimise funktsioon, mis võimaldab kasutajal pöörduda üheainsa sisselogimisega paljude eri ressursside poole

Sisukord

1 Sissejuhatus	11
1.1 Nutiseadmed võimaldavad äriprotsesse automatiseerida	11
1.2 Nutiarvestite tõrkehaldus on vaja automatiseerida	12
1.3 Pakun välja Ettevõttele sobiva nutiarvestite tõrkehalduse lahenduse	13
1.4 Ülevaade tööst	14
2 Metoodika.....	15
2.1 Ettevõttele sobivat nutiarvestite automaatset tõrkehalduse lahendust ei ole.....	15
2.2 Töövahendid	16
2.3 Probleemi uurimiseks ja lahenduse pakkumiseks on kasutatud disainiteaduse meetodit	16
3 Tulemused	18
3.1 Tõrke tuvastamise sisendid.....	18
3.1.1 Kasutajat ei saa kaasata tõrkehalduse protsessi.....	18
3.1.2 Nutiarvestid on üldiselt patareitoitega.....	19
3.1.3 Nutiseadmete seadistuse sünkroniseerimine ei ole võimalik	19
3.1.4 Nutiseadmete andmeside muster on erinev ja seda ei saa kasutada tõrgete ennetamiseks.....	20
3.1.5 Traadita andmeside levi kvaliteeti saab hinnata peamiselt nutiseadme saadetud info alusel	21
3.1.6 Nutiarvesti või nutianduri kasutaja ei tea traadita andmeside SIM-kaardi numbrit	22
3.1.7 Kitsariba-esemevõrgu modemite kiibistik võib olla tõrgete juurpõhjuseks ..	23
3.1.8 Nutiseadme tõrke hindamiseks saab kasutada universaalseid väärtusi	24
3.1.9 Nutiseadme tõrke hindamine kitsariba-esemevõrgu info alusel.....	26
3.1.10 Nutiseadme tõrke põhjuseks võib olla SIM-kaardi vale seadistus	26
3.2 Ettevõtte rakendusliideste info kogumine ja analüüs	28
3.2.1 Tõrketuvastamise sammud	29
3.2.2 Seadme ja SIM-kaardi tuvastamine.....	29
3.2.3 SIM-kaardi pääsupunkti kontroll.....	30

3.2.4 SIM-kaardi viimase kärje kontroll.....	30
3.2.5 SIM-kaardi aktiivse andmesideseansi kontroll.....	31
3.2.6 Seadme ja SIM-kaardi seose ajaloo kontroll	32
3.2.7 Seadme aadressi tuvastamine	33
3.2.8 Seadme aadressi alusel sobivate kärege de tuvastamine	33
3.2.9 Elektrilevi katkestuste kontroll.....	34
3.2.10 Seadme asukohas levi hindamine	34
3.2.11 Seadme tõrke hindamine	35
3.3 Tõrketuvastamise automatiseerimine	35
3.3.1 Väljakutsed tõrkehalduse automatiseerimisel	36
3.3.2 Universaalne tõrkehalduse lahendus	37
3.3.3 Tõrketuvastamise töövahendi loomine.....	37
4 Arutelu.....	40
4.1 Esemevõrgu seadmete haldamise lahendused ei paku sobivat tõrkehaldust	42
4.2 Esemevõrgu seadmete tõrgete vältimiseks ei saa kasutada klassikalisi rikketaluvuse suurendamise viise.....	43
4.3 Aegrea analüüs ei aita leida tõrke põhjust	43
4.4 Seadme tõrke hindamisel ei saa lähtuda teiste seadmete andmetest	45
4.5 Seadme tõrke põhjuse tuvastamisel ei ole abi IoT süsteemi kihtidevahelisest suhtlusest	46
4.6 Seadme käitumise muutumise mustrit on keeruline leida	46
4.7 Seadme tõrke põhjustaja võib olla ka inimene	47
4.8 Nutiandurid ja nutiarvestid on rünnete eest hästi kaitstud.....	48
5 Kokkuvõte	49
Kasutatud kirjandus	51
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	53
Lisa 2 – Ettevõttes kasutatavad rakendusliidesed mobiilse andmeside kontrollimiseks	54
Lisa 3 – Ettevõtte uued rakendusliidesed, mida on vaja tõrgete haldamiseks.....	58
Lisa 4 – Elektrilevi rikete ja planeeritud katkestuste päringud	60
Lisa 5 – Kitsariba-esemevõrgu (NB-IoT) levi väärtused	61

Jooniste loetelu

Joonis 1. Nutiseadme tõrkehalduse fookus.....	15
Joonis 2. Nutiseadmete otsese või kaudse kasutamise taksonoomia.....	18
Joonis 3. Nutiarvesti toiteallika taksonoomia.....	19
Joonis 4. Tõrke põhjuse tuvastamise sammu seos rakendusliidestega.....	28

Tabelite loetelu

Tabel 1. Patareitoitel nutiseadmete andmete saatmise intervall ja seadistamine.	20
Tabel 2. Võrgutoitel nutiseadmete andmete saatmise intervall ja seadistamine.	20
Tabel 3. SIM-kaardi pääsupunkti kontrolli tulemuse ja tõrke põhjuse seos.....	30
Tabel 4. SIM-kaardi viimase kärje kontrolli ja tõrke põhjuse seos.	31
Tabel 5. SIM-kaardi viimase aktiivse andmeside seansi ja tõrke põhjuse seos.	32
Tabel 6. SIM-kaardi ja seadme seose kontrolli ja tõrke põhjuse hinnanguline seos.	32
Tabel 7. Seadme aadressi alusel sobivate kärgede kontrolli ja tõrke põhjuse seos.	33
Tabel 8. Seadme universaalsete tõrkeväärtuste ja tõrke põhjuse seos.....	35
Tabel 9. Tõrke põhjuse tuvastamise töövahendi esimese versiooni tarkvaraarenduse kulu.	38

1 Sissejuhatus

Tehnoloogia areng võimaldab äriprotsesse automatiseerida. Äriprotsesside automatiseerimiseks on vaja inimeste loodud sisend asendada seadmete loodud sisendiga. Esemevõrgu arengu käigus tuleb turule aina enam nutiseadmeid, mis suudavad töötada iseseisvalt ilma inimese osaluseta, automaatselt edastada enda ja ümbritseva kohta aina rohkem ja aina täpsemat informatsiooni. Sellised nutiseadmed loovad järjest rohkem võimalusi äriprotsesside automatiseerimiseks.

Kommunaalkulude arvestus on rutiinne äriprotsess, kus inimtöö kasutamine arvesti näitude kogumisel on olnud sunnitud valik, kuna varem ei olnud nutiarvesteid ja puudus motivatsioon täpse lugemise järele, kuna kommunaalkulude hinnad ei muutunud ja sai kasutada prognoositud näite, mida võrreldi arvesti näiduga korra aastas.

Loodusressursside börsihindade tõttu on nende kasutamist vaja aina täpsemalt mõõta. Riiklik regulatsioon võib nõuda ressursside kasutamise info kogumist riigi poolt määratud andmevahetusplatvormile (Eestis Eleringi andmeladu [1]). Olenevalt ressursist nõutakse arvesti näitude edastamist näiteks tunnise või veel lühema intervalliga.

1.1 Nutiseadmed võimaldavad äriprotsesse automatiseerida

Kommunaalkulude arvestust on võimalik automatiseerida nutiarvestite kasutuselevõttuga. Täna on turul juba piisavalt uusi nutiarvesteid ja lahedusi, mis võimaldavad olemasolevaid arvesteid nutiarvestiks muuta. Arvestitel on seadusega reguleeritud taatluskehtivusaeg [2]. Kui arvesti taatluskehtivusaeg saab läbi, siis tihti vahetatakse vana arvesti nutiarvesti vastu välja. Arvestite vahetuse protsess on pidev ja katkematu. Selle tõttu suureneb nutiarvestite maht pidevalt ja samal ajal tulevad kasutusele nutiarvestite uued põlvkonnad. Nutiarvestilt eeldatakse tõrgeteta ja inimese sekkumiseta tööd kogu taatluskehtivusaja jooksul. Kõik nutiarvestid, peale elektriarvestite, vajavad tavaliselt toimimiseks patareitoidet. Kasutajate ootus on, et nutiarvesti patarei eluiga on vähemalt kaks taatluskehtivusaega ehk 11 aastat ja rohkem.

Sellised ootused ja nõuded tähendavad seda, et patareidel töötavad nutiarvestid peavad kulutama võimalikult vähe energiat. See omakorda tingib selle, et arvestid peavad võimalikult palju olema energiasäästurežiimis ja vältima energiamahukat andmetöötlust (masinõpe vms.) ning energiamahukat traadita andmesidet.

Nutiarvestite paigaldamisel ei ole tavaliselt võimalik kasutada andmeside ühenduseks kaableid, kui neid ei ole juba maja ehitamisel paigaldatud. Seega saavad nutiarvestid kasutada traadita võrku andmete saatmiseks.

1.2 Nutiarvestite tõrkehaldus on vaja automatiseerida

Mida rohkem on nutiarvesteid, seda rohkem on nutiarvestite tõrkeid. Nutiarvesti puhul loetakse tõrkeks seda, et nutiarvesti ei saada enam arvesti näite. Nutiarvesti tõrke tekkimise põhjuse väljaselgitamine tuleb automatiseerida, kuna inimtöö kasutamine kõikide tõrgete analüüsimiseks ja lahendamiseks on liiga kulukas või isegi võimatu, kuna nutiarvesteid on väga palju ja neid tuleb aina juurde.

Nutiarvestite tõrkehalduse automatiseerimise väljakutsed seisnevad selles, et nutiarvesti võimekus on piiratud ja nutiarvesti juures ei ole inimest, kes saaks osaleda vea analüüsimisel ning lahendamisel. Nutiarvesti võimekus on piiratud peamiselt kahel põhjusel.

Esiteks patareikulu: nutiarvesti riistvara ja tarkvara esmane eesmärk on energia kokkuhoid, et tagada patarei eluiga 11 aastat või rohkem. Selle tõttu ei saa nutiarvestis kasutada masinõpet või muid energiamahukaid arvutusi arvesti tõrgete analüüsimiseks ja haldamiseks. Nutiarvesti loomisel on keskendunud ainult põhifunktsionaalsusele, et minimeerida keerukust ja vähendada energiakulu. Samuti ei saa nutiarvesti olla pidevalt andmesidevõrgus, kuna andmeside kulutab väga palju energiat.

Teiseks seadme hind: nutiarvesti peab olema piisavalt odav, et selle kasutuselevõtt oleks majanduslikult põhjendatud. Selle tõttu ei saa nutiarvestis kasutada kallist ja võimekat riistvara. Sama kehtib ka nutiarvesti tarkvara kohta, tarkvara funktsionaalsuse ja optimeerimise jaoks ei ole võimalik kulutada suuri summasid.

Kuna nutiarvesti ei ole pidevalt andmeside kaudu kättesaadav ja osa nutiarvestitest ei ole üldse võimelised käske vastu võtma, siis ei ole võimalik tõrkehaldust lahendada serveris, millega nutiarvesti suhtleb. Isegi kui nutiarvesti andmeside protokoll võimaldab nutiarvestile käsklusi saata, siis nutiarvestiga suhtlemine on piiratud tootja poolt loodud funktsionaalsusega. Nutiseadmete lahendusi üritatakse standardiseerida [3], kuid praegu puuduvad standardid, mis kohustaksid kõiki nutiarvesteid toetama sama funktsionaalsust [4]. Üldjuhul piirdub tootja loodud funktsionaalsus nutiarvesti seadistamise käskude ja nutiarvesti näitude pärimise võimalustega. Arvestid on taadeldud mõõteriistad, seega tootjad pigem piiravad ligipääsu arvesti riistvarale ja tarkvarale. Puudub võimalus lisada nutiarvestisse kolmanda osapoolse veahalduse või diagnostika programme vms.

Eeltoodud piirangutest lähtuvalt on nutiarvestite tõrgete automaatne analüüsimine ja lahendamine keeruline väljakutse. Nutiarvestite tõrgete lahendamise automatiseerimise väljakutsed kehtivad üldjuhul kõigi esemevõrgu seadmete tõrgete puhul.

1.3 Pakun välja Ettevõttele sobiva nutiarvestite tõrkehalduse lahenduse

Ettevõttes kasutatava nutiseadmete jaoks mõeldud infotehnoloogia-lahendusega on seotud üle 10 000 nutiarvesti ja nutianduri ning nutiseadmete arv kasvab pidevalt. Mida aeg edasi, seda rohkem kulub tööaega nutiarvestite tõrkehaldusele.

Automaatse tõrkehalduse eesmärk on otsustada, kas viga on nutiseadmes, andmesides või on tõrge ajutine ja sellele ei pea reageerima. Selgitan välja, kas automaatse tõrkehalduse loomine on võimalik. Kui automaatse tõrkehalduse süsteemi loomine ei ole võimalik, siis pakun välja lahenduse, mis teeks nutiarvestite ja nutiandurite tõrke analüüsi Ettevõtte töötaja jaoks võimalikult lihtsaks.

Lahenduse väljapakkumiseks leian vastused järgmistele uurimisküsimustele:

millised on väljakutsed nutiarvestite ja nutiandurite tõrkehalduse automatiseerimisel;

kuidas luua universaalne nutiarvestite ja nutiandurite tõrkehalduse süsteem, mis sobib kõikidele nutiarvestitele ja nutianduritele?

1.4 Ülevaade tööst

Peatükis 1 on toodud töö taust, probleem ja eesmärk, milleni töö käigus jõuda. Peatükis 2 antakse ülevaade uuritud objektist ning uurimise läbiviimise metoodikast ning töös kasutatud töövahenditest. Uurimise tulemused on esitatud 3. peatükis, mis koosneb tõrketuvastamise sisendite analüüsist, Ettevõtte rakendusliideste analüüsist ja kogutud teadmiste alusel Ettevõttele sobiva tõrketuvastamise töövahendi loomisest. Alternatiivsete lähenemiste ja töö tulemuste analüüsi leiab peatükist 4. Uurimistöö võtab kokku peatükk 5.

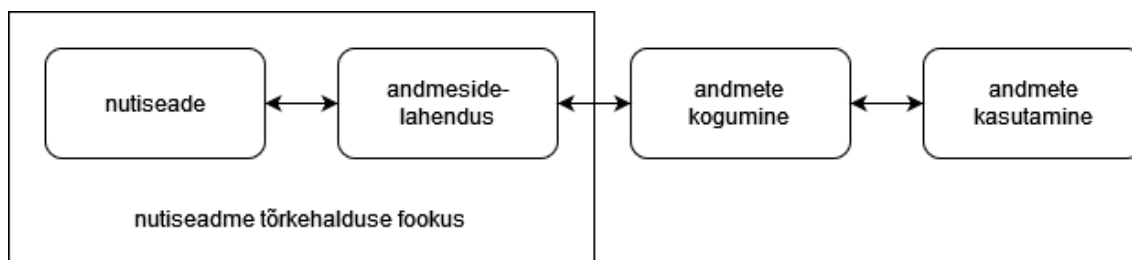
2 Metoodika

Uurimisküsimustele vastuste leidmisel tugines autor isiklikele kogemustele, otsis vastuseid teaduskirjandusest ja sobivaid lahendusi turult.

Törkehalduse automatiseerimise probleemi uurimiseks kasutas autor disainiteaduse meetodit.

2.1 Ettevõttele sobivat nutiarvestite automaatset törkehalduse lahendust ei ole

Ettevõttes kasutatava nutiseadmete jaoks mõeldud infotehnoloogia-lahendusega on seotud üle 10 000 nutiarvesti ja nutianduri. Arvestite näidud ja andurite mõõdetud väärtused kogutakse IoT platvormile, mille kaudu või selle rakendusliidese abil saab lõppkasutaja kogutud andmeid kasutada. IoT platvorm võimaldab nutiseadmeid kuvada, saata neile käske, kuvada nutiseadmete kohta infot, kuid platvorm ei paku sisseehitatud lahendust nutiarvestite törkehalduseks ega törkehalduse automatiseerimise võimalusi. Nutiarvestite automaatse törkehalduse fookuses on nutiseade ise ja andmesidelahendus, mille kaudu nutiseade andmeid saadab (Joonis 1).



Joonis 1. Nutiseadme törkehalduse fookus.

Nutiarvesti või nutianduri tõrke puhul on esimene küsimus, kas viga on seadmes või andmesideühenduses. Andmete kogumiseks on integratsiooni-programmid ja IoT platvorm, need lahendused töötavad serveritel. Serverite ja programmide haldamisega tegeleb administraatorite meeskond, kes kasutab serverite ja programmide töö jälgimiseks standardseid lahendusi. Kuna andmete kogumise osa on töökindel ega mõjuta üldjuhul üksiku arvesti toimimist, ei ole andmete kogumise osa nutiseadmete törkehalduse fookuses.

Kui tõrke põhjuseks on nutiarvesti või nutianduri viga, siis tuleb tehnikul vea kõrvaldamiseks minna nutiseadme juurde ja seade vahetada või parandada.

Kui tõrke põhjuseks on andmesidelahenduse viga, siis võib vea parandamine õnnestuda ilma nutiseadme juurde minemata.

Kuna Ettevõtte on andmesidevõrgu omanik, on Ettevõttel ligipääs võrgu tehnilistele parameetritele ja logidele jne. Kitsariba-esemevõrk töötab mobiilioperaatori andmesidevõrgu osana ja nii on võimalik kasutada operaatori mobiilse andmeside haldamise tööriistu ka nutiseadmete tõrkehalduse lahenduse loomisel.

Ettevõtte nutiarvestid kasutavad reeglina traadita andmesidet, kas kitsariba-esemevõrku (NB-IoT) või mobiilset andmesidet (2G või 4G). Andmesidelahenduste uurimisel keskendun traadita andmesidest tingitud nutiseadmete tõrgete uurimisele.

Nutiseadmest endast tingitud tõrke põhjuste väljaselgitamisel saab tugineda nutiseadmest enne tõrget saadetud andmetele, mis on kogutud IoT platvormile. Uurimisel keskendun selle tuvastamisele, milliseid andmeid saab kasutada kõikide nutiseadmete puhul, et vältida iga nutiseadme tüübi jaoks erilahenduste loomist.

2.2 Töövahendid

Jooniste loomiseks kasutasin programmi <https://www.diagrams.net/>.

Rakendusliidese päringute uurimiseks kasutasin rakendusliideste arendamise programmi Postman <https://www.postman.com/>.

2.3 Probleemi uurimiseks ja lahenduse pakkumiseks on kasutatud disainiteaduse meetodit

Tõrkehalduse automatiseerimise probleemi uurimiseks on töös kasutatud disainiteaduse meetodit.

Ettevõttele sobiva nutiarvestite tõrkehalduse lahenduse valideerimiseks kasutatakse ekspertide hinnanguid.

Tulemusteni jõuti analüüsi ja disainiteaduse meetodit [5] kasutades. Analüüsi Ettevõttes kasutatavaid nutiarvesteid ja nutiandureid, et leida kõik nutiseadmeid ühendavad väärtused, mis võimaldaksid luua universaalse tõrkehalduse protsessi, mida saab automatiseerida.

Analüüsi Ettevõtte mobiilse andmeside haldamise tööriistu ja rakendusliideseid (API), et leida rakendusliideseid, mille kaudu saadud infot saaks kasutada traadita andmeside probleemide universaalseks tuvastamiseks. Sellist infot saab kasutada nutiarvestite ja nutiandurite tõrkehalduse protsessi automatiseerimiseks.

Teaduskirjandusest otsiti lahendusi, mida saaks kasutada nutiarvestite ja nutiandurite automaatse tõrkehalduse realiseerimiseks.

Disainiteaduse meetodit kasutades pakutakse välja nutiarvestite ja nutiandurite automaatse tõrkehalduse lahendus.

3 Tulemused

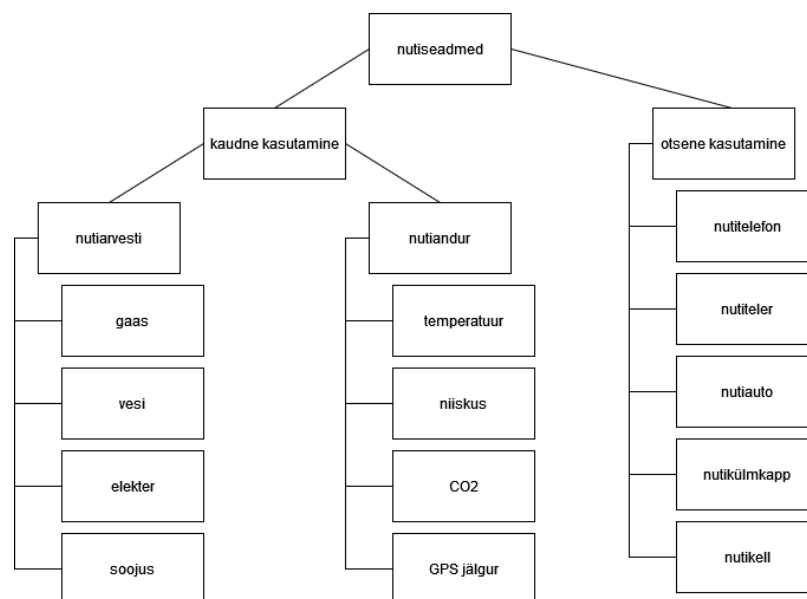
Nutiarvestite ja nutiandurite universaalse tõrkehalduse süsteemi loomiseks on vaja leida võimalikult universaalsed väärtused, mille alusel saab tuvastada tõrke põhjuse. Selleks analüüsiti, milliseid universaalseid väärtusi on võimalik saada nutiseadmete kohta ja milliseid traadita andmesidevõrgu rakendusliideste kaudu.

3.1 Tõrke tuvastamise sisendid

Nutiarvestite ja nutiandurite tõrke analüüsimiseks on vaja aru saada nende seadmete olemusest ning andmetest, mida saab seadme tõrke analüüsimiseks kasutada.

3.1.1 Kasutajat ei saa kaasata tõrkehalduse protsessi

Nutiarvestite ja nutiandurite kokkupuude inimesega erineb näiteks nutitelefonide omast selle poolest, et inimesed kasutavad neid kaudselt. Koostas in nutiseadmete taksonoomia (Joonis 2) liigitab nutiseadmed kaheks. Nutiseadmed mida kasutatakse kaudselt või otse.



Joonis 2. Nutiseadmete otsese või kaudse kasutamise taksonoomia.

Kui nutiseadet kasutatakse otse, näiteks nutitelefoniga, siis saab kaasata inimkasutaja nutiseadme tõrke lahendamisel, näiteks paluda tal nutiseade taaskäivitada. Nutiarvestite ja nutiandurite puhul huvitab inimkasutajat nutiseadme kogutud info ja tihti ei tea isegi seda, kus arvesti või andur füüsiliselt asub. Kommunaalteenuste nutiarvestid kuuluvad

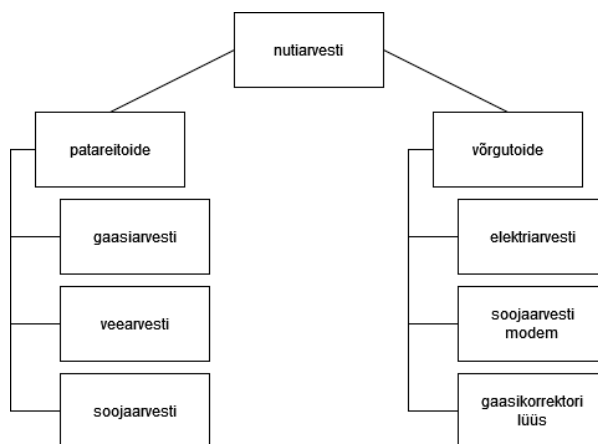
tavaliselt kas kommunaalteenuse pakkujale või ühistule. Selle tõttu ei saa inimkasutajat nutiarvesti või nutianduri tõrgete lahendamiseks kaasata.

3.1.2 Nutiarvestid on üldiselt patareitoitega

Nutiarvesti paigalduskohas ei ole tavaliselt elektrit. Nutiarvesti peab töötama ka elektrikatkestuse ajal, seega peab arvesti tarbimise mõõtmine töötama patareidel. Erandiks on elektriarvesti, mis saab toite elektrivõrgust ega pea volukatkestuse ajal töötama, kuna ei ole elektrit, mille tarbimist mõõta.

Reeglina on nutiarvestites eraldi patarei arvesti funktsionaalsuse jaoks ja eraldi patarei andmeside mooduli jaoks.

Koostasid nutiarvesti toiteallikate taksonoomia (Joonis 3), mis näitab, et võrgutoidet kasutavad elektriarvestid ja arvestite andmesidemoodulid, mis edastavad arvesti kogutud andmeid.



Joonis 3. Nutiarvesti toiteallika taksonoomia.

Patareitoite kasutamine ei võimalda realiseerida nutiarvestis ressursimahukat automaatset tõrkehaldust.

3.1.3 Nutiseadmete seadistuse sünkroniseerimine ei ole võimalik

Esemevõrgu seadmete haldamisel soovitatakse kasutada digiteisikut [6], et selle kaudu aidata seadmel hakkama saada muutuv keskkonnas ning hoida seadme hetkeseisu. See eeldab füüsilise seadme ja digiteisiku seadistuse sünkroniseerimise võimalust.

Ettevõtte nutiarvestite ja nutiandurite analüüs näitab, et enamik neist suudab vastu võtta käske kommunikatsioonimooduli seadistamiseks, kuid seadistusi ei saa seadmest pärida. Kommunikatsioonimooduli seadistuse pärimise võimalus patareitoitel seadmete puhul (Tabel 1) ja võrgutoitega seadmete puhul (Tabel 2).

Tabel 1. Patareitoitel nutiseadmete andmete saatmise intervall ja seadistamine.

Arvesti tüüp	Andmete saatmise intervall minutites	Kommunikatsioonimooduli tüüp	Kommunikatsioonimoodul kaugelt seadistatav	Kommunikatsioonimooduli seadistuse pärimise võimalus
Veearvestid	1440	arvesti osa	jah	ei
Gaasiarvestid	1440	arvesti osa	ei ole teada	ei ole teada
Soojaarvestid	1440	laiendusplaat	jah	ei
GPS-jälgurid	720	seadme osa	jah	ei

Tabel 2. Võrgutoitel nutiseadmete andmete saatmise intervall ja seadistamine.

	Andmete saatmise intervall minutites	Kommunikatsioonimooduli tüüp	Kommunikatsioonimoodul kaugelt seadistatav	Kommunikatsioonimooduli seadistuse pärimise võimalus
Gaasi-korrektorid	5	väline modem	jah	jah
Soojaarvestid	15	väline modem	jah	ei ole teada
Elektriarvestid	5	arvesti osa	jah	ei

Seega ei ole nutiarvestite ja nutiandurite puhul võimalik luua universaalset digiteisikulahendust, mille abil saaks tuvastada nutiseadme tõrke põhjuse.

3.1.4 Nutiseadmete andmeside muster on erinev ja seda ei saa kasutada tõrgete ennetamiseks

Nutiseadmed saadavad andmeid erineva intervalliga sõltuvalt patareitoitest (Tabel 1) või võrgutoitest (Tabel 2). Andmete saatmise intervall ei ole alati täpselt sama vältimaks olukorda, kus mobiilne andmesidevõrk koormatakse üle, kui kõik seadmed hakkavad

korraga andmeid saatma. Osa seadmetest võib saata tavalistele andmetele lisaks veel alarmide infot suvalisel hetkel, näiteks veearvesti tuvastab toru lõhkemise ja saadab kohe alarmi.

Sellest tulenevalt ei saa masinõppe jaoks luua universaalseid seadmete käitumise mustreid, millest kõrvalekaldumise saaks automaatselt tuvastada. Seega ei ole võimalik andmeside mustri muutumist kasutada nutiseadme tõrke ennetamiseks.

3.1.5 Traadita andmeside levi kvaliteeti saab hinnata peamiselt nutiseadme saadetud info alusel

Igasuguse traadita andmesidevõrgu puhul sõltub andmeside kvaliteet ja andmeside võimalus ümbritsevast keskkonnast. Kui nutiseade asub maa all või hästi varjestatud kohas, siis ei ole andmeside võimalik või on raskendatud. Kitsariba-esemevõrk on mõeldud selleks, et see tungiks sügavale hoonetesse, kuid katsetused [7] näitavad, et erinevad objektid ja kaugus tugijaamast võib levi olulisel määral mõjutada.

Traadita andmeside levi välisõhus ei ole igal aadressil mõõdetud. Isegi kui seda mõõta igal pool, siis võib väliskeskkonna muutus, nagu pargitud auto või metsalangetamine, levi muuta. Traadita andmesidevõrgu planeerijad kasutavad traadita andmeside levi üldpildi loomisel mudeleid, mis kajastavad arvutuslikku levi kõikidel aadressidel, kuid see mudel ei anna täpset pilti reaalsest olukorrast mingil kindlal aadressil.

Nutiseadme modem on see nutiseadme osa, mis saab koguda infot selle kohta, milline on levi nutiseadme asukohas.

Kitsariba-esemevõrgu modemiga nutiseadmed edastavad üldjuhul levi kohta väärtused RSRP, RSRQ ja ECL (Lisa 5). Need väärtused on kõigi kitsariba-esemevõrgu seadmete lõikes võrreldavad. RSRP ja RSRQ võimaldavad hinnata seda, kas seadme asukohas on levi seadme jaoks väga hea, hea, rahuldav, halb või väga halb. ECL lubab hinnata, kas modem valib andmete saatmiseks kordussaatmise režiimi või mitte. See iseloomustab modemi hinnangut leviolukorrale nutiseadme asukohas.

Kitsariba-esemevõrgu puhul ei ole mobiilivõrgu andmetest võimalik teada saada, milline on levi modemi asukohas. Mobiilivõrgu andmetest saab koguda ECL režiimi kasutamise infot, kuid see on üldistatud statistika mobiilivõrgu kärje kohta ja ühe seadme kohta ei ole võimalik eraldi infot saada.

GSM levi 2G-võrgus iseloomustab ainult RSSI väärtus. 3G võrk suletakse lähiajal ja 2G-võrk suletakse arvatavasti paari aasta jooksul. Tööle jääb 4G(LTE)-võrk. 4G-võrgu puhul on võimalik arvutada RSSI väärtust, kuid see ei ole üksüheselt võrreldav 2G-võrgu RSSI väärtusega. Seega ei saa RSSI väärtusi otse võrrelda, teadmata, millise põlvkonna mobiilivõrku seade kasutab.

GSM 4G(LTE) levi iseloomustamiseks on RSRP, RSRQ ja SINR, mis annavad parema ettekujutuse levist kui RSSI väärtus.

Kui kitsariba-esemevõrgu ja 4G(LTE) modemid edastavad levi kohta väärtusi RSRP ja RSRQ, siis need väärtused ei ole üks ühele võrreldavad.

Seega on vaja enne nutiseadme modemi leviparameetrite hindamist teada saada, kas modem on kitsariba-esemevõrgus, 2G- või 4G-võrgus. Mobiilse andmeside võrgu omanik saab selle info võrgu haldamise süsteemist.

Kõiki modemeid ei saa eeltoodu põhjal üks ühele võrrelda, kuid kõik nutiseadmest saadud RSRP, RSRQ, SINR, ECL ja RSSI väärtused tuleks salvestada IoT platvormi andmebaasi standardiseeritud kujul, et seda infot oleks võimalik kasutada arvesti asukohas levi hindamiseks. Andmepunktide nimed ja ühikud peaksid olema kõikide seadmete puhul samad, et lihtsustada nende kasutamist levi hindamisel.

3.1.6 Nutiarvesti või nutianduri kasutaja ei tea traadita andmeside SIM-kaardi numbrit

Mobiilioperaatori andmesidevõrku saamiseks peab nutiseadmes olema SIM-kaart. SIM-kaart võib olla eemaldatav või trükkplaadile joodetud (eSIM). Kui nutitelefonide puhul kasutajad teavad oma telefoninumbrit (MSISDN) ning oskavad andmeside probleemide korral klienditoele selle öelda, siis nutiarvestite ja nutiandurite puhul kasutaja ei tea seadme telefoninumbrit (MSISDN). Nutiarvestite ja nutiandurite haldamine käib tavaliselt seadme sarjanumbriga, mis on kirjutatud ka seadme korpusele. IoT platvormil on seadme sarjanumber tavaliselt ka seadme nimeks ning lisatud ka sarjanumbri väärtusena seadme külge.

Selle erinevuse tõttu vajab klienditugi lahendust, mis võimaldaks otsida nutiarvestit ja nutiandurit nii seadme sarjanumbri kui ka telefoninumbri alusel.

3.1.7 Kitsariba-esemevõrgu modemite kiibistik võib olla tõrgete juurpõhjuseks

Kitsariba-esemevõrgu modemid kasutavad erinevaid kiibistikke. Kasutamise käigus tuleb välja, et osa modemite kiibistikest ei ole hästi õnnestunud ja vajaksid täiendamist ning arendamist. Kui nutiarvestite ja nutiandurite planeeritav eluiga on 10+ aastat, siis tuleks valida selliste seadmete jaoks modemid niisuguse kiibistikuga, mida arendatakse edasi ja mille kohta on juba pikem positiivne kogemus.

Kahjuks selgub kiibistiku olemus tihti alles siis, kui seda kiibistikku kasutavaid seadmeid on palju ja need on pikemat aega töötanud.

Osa kiibistikest on sellised, mille arendamine ja tootmine lõpetatakse. Näiteks lõpetab tootja kitsariba-esemevõrgu kiipide tootmise, kuna see ei ole enam kasumlik või tootja prioriteet.

Sellise riskiga peab arvestama, kuna seadme kasutusiga 10+ aastat eeldab, et probleemide korral saab tootja vajadusel kiibistiku tarkvara uuendada ning uuendusega vead parandada (modemi püsivara uuendamine andmesideühenduse kaudu) või vähemalt koostöös mobiilivõrgu operaatoriga leida lahendusi probleemi minimeerimiseks.

Kiibistiku püsivara viga võib tähendada seda, et modem ei käitu võrgus vastavalt kitsariba-esemevõrgu standardile. Selle tullemuseks on võrku ühendumise probleemid ja tavapärasest suurem modemi energiatarve. Püsivara viga võib panna modemi näiteks kordussaatmise režiimi olukorras, kus selle režiimi kasutamist vaja ei ole, põhjustades modemi tavalisest suurema energiatarbimise.

Kõige sagedasem kehva kiibistiku probleem on modemi tavalisest suurem energiatarbimine, mille tõttu ei suuda seadmed saavutada planeeritud seadme eluiga 10+ aastat.

Seadmete kasutuselevõtul tuleb uurida, millist modemit ja modemi kiibistikku seadmed kasutavad, ja konsulteerida modemi tootjate ning mobiilside-operaatoritega, et selgitada välja, kas seda modemit ning kiibistikku soovitatakse ja kas ning kui kaua sellele kiibistikule tootja tuge pakutakse.

3.1.8 Nutiseadme tõrke hindamiseks saab kasutada universaalseid väärtusi

Nutiarvesti või nutianduri tõrke tekkimisel tuleks automaatse tõrkehalduse puhul lähtuda võimalikult universaalsetest väärtustest.

Seadme puhul on üheks universaalseks väärtuseks toite olemasolu. Ilma patarei- või võrgutoiteta nutiseadmed ei tööta. Võrgutoite varasem olemasolu ei aita tõrke põhjust tuvastada. Patareitoite puhul võib patarei seis aidata tõrke põhjust tuvastada.

Automaatse tõrkehalduse puhul ei ole tähtis patarei pinge või täpne patarei protsent, vaid see, kas patarei on peaaegu tühi või mitte.

Ei ole mõistlik koondada patarei seisu hindamist kesksesse süsteemi, vaid see peaks olema seadmele võimalikult lähedal. Parim asukoht patarei sisu hindamiseks on integratsiooniprogramm, mis suhtleb seadmega, on seadmespetsiifiline ja omab kõige rohkem teadmisi seadme eripärade kohta.

Integratsiooniprogramm peaks lisama seadmele IoT platvormi andmebaasi universaalses formaadis hinnangu siis, kui patarei on peaaegu tühi. Kui patarei ei ole peaaegu tühi, ei ole vaja hinnangut lisada või võib lisada hinnangu, et patarei seis on teadmata.

Kõikide seadmete puhul ei ole võimalik patareile hinnangut anda, näiteks siis, kui teada on ainult patarei pinge, kuna ainult pinge alusel patarei seisu arvutamine ei ole sisuliselt võimalik (nutiseadme tootja väide). Kui seade isegi väljastab patarei protsenti, siis see ei tähenda, et kõikide seadmete puhul on patarei peaaegu tühi sama protsendi juures.

Integratsiooniprogramm võiks lisada seadme külge sellise väärtuse.

`deviceBatteryLow: True` (võimalikud väärtused `True` ja `None`)

Universaalseks väärtuseks sobib ka seadme enda poolt tuvastatud riistvara või tarkvara viga või integratsiooniprogrammi poolt tuvastatud seadme riistvara või tarkvara viga. Seadme enda loogika võib tuvastada näiteks seadme korpuse lõhkumise, mõõteahela vea, anduri vea vms. ja anda sellest integratsiooniprogrammile teada. Igal seadmepoolsest erinevatest vigadest teavitamise võime ja ka vead erinevad. Universaalse tõrkehalduse jaoks oleks vaja teada ainult seda, kas seadmepoolsest vigadest teavitamise võime ja ka vead erinevad. Universaalse tõrkehalduse jaoks oleks vaja teada ainult seda, kas seadmepoolsest vigadest teavitamise võime ja ka vead erinevad. Integratsiooniprogramm peaks lisama seadmele IoT platvormi andmebaasis universaalses

formaadis hinnangu, kas seadmel on riistvara või tarkvara viga. Kasutaja saab seadme vea kohta täpsemat infot IoT platvormi kaudu seadme andmeid vaadates.

Integratsiooniprogramm võiks lisada seadme külge sellise väärtuse.

`deviceHardwareOrSoftwareError: True` (võimalikud väärtused `True` ja `None`)

Universaalseks väärtuseks sobib seadme andmete saatmise krediidisüsteemi arvutatud andmete saatmise krediit. Osa seadmetest kasutab patarei oodatava eluea tagamiseks andmete saatmise krediidisüsteemi. Andmete saatmine võtab palju energiat. Krediidisüsteem arvestab andmete saatmiseks kulunud energiat ja vähendab saatmise krediiti. Kui krediit väheneb kiiremini, kui see jõuab taastuda, siis hakkab seade andmete saatmist piirama ja andmete saatmises tekivad augud. Krediidi kogumiseks seade lõpetab andmete saatmise. Kui krediiti on piisavalt kogunenud, siis hakkab seade jälle andmeid saatma.

Kui krediiti ei ole piisavalt või krediit hakkab varsti otsa saama, siis on ajutise tõrke põhjuseks seadme krediidisüsteem.

Integratsiooniprogramm võiks lisada seadme külge sellise väärtuse.

`device_credit_low: True` (võimalikud väärtused `True` ja `None`)

Tavaolukorras ei peaks seadme krediit pidevalt otsa saama. Kui seadme krediit saab pidevalt otsa, siis peab seda olukorda erijuhtumina uurima.

3.1.9 Nutiseadme tõrke hindamine kitsariba-esemevõrgu info alusel

Kitsariba-esemevõrgus ei ole võimalik näha, milline on levi arvesti asukohas (3.1.5), aga on võimalik näha, millise kärje külge on nutiseadme SIM-kaart ühendatud ja kas selle SIM-kaardiga on seotud veateateid.

On olemas rakendusliidesed, mille kaudu on võimalik aadressi alusel leida kärg, mille külge peaks kitsariba-esemevõrku kasutatav nutiseade ühenduma.

Kui on näha, millise kärje küljes nutiseade on ja kui on teada nutiseadme asukoha aadress, siis saab nende andmete alusel automaatselt otsustada, kas nutiseade on selle kärje küljes, mille külge nutiseade peaks ühenduma. Mõne aadressi jaoks võib rakendusliides pakkuda mitu sobivat kärge, siis saab automaatselt vaadata, kas nutiseade on ühendunud kärje külge, mis on sobivate kärgede nimekirjas.

Kui nutiseade ühendub mõne teise kärje külge, kui võrgu planeerimisel paika pandud, siis võib olla tegemist kärje rikkega.

Kitsariba-esemevõrgu jaoks on olemas rakendusliidesed, mille kaudu saab kontrollida, kas mõni kärg on veaolekus. Kui see kärg, mille külge on nutiseade ühendunud, on veaolekus, siis võib tõrke põhjuseks olla selle kärje viga. Kui veaolekus on mõni kärg nendest kärgedest, mille külge nutiseade peaks ühenduma, siis võib tõrke põhjuseks olla see, et nutiseade ei saa seda kärge kasutada (rikkis kärg oleks nutiseadme jaoks kõige parema leviga vms.).

Kitsariba-esemevõrgu eripäraks on see, et kitsariba-esemevõrgu kärg on mobiilivõrgus eraldi kärjena, kui kasutab samal sagedusel töötava 4G-andmeside kärje riistvara. Sellest tulenevalt tuleb kontrollida kitsariba-esemevõrgu kärjega seotud 4G-andmeside kärje olekut, kuna 4G-andmeside kärje rike mõjutab ka kitsariba-esemevõrgu kärge.

3.1.10 Nutiseadme tõrke põhjuseks võib olla SIM-kaardi vale seadistus

Nutiseadmete turvalisuse tagamiseks seadistatakse nutiseadmete SIM-kaart töötama pääsupunktinime kasutades. Selline privaatne pääsupunkt eraldab nutiseadme ülejäänud seadmetest, võimaldades piirata nutiseadmete omavahelist suhtlust ja suhtlust serveritega ning pääsu internetti.

Kui SIM-kaardile on lubatud vale pääsupunkt, siis nutiseade ei saa ühendust integratsiooniserveritega.

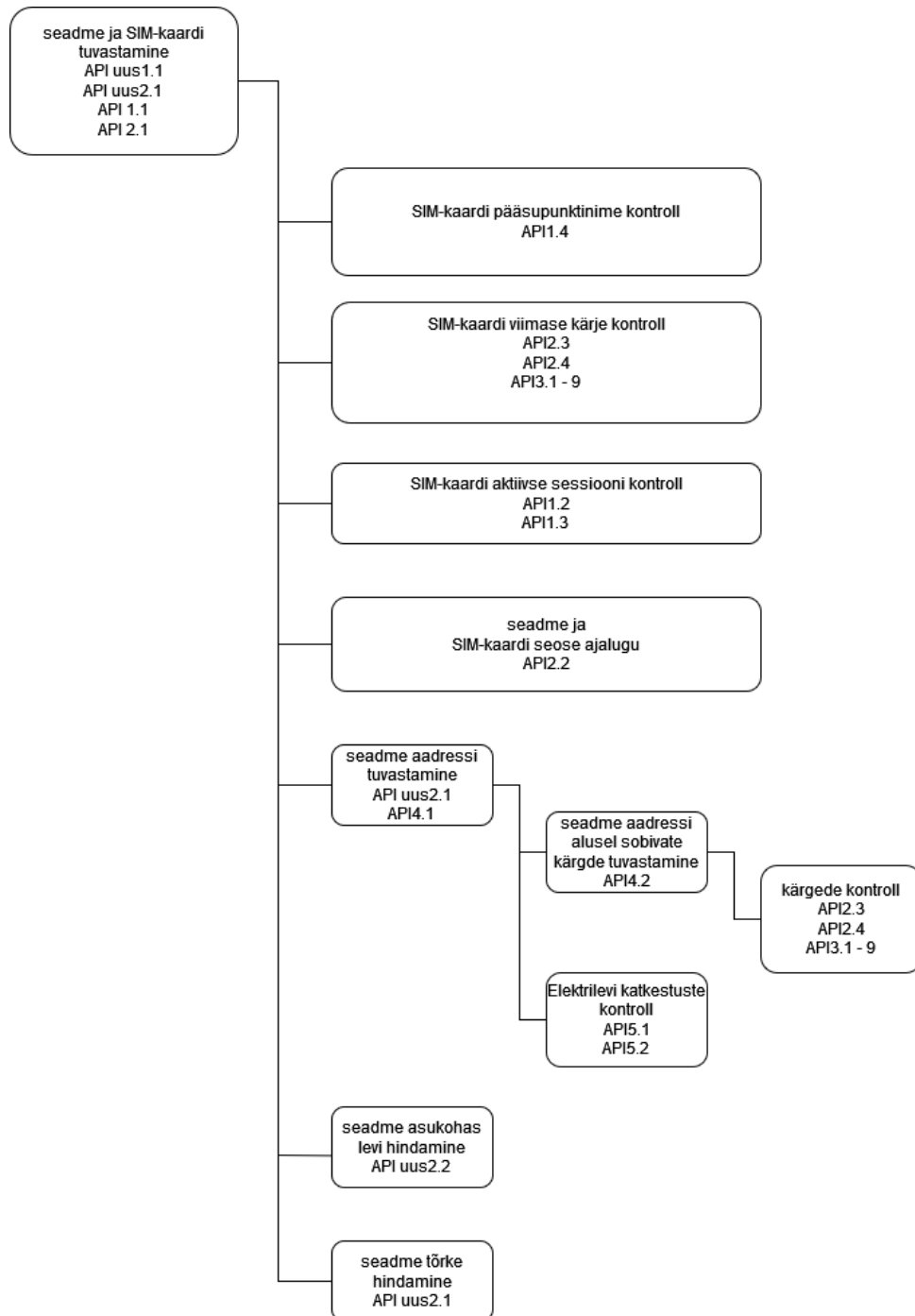
Pääsupunkte võib olla mitu ja pääsupunktid võivad erineda näiteks IP-aadresside määramise alusel, kui kasutatakse DHCP-d või staatilisi IP-aadresse.

Nendest erinevustest tingituna on keeruline automaatselt tuvastada, kas nutiseadme SIM-kaardi pääsupunkti nimi on õigesti seadistatud või mitte. Automaatselt saaks kontrollida seda, kas pääsupunkt on nutiseadmete jaoks kasutatavate pääsupunktide nimekirjas. Nutiseadme tüübi jaoks sobivate pääsupunktide info peaks olema nutiseadme integratsioonikoodi konfiguratsiooni failis ehk seadmele võimalikult lähedal. Siis saaks selle info alusel pääsupunkti seadistust täpselt kontrollida.

SIM-kaardile seadistatud pääsupunkti info on võimalik saada rakendusliidese kaudu. Isegi kui selle info alusel ei saa teha automaatseid otsuseid, oleks vaja see info kuvada kasutajale tõrke põhjuste väljaselgitamiseks.

3.2 Ettevõtte rakendusliideste info kogumine ja analüüs

Ettevõttes on kasutusel palju rakendusliideseid, mille kaudu saab mobiilivõrgu, SIM-kaardi ja nutiseadmete kohta informatsiooni. Joonis 4 näitab tõrketuvastamise sammude ja iga sammu jaoks vajalike rakendusliideste seoseid.



Joonis 4. Tõrke põhjuse tuvastamise sammu seos rakendusliidestega.

Uurimise käigus kaardistati kõik rakendusliidesed, mida on Ettevõttes seadmete tõrgete analüüsimiseks varem kasutatud. Lisaks uuriti Ettevõtte mobiilse andmeside spetsialistide käest, milliseid andmeid on SIM-kaardiga seotud andmeside kohta olemas ja milliste rakendusliidest kaudu on võimalik neid andmeid kasutada. Rakendusliidest kaardistamisel selgus, et hetkel on liidest kaudu kogutav info kasutusel kasutajaliidest info kuvamiseks ja automaatseid otsuseid selle info põhjal ei tehta.

Ettevõtte rakendusliidest on toodud Lisas 2. Analüüsi käigus selgus, et olemasolevatest rakendusliidestest ei piisa ja tõrke põhjuse tuvastamiseks on vaja luua uusi rakendusliidest (Lisa 3). Ettevõttevälise rakendusliidestena (Lisa 4) sobib kasutamiseks Elektrilevi rikete ja plaaniliste katkestuste rakendusliidest, kuna elektrikatkestus võib mõjutada nii nutiseadme kui ka mobiilivõrgu tööd.

Rakendusliidest analüüsidest selgus, et rakendusliidest kaudu kogutud info alusel saab tõrke põhjuse üksüheselt tuvastada üksikutel juhtudel. Kui üksüheselt tuvastatavat olukorda ei ole, siis tuleb hinnata kõikide tõrketuvastamise sammude tulemusi tervikuna.

3.2.1 Tõrketuvastamise sammud

Tõrke tuvastamiseks tuleb leida nutiseadme ja SIM-kaardi seos, et oleks võimalik hinnata, kas tõrke põhjus on nutiseadmes, andmesides või tõrge on ajutine ning sellega ei pea tegelema.

Tõrketuvastamise sammule lisati tõrkepõhjuse hinnang tabelina. Tõrke põhjuse hinnang on vahemikus 0 – 100%.

3.2.2 Seadme ja SIM-kaardi tuvastamine

Kui Ettevõtte klient teatab nutiseadme tõrkest või monitooringusüsteem leiab tõrkekahtlusega nutiseadme, siis on esimene samm seadme ja seadme SIM-kaardi tuvastamine. Nutiarvestite ja nutiandurite puhul ei tea kasutaja tavaliselt andmeside SIM-kaardi kohta mitte midagi (3.1.6), vaid teab seadme sarjanumbrit. Rakendusliidest abil leitakse sarja numbri alusel seadme info ja seadme SIM-kaardi info.

Kui seadme ja seadme SIM-kaardi infot ei ole võimalik tuvastada, siis ei ole automaatne tõrketuvastamine võimalik. Kui on teada kas seadme info või seadme SIM-info, siis saab läbida tõrketuvastamise samme osaliselt.

3.2.3 SIM-kaardi pääsupunkti kontroll

Kui rakendusliidese päringust selgub, nutiseadmele lubatud pääsupunktide nimekiri, siis saab kontrollida, kas SIM-kaardile määratud pääsupunkt (APN) on lubatud pääsupunktide nimekirjas (3.1.10). Kui SIM-kaardile määratud pääsupunkt ei ole lubatud pääsupunktide nimekirjas, siis on tõrke põhjuseks SIM-kaardile määratud vale pääsupunkt, mille tõttu ei saa SIM-kaart õigesse andmeside võrku. Probleemi lahenduseks on SIM-kaardi pääsupunkti muutmine lubatud pääsupunktiks.

Kui SIM-kaardi pääsupunkt on lubatud pääsupunktide nimekirjas, siis on pääsupunkt õigesti seadistatud.

Tabel 3. SIM-kaardi pääsupunkti kontrolli tulemuse ja tõrke põhjuse seos.

Kontroll	Andmeside probleem %	Seadme probleem %
Õige pöörduspunkt	0	0
Vale pöörduspunkt	100	0
Ebaselge	1	0

Kui nutiseadmele lubatud pääsupunktide nimekirja ei ole, siis on pääsupunkti kontrolli tulemus on ebaselge.

3.2.4 SIM-kaardi viimase kärje kontroll

Rakendusliidese kaudu saab teada, millise tugijaama kärje kaudu toimus viimane andmesideühendus. Kui viimati kasutatud tugijaama kärge ei ole enam töökorras, siis ei saa seade kasutada andmesidet selle kärje kaudu (3.1.9). Samas ei tähenda selline olukord

seada, et seade ei saa ühenduda mõne teise kärje külge, kuid on suur tõenäosus, et kärjehäired võivad halvendada traadita andmesidet seadme asukohas.

Kui nutiseade on andmeid saatnud, siis peaks viimase kärje info olema olemas. Kui see on puudu, siis on probleem kas andmeside ühenduse loomisel või seadmes, mis ei ürita andmeside ühendust luua.

Tabel 4. SIM-kaardi viimase kärje kontrolli ja tõrke põhjuse seos.

Kontroll	Andmeside probleem %	Seadme probleem %
Viimane kärj töökorras	0	0
Viimane kärj ei ole töökorras	50	0
Ebaselge	10	10

IoT platvormil on nutiseade näha pärast seda, kui seade on vähemalt üks kord andmeid saatnud. Esimesel andmete saatmisel luuakse seade ning lisatakse IoT platvormi andmebaasi. Kui seadme tuvastamine õnnestus ehk seade oli IoT platvormi andmebaasis, siis saab sellest järeldada, et seade on vähemalt ühe korra andmeid saatnud ja selle tõttu peaks olema näha ka kärj, mida seade viimast korda andmete saatmiseks kasutas.

3.2.5 SIM-kaardi aktiivse andmesideseansi kontroll

Kitsariba-esemevõrgu puhul jääb mobiilse andmeside seanss aktiivseks ka siis, kui nutiseade läheb energiasäästu režiimi. Kui andmeside seanss jääb aktiivseks, siis saab seda jätkata, kui seade tuleb energiasäästurežiimist välja. Nii saab säästa energiat, mis muidu kuluks uue andmeside seansi loomiseks.

Kitsariba-esemevõrgu tavaolekus on korraga aktiivsed CMG- ja MME-seansid. Kui tekib olukord, kus on aktiivne ainult MME- või CMG-seanss, siis see on andmeside võrgu viga. Selle vea saab parandada rakendusliidese kaudu sessiooni kustutades.

Tabel 5. SIM-kaardi viimase aktiivse andmeside seansi ja tõrke põhjuse seos.

Kontroll	Andmeside probleem %	Seadme probleem %
CMG ja MME seanss	0	0
Ainult CMG seanss	100	0
Ainult MME seanss	100	0
Ainult MME mitteaktiivne seanss	1	10
Mõlemad seansid puudu	1	1

Mitteaktiivne MME-seanss viitab sellele, et seanss on aegunud, mis omakorda osutab pigem sellele, et nutiseade ei ole seda sessiooni aktiivsena hoidnud ja probleem on suurema tõenäosusega seadmes.

Kui mõlemad sessioonid on puudu, siis see võib olla ajutine olukord ja sessioon taastub siis, kui nutiseade uuesti sessiooni algatab. Mõlemad sessioonid võivad katkeda näiteks mobiilse andmeside võrgu komponentide uuendamise käigus vms.

3.2.6 Seadme ja SIM-kaardi seose ajaloo kontroll

Reeglina on ühe nutiseadmega seotud üks SIM-kaart. Mõne nutiseadme puhul on SIM-kaart kiibina, mis on joodetud seadme trükkplaadile ja selle vahetamine ei ole võimalik. Kui nutiseade vahetatakse uue seadme vastu välja, võib tekkida olukord, kus SIM-kaart tõstetakse teise seadmesse ringi. Rakendusliidese kaudu on võimalik teada saada, millal ja millise IMEI-koodiga (nutiseadme modemi IMEI) on SIM-kaart seotud olnud.

Tabel 6. SIM-kaardi ja seadme seose kontrolli ja tõrke põhjuse hinnanguline seos.

Kontroll	Andmeside probleem %	Seadme probleem %
SIM-kaardiga on seotud ainult üks IMEI	0	0
SIM-kaardiga on seotud uus IMEI viimase 7 päeva jooksul	10	10
SIM-kaardiga on seotud uus IMEI varem kui viimase 7 päeva jooksul	5	5

Kui seadme ja SIM-kaardi seos on lähiminevikus muutunud, siis võib see viidata sellele, et SIM-kaart on sattunud vale seadme sisse või SIM-kaardi seadistus ei sobi uue seadmega.

3.2.7 Seadme aadressi tuvastamine

Nutiarvestitel ja nutianduritel ei ole tavaliselt sisseehitatud süsteemi, mis automaatselt annaks seadme asukoha, kuna seadmed on siseruumides ja keldrites, kus ei ole GPS-signaali. IoT platvormi kasutajaliidese või rakendusliidese kaudu on võimalik lisada seadme aadressi ja seadme asukoha koordinaate, kuid infot aadressi kohta tavaliselt ei lisata, kuna aadressid, kliendi kontaktid jne. on IoT platvormi kasutava kliendi raamatupidamise programmis või infosüsteemis.

Nutiarvesti või nutianduri asukohta on vaja selleks, et kontrollida, kas seade ühendub õige mobiilivõrgu kärke külge ja kas selle asukoha teenindamiseks mõeldud mobiilivõrgu kärjed on hetkel töökorras. Seadme aadress võimaldab kontrollida, kas seadme aadressil või seadme lähikonnas on elektrikatkestusi.

3.2.8 Seadme aadressi alusel sobivate kärede tuvastamine

Kui seadme aadress on teada, saab rakendusliidese kaudu teada mobiilivõrgu kärjed, mida seade peaks kasutama. Kui kärede nimekiri on olemas, siis saab iga kärje olekut kontrollida samamoodi nagu seadme viimase kärje olekut (3.2.4)

Tabel 7. Seadme aadressi alusel sobivate kärede kontrolli ja tõrke põhjuse seos.

Kontroll	Andmeside probleem %	Seadme probleem %
Kõik sobivad kärjed töökorras	0	0
Üks kärg sobivatest ei ole töökorras	50	0
Kõik sobivatest käredest ei ole töökorras	90	0

Sobivate kõrgede nimekiri on mobiilivõrgu planeerimisel paika pandud. Mõnel juhul võib seadme tööks sobida mõni kõrg, mis sobivate kõrgede nimekirja ei kuulu. Põhjuseks on traadita andmeside sõltuvus seadet ümbritsevast keskkonnast. Seega ei saa kõikide aadressi alusel sobivate kõrgede rikke puhul 100% kindlusega väita, et tegemist on andmeside probleemiga. Kõrgede rikkeid on vähe ja rikked parandatakse kiiresti, seega võib isegi ühe sobiva kõrje rike viidata andmeside probleemidele seadme asukohas.

3.2.9 Elektrilevi katkestuste kontroll

Osa nutiarvestitest ja nutianduritest kasutab võrgutoidet, näiteks elektriarvestid. Kui seadme aadressil on elektrikatkestus ja seade töötab võrgutoitel, siis on tegemist ajutise tõrkega, mis laheneb, kui võrgutoide on taastunud.

Kui seade töötab patareidel, siis seadet ennast elektrikatkestus ei mõjuta. Elektrikatkestus võib mõjutada mobiilivõrgu mastide tööd. Selle tõttu võiks võtta aluseks selle, et kui seadme asukoha ümber 5 km raadiuses (traadita andmeside masti maksimaalne leviulatus ei ole tavaliselt üle 5 km) on elektrikatkestus, siis saab seadme tõrke lugeda ajutiseks, mis laheneb siis, kui võrgutoide on taastunud. Elektrikatkestused on Eestis reeglina lühiajalised ja probleemid lahendatakse paari päeva jooksul. Seetõttu ei saa elektrikatkestus olla tõrke juurpõhjus. Kui Elektrilevi teab elektrikatkestusest, siis ei ole kellelgi teisel võimalik elektrikatkestust parandada, ainus võimalus on oodata ära võrgutoite taastumine.

3.2.10 Seadme asukohas levi hindamine

Rakendusliidese kaudu saab pärida seadme poolt saadetud mobiilse andmeside levi infot (3.1.5). Nende parameetrite eraldi hindamine ei pruugi anda ideaalset tulemust, kuid lahenduse esimeses versioonis kasutatakse hindamiseks ainult kirjeid, kus üks või mitu parameetrit on väga halvad. Mõistlik on hinnata vähemalt viimase nädala jooksul saadetud levi parameetreid, et vältida andmeside probleemi hindamist ainult ühe kirje põhjal.

kirjete_arv – rakendusliidese kaudu tagastatud levi kirjete arv

halva_leviga_kirjete_arv – kirjeld, kus üks või mitu parameetrit on väga halvad

$$\text{Andmeside probleem \%} = (\text{halva_leviga_kirjete_arv} / \text{kirjete_arv}) * 100$$

Kitsariba-esemevõrgu levi väärtuste hinnangud on Lisas 5.

3.2.11 Seadme tõrke hindamine

Nutiarvesti või nutianduri kui seadme tõrke tuvastamine peab jääma võimalikult seadme lähedale. Rakendusliidese kaudu päritakse IoT platvormi andmebaasist seadme info. Kui seadme info külge on lisatud universaalsed seadme tõrkeväärtused (3.1.8), siis saab nende alusel hinnata, kas tõrke põhjus on seadmes.

Tabel 8. Seadme universaalsete tõrkeväärtuste ja tõrke põhjuse seos

Kontroll	Andmeside probleem %	Seadme probleem %
deviceBatteryLow = True	0	90
deviceHardwareOrSoftwareError = True	0	100
device_credit_low = True	0	0

Kui seadme patarei on tühjaks saamas ja seade lõpetas andmete saatmise, siis on suure tõenäosusega viga selles, et patarei sai tühjaks.

Kui seadmel on tarkvara- või riistvaraviga, siis on viga kindlasti seadmes.

Kui seadme krediit on otsa saamas, siis võib seade lõpetada andmete saatmise selleks, et krediiti koguda (3.1.8) ehk tegemist on ajutise tõrkega, mis laheneb siis, kui seade on piisavalt krediiti kogunud ja hakkab uuesti andmeid saatma.

3.3 Tõrketuvastamise automatiseerimine

Automaatse tõrkehalduse eesmärk on otsustada, kas tõrke põhjus on nutiseadmes, andmesides või on tõrge ajutine ja laheneb ilma sekkumiseta.

Tõrke põhjuse täpne tuvastamine võimaldaks kogu protsessi täielikult automatiseerida nii, et inimene ei peaks otsustusprotsessis osalema.

3.3.1 Väljakutsed tõrkehalduse automatiseerimisel

Kõige suuremaks väljakutseks tõrkehalduse automatiseerimisel on traadita andmeside olukorra hindamine nutiarvesti või nutianduri asukohas. Traadita andmesidet mõjutab ümbritsev keskkond, mis on ajas muutuv. Looduses lähevad puud lehte, sajab vihma vms. Piirkonda võib tekkida segaja, mis tekitab eetris müra ja takistab traadita andmeside normaalset tööd. Ehitus või remonditööd muudavad ümbritsevat keskkonda nii, et varem hästi töötanud traadita andmeside katkeb.

Kui traadita andmeside on seadmega katkenud, siis ei ole võimalik teada saada, milline on nüüd traadita andmeside olukord seadme asukohas.

Traadita andmeside puhul on tähtis, et seadme modemi ja antenni kombinatsioon oleks raadiotehniliselt hästi lahendatud. Sellest sõltub, kui hästi suudab seade töötada rasketes tingimustes. Kogemused on näidanud, et samas asukohas võib ühe tootja seade töötada paremini kui teise tootja oma, seega ei ole nõrgema leviga asukohas võimalik levitestri mõõtmistulemuste alusel kindlalt väita, et levi on piisavalt hea kõigi nutiseadme tõrgeteta töötamiseks.

Kindel ei ole ka see, millise mobiilivõrgu kärje külge peaks seade ühenduma, kuna mitme kärje olemasolu korral peab seadme modem valima sobivaima kärje, mille signaal on kõige parem seadme asukohas.

IoT platvormi andmebaasis ei ole tihti nutiarvesti või nutianduri asukoha aadressi. Kui seadme aadressi ei ole teada, siis ei saa automaatselt kontrollida, milliste mobiilivõrgu kärgede külge peaks seade ühenduma. Sellest tulenevalt ei saa automaatselt kontrollida, kas need kärjed on töökorras või mitte.

Eelmainitu tõttu on vähe olukordi, mille puhul saab tõrke põhjuse tuvastada täpselt, seega tuleb kõigi tõrketuvastamise sammude tulemusi hinnata tervikuna. Kui koondtulemus viitab selgelt tõrke allikale, siis saab seda automaatselt leitud tulemust käsitleda peaaegu täpse tõrke põhjusena.

3.3.2 Universaalne tõrkehalduse lahendus

Automaatne tõrketuvastussüsteem peaks sobima kõikidele nutiarvestitele ja nutianduritele.

Mobiilivõrgu vaates ei erine sama tüüpi traadita andmeside ühendust kasutavad seadmed omavahel. Olenemata seadme tootjast või tüübist on traadita andmeside võrgu poolt kogutav info samas formaadis kõikide seadmete kohta. Kõigi nende puhul on näha, milliste traadita andmeside kärgede külge seadmed ühenduvad ja kas seadmetel on aktiivne andmeside sessioon vms.

Andmed, mida nutiarvesti või nutiandur enda kohta edastavad, on erinevad ja sõltuvad iga seadme võimekusest ning seadme tootja otsustest. Seadme väärtuste töötlemine ja salvestamine IoT platvormi andmebaasi toimub seadme integratsiooniprogrammi kaudu. Integratsiooniprogramm on autori kogemuste põhjal see koht, kus saab seadmele lisada universaalses formaadis hinnangu seadme oleku kohta. Nii on täpsed teadmised seadme kohta koondatud ühte kohta. Kui lisandub seadme uus tarkvaraversioon või uus riistvara versioon, mis suudab saata rohkem andmeid või mille puhul tuleb seadmest saadetud andmeid teistmoodi tõlgendada, siis tuleb muuta ainult seadme integratsiooniprogrammi ja ei ole vaja teha muudatusi tõrkehalduse lahenduses. Praegu ei lisa seadmete integratsiooniprogrammid seadme andmetele universaalseid seadme olekut kirjeldavaid väärtusi.

3.3.3 Tõrketuvastamise töövahendi loomine

Uurimise käigus selgus, et nutiarvestite ja nutiandurite tõrke põhjuse täpne tuvastamine õnnestub ainult mõnel juhul. Selle tõttu tuleb tõrkehalduse sammude tulemusi hinnata tervikuna ja lähtuda koondtulemusest.

Kui tõrgete tuvastamise töövahendit täiesti automatiseerida ei saa, siis saab luua Ettevõtte töötajate jaoks töövahendi, mis vähendab oluliselt tõrke põhjuste uurimisele kulutatud tööaega.

Töövahendi kasutajaliideseks sobib veebileht, mis koondab ühte vaatesse kokku kõik tõrkehalduse sammude tulemused ja kuvab automaatse tõrkehalduse koondtulemuse. Kui koondtulemus näitab väga selgelt, et tõrke põhjuseks on andmesideühendus, seade või

tõrge on ajutine, siis saab kasutaja sellest hinnangust lähtudes käituda. Kui tulemus on ebaselge või vastuoluline (viga korraga nii seadmes kui ka andmesides), siis saab kasutaja kogutud andmeid analüüsida või suunata probleemi lahendamise edasi järgmise taseme spetsialistile.

Veebilehe turvalisuse tagab see, et leht on ligipääsetav ainult Ettevõtte sisevõrgust ja kasutajaõigused antakse seda vajavatele kasutajagruppidele, kasutades juba olemasolevat ainulogimisega pöördumise süsteemi (SSO).

Tabel 9. Tõrke põhjuse tuvastamise töövahendi esimese versiooni tarkvaraarenduse kulu.

Arendustöö	töötunnid
Seadme ja SIM-kaardi tuvastamiseks „API uus1“	16
IoT platvormilt seadme andmete kogumine „API uus2“	16
Töövahendi lehe serveri ülespanek ja ligipääsuõigused ja tühi esileht	8
API1 andmete kogumine ja nende alusel tõrke analüüsimise kood	24
API2 andmete kogumine ja nende alusel tõrke analüüsi kood	24
API3 andmete kogumine ja nende alusel tõrke analüüsi kood	16
API4 andmete kogumine ja nende alusel tõrkeanalüüsi kood	16
API5 andmete kogumine ja nende alusel tõrkeanalüüsi kood	16
Tõrke põhjuse tuvastamise tööriista esimese versiooni testimine	24
Kokku	160

Tõrke tuvastamise töövahendi esimese versiooni koodi kirjutamine võtab kogunud arendajal 136 töötundi. Kui võtta programmeerimise töötunni hinnaks 85.00 € + km (Ettevõtte programmeerimistöde hinnakiri), siis läheb esimese versiooni loomine maksma 13 600.00€ + km.

Sellele kulule lisandub veel iga seadme puhul integratsiooniprogrammi täiendamine, et lisada IoT platvormil seadme külge seadme olekut kirjeldavad universaalsed väärtused. See võtab olenevalt seadmest 1 kuni 8 arendaja töötundi.

Ettevõtte kõigi teenuste puhul on kasutusel klienditeenindus. Kui kliendil on probleem, pöördub klient klienditeeninduse poole ja siis käivitub Ettevõttesisene probleemi lahendamise protsess.

Ettevõtte klienditeenindusel on kaks taset. Esimene tase on otsekontakt kliendiga, kontakti registreerimine, kliendi tuvastamine, probleemse teenuse või seadme tuvastamine ja lihtsamate probleemide lahendamine. Kui klienditeeninduse esimene tase ei oska probleemi ise lahendada, siis see probleem suunatakse edasi klienditeeninduse teisele tasemele. Kui klienditeeninduse teine tase ei suuda probleemi lahendada, siis suunatakse see Ettevõtte sees valdkonna spetsialistile lahendamiseks. Klienditeeninduse ülesandeks on kliendi pöördumise lahendamise jälgimine ja kliendile tagasiside andmine.

Kui see töövahend oleks ainult Ettevõtte spetsialistide töö hõlbustamiseks, tasuks see aastate jooksul ära, kuna andmete kogumine mitmest süsteemist võtab aega, kuid spetsialistid saaksid hakkama ka ilma selle uue töövahendita.

Uus tõrketuvastamise töövahend on suunatud Ettevõtte klienditeeninduse inimestele. Nii esimese kui ka teise taseme klienditeenindusele. Nutiseadme ja nutiseadme SIM-kaardi tuvastamise funktsionaalsust on vaja, kuna rikke teataja ei tea nutiarvesti või nutianduri SIM-kaardi infot ega saa seega kasutada tavalist töövoogu, mis sobib mobiiltelefonide puhul, kui kasutaja teab oma SIM-kaardiga seotud telefoninumbrit. Uue töövahendi loomine on vajalik tõrgete lahendamiseks nii, et kasutatakse klienditeeninduse esimest ja teist taset ning mõne üksiku juhtumi puhul kõige viimase võimalusena spetsialiste.

Kui uus töövahend hakkab tööle, siis iga automaatse tõrketuvastamise tulemus ja kogutud andmed salvestatakse hilisemaks analüüsiks. Kui automaatne tõrketuvastamine eksis ja selgus õige põhjus, tuleb analüüsida automaatset tõrkepõhjuse hindamise protsessi ja vajadusel muuta tõrketuvastamise hindamist nii, et automaatne tõrketuvastamise tulemus oleks täpsem. Kui automaatset tõrketuvastamist täiendada mitme aasta jooksul ja kui tulemused paranevad, võib automaatne tõrketuvastamine olla nii hea, et seda võib kasutada tõrketuvastamise täielikuks automatiseerimiseks.

4 Arutelu

Nutiarvesti ja nutianduri eesmärk on saada arvesti näite või anduri poolt mõõdetud väärtusi. Nutiseadme tõrge avaldub nii, et seade ei saada enam andmeid. Sellest lähtuvalt seatakse käesolevas töös automaatse tõrkehalduse eesmärgiks otsustada, kas viga on nutiseadmes, andmesides või on tõrge ajutine ja sellele ei pea reageerima. Ettevõtte seisukohast on tähtis aru saada kas viga on andmesides või seadmes. Kui viga on andmesides, siis andmeside probleemide uurimine ja lahendamine on Ettevõtte ülesanne, kuna Ettevõtte pakub nutiseadmete andmeside ja näitude kogumise teenust. Kui viga on seadmes, siis seadmed on Ettevõtte klientide seadmed ja nende seadmete paigaldamise ja vahetamisega tegelevad Ettevõtte kliendid ise.

Kui vastutus on jagatud kahe poole vahel, siis on kõige lihtsam alati väita, et tõrke põhjus on tekkinud teise osapoole tõttu.

Ettevõtte pakub nutiarvestitest ja nutianduritest andmete kogumise teenust alates andmesidest kuni nutiseadmete integreerimiseni. Sellest tulenevalt on teenusega seotud tehniline teadmine peamiselt koondunud Ettevõttesse. Ettevõtte kliendid omavad ja paigaldavad seadmeid ning kasutavad seadmetest kogutud andmeid. Sellest tulenevalt ootavad Ettevõtte kliendid Ettevõttelt tõrke põhjuse väljaselgitamist.

Kui tõrke põhjus on seadmes, siis nutiarvestite ja nutiandurite puhul on tõrke kõrvaldamiseks tavaliselt seadme vahetus uue seadme vastu või seadme patareide vahetus, kui see on võimalik. Seadme juures ei hakata seadet remontima, kuna selleks ei ole kohapeal aega, kuna nutiseadmed või arvestid asuvad tavaliselt kellegi kodus ja tehnik peab oma töö kiiresti lõpetama. Seadme juurde saamiseks tuleb külastus ruumide omanikuga kokku leppida. Külastuse aja kokkuleppimine on väga ajamahukas. Tehniku kohalesõit on kulukas. Eespool toodust tulenevalt tuleks seadme juurde minna viimase võimalusena.

Kui tõrkeid on vähe, siis võiks lihtsuse mõttes alati minna seadme juurde ja see välja vahetada. Selline lahendus ei aita kahjuks siis, kui viga on andmeside ühenduses. Isegi kui tehnik mõõdab testriga levi seadme asukohas, ei tea tehnik, kas ja millised traadita andmeside kärjed on töökorras või millised kärjed peaksid seda piirkonda teenindama.

Seadme juurde läheb Ettevõtte kliendi tehnik, kellel ei ole ligipääsu traadita andmeside ühenduse infole ja kes ei oma ka selle valdkonna teadmisi.

Osa tõrgetest on ajutised. Need on tingitud traadita andmeside riketest, mis võivad olla põhjustatud tormikahjustustest, elektrikatkestustest, traadita andmeside riistvara või tarkvara vigadest, tarkvara uuendustest jne. Seega ei ole paar päeva kestva ajutise rikke uurimiseks tehniku kohapeale saatmine majanduslikult mõistlik.

Siiski ei saa tõrke puhul alati lihtsalt oodata. Kui iga kord oodata vähemalt 7 päeva, ei ole kindel, et tõrge ise laheneb, ning jälle tekib küsimus, kas on vaja minna seadme juurde või mitte.

Kui tõrkele läheneda alati nii, et alati kontrollib Ettevõtte töötaja traadita andmeside infot ja vaatab kuidas seade on andmeid saatnud, siis selle peale läheb väga palju tööaega. Andmed on erinevates süsteemides ja nende tõlgendamine vajab spetsialisti oskusi, tavaline klienditeeninduse töötaja ei saa sellega hakkama. Kuna nutiarvestite ja nutiandurite arv pidevalt kasvab, siis ei ole võimalik kasutada Ettevõtte nutiseadmete spetsialisti tööaega traadita andmeside info analüüsimiseks. Suur osa kontrollimise protsessist on alati sama ning mõnel juhul on andmetest näha, et tegemist on traadita andmesidevõrgu probleemiga. Sellisel juhul peaks probleem liikuma edasi Ettevõtte traadita andmeside spetsialistidele, kelle põhitöö on traadita andmeside rikete analüüs ja lahendamine.

Kui klienditeeninduse töötaja suunab kõik nutiseadme tõrked traadita andmeside spetsialistidele, siis lähevad sinna riketena ka kõik ajutised tõrked ning ka seadmest tingitud tõrked, millega need spetsialistid ei oska midagi teha. See kulutab asjatult nende tööaega.

Eeltoodu näitab, et tõrke ilmnemisel tuleks automaatselt kontrollida nii paljut kui võimalik ja kogutud info alusel otsustada kas tõrke lahendamiseks tuleb minna seadme juurde, edastada tõrke probleem traadita andmeside spetsialistidele uurimiseks või on tegemist ajutise tõrkega ning see ei vaja kiiret reageerimist. Automaatne kontroll võtab

vähe aega ja klienditeenindus saab tõrkest teavitanud Ettevõtte kliendile anda kiiresti esmase hinnangu või paluda ajutise tõrke puhul kliendil oodata ajutise tõrke lahenemist.

4.1 Esemevõrgu seadmete haldamise lahendused ei paku sobivat tõrkehaldust

Esemevõrgu (IoT) seadmetest andmete kogumiseks ja haldamiseks on palju IoT platvorme, näiteks Cumulocity [8] või ThingsBoard [9]. Sellised platvormid pakuvad seadmete haldust ja alarmide kuvamist. Seadmete halduse all pakutakse kasutajaliidest ja lahendusi, kuidas hallata seadmetele käskude saatmist või kõikidele seadmetele tarkvarauuenduste saatmist vms. Kuna seadmed on erinevad, siis tuleb iga seadme tüübi jaoks arendada lisamoodul, mis teeb ära sisulise töö. Alarmidena kuvatakse näiteks alarmi siis, kui seade ei ole ettenähtud aja jooksul andmeid saatnud. Sellise alarmi tekkimine näitab, et on tekkinud tõrge, kuid tõrke põhjuste väljaselgitamiseks ei ole IoT platvormidel sisseehitatud loogikat. IoT platvormid pakuvad erinevaid andmete analüüsimise võimalusi, kuid analüüsi kood tuleb ise kirjutada.

IoT platvormidel saab kasutada ainult platvormile kogutud andmeid. Tavaliselt pakutakse kogutud andmete ja alarmide kuvamist graafikutel või koondvaadetel. Selline lähenemine eeldab, et inimene peab jälgima neid vaateid ja tuvastama ise info, millele peaks reageerima. Kui seadmeid on 10 000 või rohkem, siis paari seadme erinev käitumine ei paista graafikutel silma.

IoT platvormid võimaldavad seadistada seadme või seadmetüübi jaoks piirväärtusi ning nende alusel alarme genereerida. Piirväärtuste abil saab leida paremal juhul olukorrad, kus nutianduri väärtus läheb mõõtevahemikust välja, kuid ei aita kuidagi analüüsida, miks sellised väärtused saadeti või miks seade enam andmeid ei saada.

Autor ei ole leidnud IoT platvormi, mis sisaldaks ka traadita andmeside võrgu haldamise lahendust, mis ühilduks mobiilioperaatorite süsteemidega. Ettevõtte puhul saab tõrke põhjuse väljaselgitamisel kasutada ka Ettevõtte enda traadita andmeside võrgu infot, mida teiste ettevõtetega või Ettevõtte klientidega ei jagata. Sellise info kasutamise võimalust enamusel ei ole, seega ei ole IoT platvormide tootjad sellise funktsionaalsuse lisamisse investeerinud.

4.2 Esemevõrgu seadmete tõrgete vältimiseks ei saa kasutada klassikalisi rikketaluvuse suurendamise viise

Klassikaline seadme rikketaluvuse suurendamine näeb ette seadmete dubleerimise või seadme alamsüsteemide dubleerimise [10]. Nii on võimalik ühe seadme rikke või alamsüsteemi rikke puhul lülitada ümber teisele seadmele või alamsüsteemile nii, et seadme töö ei katke. Sellist lähenemist kasutatakse näiteks lennunduses. Esemevõrgu seadmete puhul ei ole võimalik sellist lähenemist kasutada, kuna eesmärk on toota hinna poolest võimalikult soodsaid seadmeid.

Samuti ei ole mõeldav, et traadita andmesidevõrgu puhul oleks võrk igal pool dubleeritud. See oleks liiga kallis.

Esemevõrgu seadmeid, nagu nutiandureid, saab kasutada suurema süsteemi osana, kus seadmetest saadud info alusel tehakse otsuseid, näiteks temperatuuri andurid, mille info alusel juhitakse küttesüsteemi. Kuid ka sellistel juhtudel kasutatakse võimalikult odavaid nutiandureid, kuna nutianduri tõrkest tekkinud oht ei ole nii suur, et see õigustaks nutianduri või selle alamsüsteemide dubleerimist.

4.3 Aegrea analüüs ei aita leida tõrke põhjust

Aegrea alusel kasutatakse hälbepõhist avastamist. Otsitakse võõrväärtusi, mille alusel otsustada, kas seade töötab korralikult või mitte.

Kõige lihtsamate lahenduste puhul keskendutakse sellele, et tuvastada, kas nutianduri edastatud väärtus jääb etteantud vahemikku. Näiteks põllumajanduses kasutatavate andurite jaoks pakuti välja lahendus[3], millega kaasneb nõue, et seadmete tootjad peaksid seadmega koos tarnima ka anduri seisundi hindamise funktsiooni. Selline lahendus ei arvesta kuidagi sellega, et anduri väärtus võib olla etteantud vahemikus, kuid see väärtus võib olla vale anduri mõõteahela rikke tõttu. Anduri seisundi hindamise funktsiooni tarnimine tootja poolt oleks mõeldav ainult siis, kui kehtestataks globaalne standard ja kõigilt tootjatelt nõutaks selle täitmist.

Universaalne hälbepõhine avastamine võiks efektiivsemalt töötada mitmemuutujaga aegrea analüüsimisel juhendamata masinõppe abil [11] siis, kui muutujad omavad omavahelist seost. Näiteks temperatuuri ja niiskuse andur, mille puhul muutub koos temperatuuriga ka suhteline õhuniiskus. Anduri tõrke korral tekib näiteks olukord, kus temperatuur muutub, kuid suhteline õhuniiskus ei muutu. Sellist mustri kõrvalkaldumist on võimalik avastada ning selle alusel väita, et andur ei tööta enam õigesti ja anduri näite ei saa usaldada.

On pakutud võõrväärtuse tuvastamist nutianduris kasutades võõrväärtuste tuvastamise moodulit [12], mille prototüüp on arendamisel. Selle lahenduse puhul ei ole välja toodud, milline oleks võõrväärtuste tuvastamise mooduli energiakulu ning seega ei ole võimalik hinnata, kas selline lahendus võiks sobida patareidel töötavate seadmete jaoks. Puudub hinnang sellise mooduli maksumuse kohta. Kasutajad soovivad soodsa hinnaga nutiandureid, mis töötaksid patareitoitel võimalikult kaua. Nende soovidega arvestades on võõrväärtuste tuvastamise mooduli lisamine nutiandurile praktiliselt võimatu. Võõrväärtuste tuvastamise mooduli idee autorid juhtisid tähelepanu sellele, et sellise mooduli lisamine tekitab küsimuse, kuidas kontrollida, kas see moodul töötab õigesti. Seega võib sellisest lahendusest võib olla rohkem kahju kui kasu.

Aegrea andmete analüüsimisel keskendutakse anduri võõrväärtuse leidmisele, et see võõrväärtus ei leviks süsteemis kõrgematele tasemetele. IoT süsteemides tekkivate rikete patoloogia koostamisel [13] liigitati vea allikad neljaks tasemeks. Esimene tase on tunnetuslik tase, mis on seotud füüsiliste seadmetega, mille abil andmeid kogutakse ehk anduritega. Esimese taseme seadmete puhul on probleemi lahendamiseks vaja füüsilist sekkumist, kuna anduri riistvara on kuidagi kannatada saanud, anduri näit paigast nihkunud või patarei tühjenenud. Traadita side puhul on ohuks häired, mida saab tuvastada seadme juures. Traadiga ühendused võivad ka aja jooksul halveneda ning sellelgi juhul tuleb probleem tuvastada seadme juures kaableid kontrollides.

Teine tase on andmeside, mille puhul jagunevad põhilised probleemid andmesidekanali olemasolu või puudumise ning andmesidekanali koormuse või selle rikke vahel.

Selline rikete patoloogia aitab IoT süsteemi rikkeid tervikuna vaadata, kuid ei paku selle töö jaoks lahendust, kuidas automaatselt otsustada, kas nutianduri tõrke põhjuseks on esimese või teise taseme viga.

IoT süsteemi kavandamisel saaks kasutada semantikal põhinevat ontoloogiat ja selle baasil automaatset arutlemist süsteemi osade oleku kohta [14]. *Semantic Web Rule Language* [15] reeglite alusel saab automaatse arutlemise tulemusena kontrollida, kas IoT süsteemi komponendid töötavad nii, nagu reeglites on kirja pandud. Pakutakse välja vahetarkvara, mis asub IoT süsteemi juhtseadme ja ülejäänud süsteemi komponentide vahel ja kontrollib andurite väärtusi automaatse arutlemise kaudu. Sisuliselt on tegemist keerulise piirväärtuste kontrolliga. Automaatse arutlemise puhul puudub lahendus vanast infost vabanemiseks. Seega ei saa vahetarkvara pikalt töötada, kuna mälu saab täis, ning selline lahendus ei sobi isegi võõrväärtuste tuvastamiseks.

Aegrea võõrväärtuste tuvastamine võimaldab otsustada, kas nutianduri poolt saadetud väärtus on õige või vale. See ei aita aga leida põhjust, miks nutiandur lõpetas andmete saatmise ja seega ei saa sellist lähenemist kasutada selle töö eesmärkide saavutamiseks.

4.4 Seadme tõrke hindamisel ei saa lähtuda teiste seadmete andmetest

Nutikodu juhtimise süsteemis kasutatakse nutiandureid ning ühe süsteemi sees on võimalik võrrelda süsteemi ja andurite olekut treenimisel saadud olekumustritega nii, et erinevusest saab tuletada, millise anduri olek ei vasta mustrile, ning sellest omakorda anduri rikke [16]. Sellise meetodi kasutamine eeldaks, et andurid on kõik kasutusel ühes süsteemis, mis töötab tervikuna, ning rikke diagnoosimisel saab tugineda teiste andurite andmetele ja süsteemi üldseisule. Sellist lähenemist ei saa kahjuks kasutada, kuna antud töös uuritava Ettevõtte nutiarvestid ja nutisensorid on Ettevõtte vaates eraldiseisvad infoallikad ega moodusta süsteemi, kus võiks süsteemi oleku alusel ühe seadme rikke tuvastada.

4.5 Seadme tõrke põhjuse tuvastamisel ei ole abi IoT süsteemi kihtidevahelisest suhtlusest

IoT süsteemid koosnevad mitmest tasemest [13]. Kui ühel tasemel tekib viga, siis rikketaluvuse vaatest oleks vaja, et kõik süsteemi tasemed saaksid sellest võimalikult vara teada, et sellele võimalikult kiiresti reageerida, et süsteemi töö ei katkeks. Näiteks artiklis [17] kirjeldatud FaTEMa karkass kujutab endast universaalset sidekanalit süsteemi kihtide vahel, mille kaudu saab saata rikketaluvusega seotud sõnumeid.

Sellise lahenduse kasutamine ei ole võimalik selle tõttu, et seadme tõrke puhul (seade ei saada enam andmeid) puudub andmeside kanal, mille kaudu saaks seade saata infot tõrke tekkimise põhjuse tõttu. Midagi sellist oleks võimalik kasutada siis, kui andmesideühendus toimub kaabli kaudu ja andmeside ühenduse katkemine seadmega on väga ebatõenäoline. Isegi siis tekib küsimus, kuidas on võimalik tagada, et kõik IoT süsteemi osad toetavad sellise universaalse sidekanali kasutamist ja universaalsete sõnumite edastamist, kui see lahendus ei ole standardiseeritud ja seadusega kohustuslik kõigi tootjate jaoks. Eelis peaks olema selles, et seadme viga jõuab süsteemi kõigi tasemeteni kiiremini ja nii saab süsteem tervikuna kiiremini reageerida. Kui IoT platvorm või nutianduri andmete tarbija saab kiiremini teada, et nutiandurist enam andmeid ei tule võimaldab see süsteemil hakata kasutama sisendiks mingit muud andurit vms. See info ei aitaks siiski kuidagi aru saada, kas nutianduri tõrke põhjuseks on nutianduri seadme viga või traadita andmeside viga.

4.6 Seadme käitumise muutumise mustrit on keeruline leida

Kui nutiarvesti või nutianduri tõrge on tekkinud, siis tuleb hakata seda tõrget lahendama. Palju parem oleks, kui saaks tõrget ennetada ehk juba enne tõrke tekkimist leida potentsiaalse tõrke põhjus ning kõrvaldada see enne tõrke tekkimist. Seadme patareid tühjenemise hoiatused ja veateated on IoT platvormil näha ning nendele saab reageerida. Kui seade ei saada veateadet, vaid hakkab riistvara- või tarkvaravea tõttu valesti käituma, näiteks kulutab tavalisest rohkem patareid andmete saatmiseks, siis sellist käitumise mustri muutumist on raske tuvastada. Seadmete tavaline andmete saatmise intervall on paigas, kuid seadmed võivad selle intervalli väliselt saata teateid, näiteks veearvesti poolt

tuvastatud lekke alarme. Selle tõttu ei saa kindlalt väita, milline on seadme suhtlemise muster. Masinõppe kasutamiseks on raske leida universaalseid treeningandmeid seadme kõikide erinevate andmeside mustri kontrollimiseks [18], pigem soovitatakse kasutada seadme mikrokontrolleri energiatarbe mustri jälgimist. Energiatarbimise suurenemine võib tuleneda näiteks seadme tarkvaras tekkinud veast või seadme vastu suunatud küberründest põhjustatud lisakoormusest mikrokontrollerile. Esemevõrgu seadmete ressursid on piiratud ning seetõttu ei ole enamikul juhtudel seade võimeline iseseisvalt oma vigu tuvastama ning automaatselt taastuma [18]. Seega tuleb vigade tuvastamine jagada süsteemis laiali. Kuidas seda teha, on vaja veel uurida.

Seadmete vale käitumise automaatne tuvastamine on keeruline, kuna erinevaid esemevõrgu seadmeid on väga palju. Uurimise käigus läbi töötatud kirjanduse ülevaate artiklitest ei leitud lahendust, mis võimaldaks seadme vale käitumise universaalset tuvastamist kõigi seadmete puhul, kasutades tuvastamiseks masinõpet või mõnda muud automaatset lahendust.

4.7 Seadme tõrke põhjustaja võib olla ka inimene

Nutiarvestite ja nutiandurite tõrgete põhjuste uurimist raskendab inimeste käitumine. On juhtumeid, kui inimesed mähivad seadmeid fooliumisse, et kaitsta ennast kiirguse eest, või takistavad muul moel traadita andmesideühendust. Arvestite puhul üritavad inimesed leida viise, kuidas arvesti näitu manipuleerida. Selleks üritatakse arvestite korpust avada, arvesti sisse toppida midagi, millega takistada arvesti tööd. Proovitakse arvestit mõjutada tugeva magnetiga jne.

Selline tegevus mõjutab nutiarvestite ja nutiandurite tööd ettenägematul viisil. Olukorra teeb keerulisemaks veel see, et probleemide ilmnemisel inimesed eemaldavad probleemi tekitaja seadme kontrollimise ajaks. Nii võib tekkida olukord, kus tehnika kontrolli ajal kõik töötab korralikult, kuid hiljem tekivad jälle probleemid, mille põhjus ei ole teada.

Õnneks ei ole selliseid juhtumeid palju, kuid selliste juhtumite puhul on seadme tõrke automaatne hindamine võimatu, kuna tegemist ei ole tehnilise vaid sotsiaalse probleemiga.

4.8 Nutiandurid ja nutiarvestid on rünnete eest hästi kaitstud

Ettevõtte kasutab traadita andmeside ühenduse puhul privaatsaid pääsupunkte. Pääsupunktide seadistuses on võimalik keelata seadmete omavaheline suhtlus ja piirata seadme suhtlust internetiga nii, et seadmed saavad suhelda ainult seadme integratsiooniserveriga. Selline lähenemine tagab, et internetist või sama pääsupunkti siseselt ei ole võimalik seadmetega otse suhelda. Kui mõne seadme töö võetakse üle, siis selle seadme kaudu ei saa teha rünnakuid internetti või rünnata pääsupunkti teisi seadmeid. Traadita andmeside kanal on krüpteeritud ja lisaks sellele on tihti ka seadmetest saadetud andmed krüpteeritud. Traadita andmeside pealtkuulamise või sõnumite muutmise risk on selle tõttu väike.

Eeltoodu näitab, rünne nutiseadme vastu on väga ebatõenäoline. Selle tõttu ei ole ründe tuvastamist lisatud automaatse tõrketuvastamise süsteemi tõrketuvastamise sammude hulka.

5 Kokkuvõte

Aina rohkem toodetakse nutiarvesteid ja nutiandureid, mis võimaldavad automatiseerida äriprotsesse, nagu kommunaalkulude arvestust või hoonete sisekliima juhtimist. Selliste seadmete arv kasvab kiiresti ja sellega seoses tekib aina rohkem seadmete tõrkeid, mille lahendamiseks tuleb aru saada, kas tõrge on ajutine ja laheneb ise või on tõrge põhjustatud seadmest või traadita andmeside võrgust.

Ettevõttes kasutatava nutiseadmete jaoks mõeldud infotehnoloogia-lahendusega on seotud juba üle 10 000 nutiseadme ja nende tõrgete haldamiseks oli vaja välja selgitada, millised on väljakutsed nutiarvestite ning nutiandurite tõrkehalduse automatiseerimisel ja kuidas luua automaatselt töötav tõrkehalduse süsteem, mis sobiks kõikidele nutiarvestitele ja nutianduritele.

Teaduskirjanduses keskendutakse seadme seadistuse muutmisele, seadme saadatud aegreast võõrväärtuste otsimisele või seadmest tulnud võõrväärtusest tingitud vea levimise takistamisele esemevõrgu süsteemis. Uurimise käigus ei leitud teaduskirjandusest lahendust, mis sobiks tõrke põhjuse tuvastamiseks siis, kui seade lõpetab andmete saatmise. Ettevõtte eripäraks on see, et tõrke lahendamiseks on olemas nii seadmete info kui ka mobiilivõrgu info, mida kombineerides on võimalik tõrke põhjusi efektiivsemalt tuvastada. Selle eripära tõttu ei ole turul tarkvaralahendusi, mis pakuks sellist tõrkehalduse võimalust.

Töö käigus selgus, et täielikult automaatse tõrkehalduse süsteemi loomine ei ole võimalik, kuna traadita andmeside seadme asukohas sõltub nii paljudest välistest mõjudest, et selle kvaliteedi täpne automaatne hindamine ei ole võimalik. Kuigi täpne automaatne hindamine ei ole võimalik, siis maksimaalselt automatiseeritud tõrketuvastamise töövahend on Ettevõtte vajalik, et saaks seadmete lihtsamate tõrgete lahendamiseks saaks kaasata Ettevõtte klienditeeninduse mõlema taseme töötajad.

Töös analüüsiti nutiarvestite ja nutiandurite olemust tõrkehalduse vaatenurgast, kaardistati Ettevõtte rakendusliidesed, mida saaks kasutada tõrgete tuvastamiseks, ja uuriti tõrke tuvastamisega seotud teaduskirjandust. Kogutud teadmiste analüüsi tulemusena pakuti välja automatiseeritud tõrketuvastamise töövahendi loomise võimalus.

Tõrketuvastamise töövahendi kasutamise käigus selgub, kui täpsed on automaatsed hinnangud tõrke põhjuste kohta. Kui süsteemi on kasutatud vähemalt pool aastat, siis saab analüüsida automaatse hinnangu ja tegeliku tõrke põhjuse kokkulangemist. Kui automaatne hinnang osutub valeks, siis saab automaatse hinnangu koostamist seadistada. Kui automaatne hinnang teeb väga vähe vigu, siis võib kaaluda selle hinnangu kasutamist tõrkehalduse täielikuks automatiseerimiseks.

Kasutatud kirjandus

- [1] „Andmeladu infosüsteemid | Elering“. <https://www.elering.ee/andmeladu-infosusteemid> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [2] Majandus- ja taristuministri 18.12.2018. a määrus nr 65, „Kohustuslikule metrooloogilisele kontrollile kuuluvate mõõtevahendite nimistu sõltuvalt nende kasutusalaast koos eranditega ja nõuded mõõtevahenditele ning mõõtevahendite taatluskehtivusajad“. Vaadatud: 3. jaanuar 2023. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/aktiilisa/1020/6202/0011/Lisa.pdf>
- [3] ETSI Technical Committee Smart Machine-to-Machine communications (SmartM2M), „SmartM2M Strategic/technical approach on how to achieve interoperability/interworking of existing standardized IoT Platforms“. Vaadatud: 3. jaanuar 2023. [Online]. Available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103536/01.01.02_60/tr_103536v010102p.pdf
- [4] A. Čolaković ja M. Hadžialić, „Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues“, *Comput. Netw.*, kd 144, lk 17–39, okt 2018, doi: 10.1016/j.comnet.2018.07.017.
- [5] *Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering*. Vaadatud: 1. jaanuar 2023. [Online]. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-43839-8>
- [6] A. E. Braten, F. A. Kraemer, ja D. Palma, „Autonomous IoT Device Management Systems: Structured Review and Generalized Cognitive Model“, *IEEE Internet Things J.*, kd 8, nr 6, lk 4275–4290, märts 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3035389.
- [7] H. Malik *et al.*, „NB-IoT Network Field Trial: Indoor, Outdoor and Underground Coverage Campaign“, *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, juuni 2019, lk 537–542. doi: 10.1109/IWCMC.2019.8766568.
- [8] „Cumulocity IoT“. <https://www.softwareag.cloud/site/product/cumulocity-iot.html#/> (vaadatud 31. detsember 2022).

- [9] thingsboard, „ThingsBoard - Open-source IoT Platform“, *ThingsBoard*. <https://thingsboard.io/> (vaadatud 31. detsember 2022).
- [10] A. Aviziens, „Fault-Tolerant Systems“, *IEEE Trans. Comput.*, kd C–25, nr 12, lk 1304–1312, dets 1976, doi: 10.1109/TC.1976.1674598.
- [11] Y. Guo, T. Ji, Q. Wang, L. Yu, G. Min, ja P. Li, „Unsupervised Anomaly Detection in IoT Systems for Smart Cities“, *IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.*, kd 7, nr 4, lk 2231–2242, okt 2020, doi: 10.1109/TNSE.2020.3027543.
- [12] A. Gaddam, T. Wilkin, M. Angelova, ja J. Gaddam, „Detecting Sensor Faults, Anomalies and Outliers in the Internet of Things: A Survey on the Challenges and Solutions“, *Electronics*, kd 9, nr 3, Art. nr 3, märts 2020, doi: 10.3390/electronics9030511.
- [13] M. Melo ja G. Aquino, „The Pathology of Failures in IoT Systems“, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*, Cham, 2021, lk 437–452. doi: 10.1007/978-3-030-87013-3_33.
- [14] G. Chen, T. Jiang, M. Wang, X. Tang, ja W. Ji, „Modeling and reasoning of IoT architecture in semantic ontology dimension“, *Comput. Commun.*, kd 153, lk 580–594, märts 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.02.006.
- [15] „Semantic Web Rule Language“, *Wikipedia*. 28. november 2022. Vaadatud: 31. detsember 2022. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semantic_Web_Rule_Language&oldid=1124370413
- [16] G. Lee, B. Kim, S. Song, C. Kim, J. Kim, ja H. Kim, „Precise Correlation Extraction for IoT Fault Detection With Concurrent Activities“, *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, kd 20, nr 5s, lk 94:1-94:21, sept 2021, doi: 10.1145/3477025.
- [17] M. Melo ja G. Aquino, „Multi-level Fault Tolerance Approach for IoT Systems“, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*, Cham, 2021, lk 421–436. doi: 10.1007/978-3-030-87013-3_32.
- [18] D. Ratasich, F. Khalid, F. Geissler, R. Grosu, M. Shafique, ja E. Bartocci, „A Roadmap Toward the Resilient Internet of Things for Cyber-Physical Systems“, *IEEE Access*, kd 7, lk 13260–13283, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2891969.

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Joonas Künstler

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Väljakutsed nutiarvestite ja nutiandurite tõrkehalduse automatiseerimisel“, mille juhendaja on Jaanus Kaugerand
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

03.01.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Lisa 2 – Ettevõttes kasutatavad rakendusliidesed mobiilse andmeside kontrollimiseks

Ettevõttes kasutatavad rakendusliidesed, mille abil on võimalik tuvastada mobiilse andmeside olukord seadme SIM-kaardi või seadme asukoha alusel.

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API1	1	sim_get	ICCID	ICCID, IMSI, MSISDN	Seadmega seotud SIM-kaardi number(ICCID) on juba varem tuvastatud. Selle päringuga tuvastatakse SIM-kaardiga seotud ülejäänud väärtused.
API1	2	ggsn_userinfo	MSISDN	ggsn, pdn, bearer, apn	CMG sessiooni andmed või sessiooni puudumine.
API1	3	nb_iot_userinfo	MSISDN	mme, state, cell, pdp, bearer	MME sessiooni andmed või sessiooni puudumine.
API1	4	get_apn	MSISDN	apn nimekiri	SIM-kaardile lubatud APN-ide nimekiri.

API1 päringud

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API 2	1	custinfo	IMSI, MSISDN, IMEI	subscriber_name, imei	Päringu abil saab teada SIM-kaardiga seotud kliendi info ja SIM-iga seotud andmesidemodemi IMEI. Selle info abil saab veenduda, et SIM-kaart on tõrke teatajaga seotud ning temale võib sellist infot anda. IMEI võimaldab täiendavalt kontrollida, kas seadme IMEI ja SIM-kaardi IMEI on samad ehk SIM-kaart ja tõrkega seotud seadme sees.
API 2	2	handsets	IMSI	massiiv IMSI-ga seotud modemitest. Modemi nimi.	Tavaliselt peaks massiivis olema ainult üks modem, kuna SIM-kaarti ei tõsteta tavaliselt teise seadme sisse. IMSI-ga seotud IMEI-de massiivis on näha ajatemplitega vahemik, millal seos kestis, ehk siit on näha, kas SIM-kaarti on hiljuti ümber tõstetud. Näha on ka IMEI alusel kuvatud modemi nimed.
API 2	3	last_known_location	IMSI	cell_name, site_name, municipality, technology, frequency_band, last_time, lat, lng	Päringu tulemusena saab kätte, millal ja millise kärje külge SIM-kaart viimati ühendus. Siit näeb, kui kaua on viimasest ühendusest aega möödunud ja kas kasutatakse kitsariba-esemevõrku või mitte. Kui on teada viimase kärje info, siis saab kontrollida, kas see kärg töötab praegu korralikult.
API 2	4	errors	IMSI, from, to	Veateadete massiiv. Iga veateate kohta time, fault_type, cause_code, cause_message, cell_name, cell_tac, cell_enodeb_id.	Andmesidevõrgu veateadete hulgas on ka teated, mis ei ole vead, ehk siin tuleb välja filtreerida veateated, mida ei pea arvestama. Kui siit on näha, et viimane värske veateade on võrgu viga, siis on suure tõenäosusega tõrke põhjuseks see viga.

API2 päringud

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API3	1	iot_locked_cells	-	site_name, cell_name	Väljastab kitsariba-esemevõrgu lukustatud kärgede nimekirja. Kui kärg on lukus, siis selle kaudu andmeside ei toimi.
API3	2	iot_unlock_disabled_cells	-	site_name, cell_name	Väljastab kitsariba-esemevõrgu suletud kärgede nimekirja. Kui kärg on suletud, siis selle kaudu andmeside ei toimi.
API3	3	4g_disabled_cells	-	site_name, cell_name	Väljastab 4G suletud kärgede nimekirja. Kui kärg on suletud, siis selle kaudu andmeside ei toimi. Kitsariba-esemevõrk kasutab 4G kärje riistvara ja kui see ei tööta, ei tööta ka seda riistvara kasutav kitsariba-esemevõrgu kärg.
API3	4	4g_locked_cells	-	site_name, cell_name	Väljastab 4G lukustatud kärgede nimekirja. Kui kärg on lukustatud, siis selle kaudu andmeside ei toimi. Kitsariba-esemevõrk kasutab 4G kärje riistvara ja kui see ei tööta, ei tööta ka seda riistvara kasutav kitsariba-esemevõrgu kärg.
API3	5	4g_degraded_cells	-	site_name, cell_name	Väljastab 4G vähenenud töövõimega kärgede nimekirja. Kui kärg on vähenenud töövõimega, siis selle kaudu andmeside võib toimida kehvemini kui tavaliselt. Kitsariba-esemevõrk kasutab 4G kärje riistvara ja kui see ei tööta korralikult, siis ei tööta ka seda riistvara kasutav kitsariba-esemevõrgu kärg.
API3	6	site_hw_faults	-	site_name	Kui kärjega seotud jaamal on riistvara viga, siis see võib mõjutada seadme andmesidet.
API3	7	site_failed_rets	-	site_name	Kui kärjega seotud jaamal on kärgede seadistamise mootorite viga, siis see võib mõjutada seadme andmesidet.
API3	8	sleeping_cells	-	site_name, cell_name	Kärge võib energia kokkuhoiuks lülitada energiasäästu režiimi. Kui kärg on energiasäästurežiimis, siis selle kärje kaudu andmeside ei toimi.
API3	9	site_unsynchronized	-	site_name	Kui kärjega seotud jaama on sünkroniseerimata olekus, siis see võib mõjutada seadme andmesidet.

API3 päringud

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API4	1	address_location	aadress tekstina	aadressi koordinaadid	Aadressi alusel aadressi koordinaatide leidmine.
API4	2	cellstat	koordinaadid	eutrancell_id, site_name, vendor_name, distance	Päring tagastab koordinaatide asukohas mobiililevi pakkuvate kärgede massiivi. Iga kärje kohta on nimi, sagedus, kaugus kärje ja koordinaatide vahel. Siin nimekirjas on kärjed, mille külge seade peaks ühenduma.

API4 päringud

Lisa 3 – Ettevõtte uued rakendusliidesed, mida on vaja tõrgete haldamiseks

Ettevõttes kasutatavatele rakendusliidestele lisaks on vaja luua kaks uut rakendusliidest.

Neid on vaja automaatse tõrketuvastamise töövahendi loomiseks.

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API1 uus	1	get_sim_from_config	sarjanumber või IMEI või MSISDN või ICCID	sarjanumber, IMEI, MSISDN, IoT platvormi konto, APN	Tõrke teataja käest saadud info alusel seadme ja SIM-kaardi tuvastamine järgmiste päringute jaoks.

API1 uus päring

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API uus	1	get_device	sarjanumber, IMEI, MSISDN, ICCID, iot platvormi konto	seadme objekti andmed IoT platvormilt JSON formaadis	Kui on teada seadme sarjanumber ja IoT platvormi konto, siis saab pärida IoT platvormilt seadme objekti info. Eesmärgiks on kontrollida, kas seade on olemas, millise kliendi seade see on, kas seadme objekti küljes on seadme asukoha info. Kui seade saadab infot, milline SIM-kaart seadmes on, saab kontrollida, kas seadme seadistustes toodud SIMi info läheb kokku seadme enda poolt saadetud andmetega (keegi on SIM-kaarte ringi tõstnud). Kui seadme külge on lisatud seadme oleku kohta universaalseid väärtusi, siis saab need kätte. Saab kätte ka aja, millal seadmest viimane kord andmeid saadeti.
API uus	2	get_device_wireless_network_signal	iot platvormi konto, iot platvormil seadme id, ajavahemik	massiiv traadita võrgu signaalitugevustest	Iga seadme integratsiooniprogramm kirjutab IoT platvormile seadme külge standard formaadis seadme modemi poolt fikseeritud traadita mobiilivõrgu signaalitugevuse ja kvaliteedi info. Info detailsus sõltub seadmest, kui palju andmeid seade saadab või kui palju andmeid saab seadmest küsida. Standardväärtused RSRP, RSRQ, ECL ja RSSI täidetakse vastavalt sellele, kas neid väärtusi on seadmetest võimalik kätte saada.

API2 uus päring

Lisa 4 – Elektrilevi rikete ja planeeritud katkestuste päringud

Ettevõtteväliline rakendusliides, mille infot saab kasutada automaatse tõrkehalduse loomisel.

API nimi	API päringu ID	API päring	API päringu sisend	API päringu vastuses kasulik info	Päringu eesmärk
API5	1	outages	-	update_time, start_time, estimated_endtime, ent_time, customerpoints, county, house, street, location	Elektrilevi rikete API päring, millistel aadressidel ei ole elektrit. Selle aluse saab hinnata, kas seadme või tugijaama katkestus võib olla seotud piirkonna elektrikatkestusega.
API5	2	interruptions	-	update_time, start_time, estimated_endtime, ent_time, customerpoints, county, house, street, location	Elektrilevi planeeritud tööde API päring, millistel aadressidel ei ole elektrit. Selle aluse saab hinnata, kas seadme või tugijaama katkestus võib olla seotud piirkonna elektrikatkestusega.

Elektrilevi rikete ja planeeritud katkestuste päringud

Lisa 5 – Kitsariba-esemevõrgu (NB-IoT) levi väärtused

RSRP, RSRQ, ECL väärtuste hindamine Ettevõtte traadita andmeside osakonna ekspertide hinnangute alusel.

RSRP – signaali tugevus

RSRP väärtus (dBm)	Hinnang
RSRP \geq -900	Väga hea
RSRP < -901 ... -1000	Hea
RSRP < -1001 ... -1100	Rahuldav
RSRP < -1101 ... -1200	Halb
RSRP < -1201	Väga halb

RSRQ – signaali kvaliteet

RSRQ väärtus (dB)	Hinnang
RSRQ \geq -79	Väga hea
RSRQ < -80 ... -120	Hea
RSRQ < -121 ... -160	Rahuldav
RSRQ < -161 ... -200	Halb
RSRQ < -201	Väga halb

ECL (Coverage Enhancement Level) – andmete kordussaatmine

ECL väärtus	Hinnang
0	Hea
1	Rahuldav
2	Halb