

VILNIAUS UNIVERSITETAS

EVALDAS ŽULKAS

ENERGIJOS SAŃAUDŲ PROGNOZAVIMO IR  
AUTONOMINIO VALDYMO SISTEMOS  
IŠVYSTYMAS IŠMANIOJO BŪSTO APLINKOJE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07 T)

Vilnius, 2017

Disertacija rengta 2012–2016 metais Vilniaus universitete.

Mokslinė vadovė

prof. dr. Dalė Dzemydienė (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

Mokslinė konsultantė

prof. dr. Eleonora Guseinovicė (Klaipėdos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

## SANTRAUKA

Išmanaus būsto sistemos, kurios integruoja elektros sąnaudų valdymo funkcijas, priskiriamos daiktų interneto technologiniams sprendimams. Siekiant sukurti autonominę energijos sąnaudų valdymo sistemą, reikia įvertinti siūlomas architektūras, susisteminti taikomas priemones namų energijos valdymo sistemose ir jas išanalizavus, nustatyti ko trūksta, o ką galima iš jų tinkamai pasirinkti. Dažniausiai išmanaus būsto valdymo sistemose integruojamos apšvietimo ir šildymo, vėdinimo posistemės, kurioms reikalingi specialūs prietaisai ir tinklų galimybės aplinkos parametrų nuskaitymui ir duomenų surinkimui (Jiang X., 2010; Kaklauskas ir kt., 2015).

Siekiant priimti automatizuotus sprendimus energijos sąnaudoms valdyti, tiriamos įterptinių sistemų duomenų surinkimo, perdavimo ir analizės posistemių galimybės ir jų taikymas efektyvesniam energijos išteklių panaudojimui. Darbe siūloma išvystyti elektros energijos sąnaudų valdymo sistemos architektūrą, sutelkiant dėmesį į energijos suvartojimo poreikius, sąnaudas ir jų galimus prognozės bei efektyvesnio panaudojimo metodus.

Energijos sistemos duomenų perdavimas tarp įrenginių vykdomas naudojant telemetrijos technologiją ir mašinos bendravimo su mašina principą (angl. *Machine-to-Machine*). Tačiau tokio tipo sistemose dar neišnaudotos visos galimybės ir neįgyvendinti metodai ir priemonės mobilieji ir kintančiai topologijai palaikyti, trūksta integruotų sąnaudų prognozavimo galimybių.

Kuriant energijos sąnaudų valdymo sistemą (ESV), svarbu pritaikyti autonominio valdymo principą ir į kuriamą ESV posistemę įtraukti prognozavimu grindžiamus sprendimo priėmimo metodus. Šiuo metu literatūroje nagrinėjamos energijos sąnaudų valdymo sistemose valdymas nėra grindžiamas prognozavimo analize (Barnawi ir kt. 2016; Daniela ir kt. 2015; Engerati, 2016). Dėl sistemos autonomiškumo užtikrinimo yra reikalaujama, kad į sistemą įterpiami įrenginiai (jutikliai ir valdikliai) galėtų gauti vykdymo paskirtį realiu laiku ir ši paskirtis galėtų būti keičiama.

Disertacinio darbo keliamas tikslas - išvystyti elektros energijos sąnaudų autonominio valdymo sistemos prototipą ir pasiūlyti architektūrą, kuri įgalintų

duomenų kaupimo, persiuntimo, ir analizės funkcijas kintančios topologijos mobiliajame tinkle bei jos integravimą į išmaniojo būsto paslaugų sistemą.

Atsižvelgiant į energijos valdymo sistemos panaudojimą išmaniojo būsto valdymo sistemos architektūroje, siekiama iširti esamas ir pasiūlyti išvystymo galimybes autonomiškai valdyti elektros energijos sąnaudas (Adinya, 2013, Kaklauskas ir kt., 2015). Nagrinėjami ir vystomi energijos sąnaudų prognozei taikomi metodai pasiūlyti (Shamisi ir kt, 2011) šiame darbe.

Vienas iš pagrindinių uždavinių – pasiūlyti autonomiškai veikiančios ESV sistemos architektūrą, kurioje būtų išvystyti mobilios ir kintančios mazgų topologijos valdymo metodai ir realizavimo priemonės. Sprendžiant šį uždavinį teko sukurti ir eksperimentiškai išbandyti tinklo taikymo sluoksnį, kuris leistų kintančios ir mobilios mazgų topologijos realizavimą. Darbe pasiūlyta sistemos architektūra, skirta išmaniosios aplinkos charakteristikų kaupimui ir stebėjimui bei įrenginių valdymo sprendimų priėmimui realiu laiku.

Tokio tipo sistemos priskiriamos kompleksinėms šiuolaikinėms elektroninių paslaugų valdymo sistemoms, galinčioms suteikti žmogui patogumų išmaniajame būste, efektyviai išnaudojant elektros energijos išteklius. Energijos valdymo sistemos integravimas į išmaniojo būsto paslaugų valdymo sistemą įgyvendinamas naudojantis įterptinių sistemų komunikacijomis, integruojant paslaugas į daiktų internetą. Daiktų interneto tinklo paskirtis, sukurti ryšį tarp išmaniųjų prietaisų ir globalaus interneto tinklo.

Eksperimentams atlikti sukurta ir sukomplektuota energijos valdymo sistemos įranga užtikrina būtiniausių parametrų registravimą, duomenų perdavimą ir integraciją į duomenų apdorojimo sistemą, leidžia užtikrinti duomenų kaupimo nepertraukiamumą.

Darbe aptariamos namų automatizacijos komunikacinės priemonės ir technologijos. Tinklo topologijos, naudojamos el. paslaugoms teikti, gali būti pritaikytos mažų energijos sąnaudų įterptinių sistemų tinkluose, nes galima pasinaudoti egzistuojančiais standartais, pritaikytais mažo galingumo įterptinių sistemų veikimui.

Patobulintas ir pasiūlytas tinklo taikymo sluoksnis leidžia neapibrėžiant įrenginio paskirties, sukurti aparatinį sprendimą ir įdiegti prietaisą su jutikliais į išmaniąją aplinką. Tiek siunčiantys, tiek ir gaunantys informaciją prietaisai konfigūruojami įrenginių veikimo metu (angl. *runtime*).

ESV architektūra sudaryta iš modulių, pasinaudojus (Barnawi Y. ir kt., 2016; Jiang X. ir kt., 2007; Sinderen V. M. ir kt., 2010) autorių siūlomais sprendimais tokių paslaugų sistemoms kurti. Tačiau autorių siūlomuose architektūriniuose sprendimuose nebuvo įdiegti komponentai, skirti elektros energijos sąnaudų prognozei su užduočių planu įgyvendinti. Todėl disertaciniame darbe pasiūlyta integruoti užduočių valdymo ir prognozės duomenis sprendimų priėmimo sistemos veikimui užtikrinti. Naujumo elementų turi siūlomi komandų valdymo ir valdymo analizės moduliai, nes jų panaudojimas būtinas išsiaiškinti, kaip sprendimas valdyti el. paslaugos prietaisą pasiteisina.

Į išmaniojo būsto valdymo paslaugų sistemą laboratorijos sąlygomis buvo integruota elektros autonominio valdymo posistemė, kuri įgalino nuotolinę prieigą prie paslaugų. Atliekant aplinkos duomenų analizę situacijos nustatymui, naudojamas grįžtamasis ryšys ir prognozės algoritmai, kad galima būtų valdyti reagavimą į pokyčius išmaniojoje aplinkoje, priimant autonominius sprendimus. Atsižvelgiant į įterptinių resursų ribojimus, reikalingi komunikaciniai ryšio protokolai mažo našumo sistemoms, pavyzdžiui MQTT.

Norint stebėti įrenginio elektros išteklių sąnaudas, reikia stebėti galios matavimo komponentes realiu laiku. Skaičiavimams reikalingi momentinės galios, srovės reikšmės ir nulio kirtimo taško įvertinimai. Kartu su šiais parametrais apskaičiuojamas ir galios koeficientas (angl. *power factor*). Jeigu galios koeficientas mažas, energija naudojama neefektyviai, ir techninėmis priemonėmis atlikus įrenginio valdymą, efektyvumą galima padidinti.

Šiame darbe atliktas jutiklių realaus laiko eksperimentinių momentinių duomenų išsaugojimo tyrimas parodė, kad pagal naudojamą jutiklį ir aplinkos parametrus, duomenų aptikimas ir jų reikšmių stabilizacija gali kisti, todėl

duomenų nuskaitymui reikia naudoti nusistovėjimo funkciją, kad tarpinės reikšmės nebūtų naudojamos vietoje galutinių.

Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio struktūra leidžia pasiekti, kad sistemos atsakas būtų gautas į tris sistemos dalis: atliekant įrenginio valdymą realiu laiku, korekcija perduodama į sprendimų priėmimo sistemą ir į duomenų bazės serverį tolimesnei analizei.

Energijos išteklių valdymo sistemos duomenis galima nagrinėti kaip stacionarią laiko eilutę ir taikyti matematinius modulius prognozei atlikti (pvz. *ARMA*). Jeigu duomenyse sezoniškumo ir pokyčių krypties (angl. *trend*) komponentės neaiškios, siūloma naudoti neuroninių tinklų algoritmus. Kai reikalinga viena prognozės nuoskaita į ateitį, galima naudoti Kalmano filtro prognozę. Bet kuriuo prognozės atveju galima pritaikyti užduočių planą, kuris suteikia tikslumo bet kuriam iš nagrinėjamų algoritmų, nes įvertinamas įrenginių naudojimo planas.

Šildymo-vėdinimo ir apšvietimo sistemos yra dažnai pasirenkamos sąnaudoms nagrinėti, išmaniojo būsto arba namo paslaugoms teikti. Praktiškai išbandant sistemą buvo stebima, kaip vykdomas dirbtinio apšviestumo valdymas realiu laiku. Sistema užtikrino pastovų numatytą apšviestumą, tačiau buvo pastebėtas galios kreivės kitimas, kai apšviestumas nekintamas, o aplinka temsta natūraliai (vakarėjant). Norint, kad vakarėjimo procesą būtų galima įvertinti prognozės algoritmais, į prognozės modelio duomenis reikia įtraukti debesuotumo sekimo priemones.

**Reikšminiai žodžiai:** išmanaus būsto valdymo sistema, elektros energijos sąnaudų valdymas, e. paslaugos, prognozės algoritmai, mobiliųjų tinklo mazgų topologija.

## ABSTRACT

The smart house systems, which integrate the energy consumption management functions, are classified as technological solutions of the Internet of Things. Development of autonomous energy consumption management system requires assessment of the proposed architectures, systematization of the measures, applied in the home energy management system, and upon analyzing them, one needs to identify what is missing, and what could be selected properly. Usually, the smart house management systems integrate lighting and heating, ventilation subsystems, which require special devices and network capabilities for reading the environmental parameters and for data collection (Jiang X., 2010; Kaklauskas et al. 2015).

In order to make automated decisions on energy consumption management, the capabilities of the data collection, the communication and the analysis subsystems of the embedded systems, and their application for more efficient energy consumption are researched. The paper proposes to develop the architecture of the energy consumption management system by focusing on the energy consumption needs, costs, the possible forecasting methods to enable more efficient energy consumption.

While developing the energy consumption management system (ECMS), it is essential to adapt the principle of autonomous management, and to include the forecasting-based decision-making methods in the ECMS subsystem. It should be noted that the energy consumption management system, discussed in the literature, is not based on the forecasting analysis (Barnawi et al. 2016; Daniela et al. 2015; Engerati, 2016). In order to ensure the system autonomy, it is required that the devices (sensors and controllers), embedded in the system, would get the purpose of performance in the real time, and that this purpose could be changed.

Considering the usage of the energy management system in the architecture of the smart house management system, it is sought to analyze the current and propose other development possibilities for autonomous energy consumption

management (Adinya, 2013, Kaklauskas et al. 2015). The methods, examined and applied for the developed energy consumption forecasting, are presented (Shamisi et al. 2011) in the paper.

The improved and proposed network application layer allows developing a hardware solution and installing a device with sensors in the smart environment without defining the purpose of a device. Both sending and receiving devices are configured during runtime.

ECMS architecture is made up of the modules by using the solutions, proposed by the authors (Barnawi Y. et al. 2016; Jiang X. et al. 2007; Sinderen V. M. et al. 2010) for development of these service systems. However, the architecture solutions, proposed by the aforementioned authors, did not include the components for implementation of energy consumption forecasting with task schedule. Therefore, the dissertation thesis proposes to integrate the task management and forecasting data to ensure the functioning of decision support system. The proposed command management and management analysis methods are characterized by novelty because their usage is required to find out whether the solution to manage the e-service device answers its purpose.

In order to monitor the real-time energy consumption of device, it is necessary to monitor the power metering components in real time. Calculations require the instantaneous power, the current value, and the zero-crossing values. Along these parameters, power factor is calculated. If a power factor is too low, energy consumption is inefficient, and efficiency can be increased by managing the device with technical means.

The research on storage of the real-time experimental instantaneous data of sensors revealed that subject to the used sensor and environment parameter, data detection and stabilization of their values may vary, therefore, stabilization function should be used for data reading, in order the intermediate values would not be used instead of the final ones.

A three-step feedback structure allows to get the system response in three parts of the system: during real-time management of the device, correction is



sent to the decision support system and to the database server for further analysis.

The data of the energy consumption management system can be analysed as stationary time series, and mathematical modules can be applied for forecasting (e.g., ARMA). If seasonal and trend components are not clear, the algorithms for neural networks should be used. In order to forecast one sample in the future, Kalman filter could be used. In any case of forecasting, the task schedule can be applied as it provides accuracy to all algorithms under consideration because the schedule for the use of the devices is assessed.

While testing the system in practice, the real-time management of artificial illumination was monitored. The system ensured a constant lighting, however, the change in power curve was observed when illumination was constant, and environment got naturally darker. In order to assess the process of going dark by forecasting algorithms, the cloudiness tracking measures should be included in the forecasting model data.

**Keywords:** smart house, energy management system, e-services, forecasting models, mobile network topology.

## TURINYS

ĮVADAS .....	21
1 IŠMANIOJO BŪSTO VALDYMO SISTEMŲ INFRASTRUKTŪROS SPRENDIMŲ APŽVALGA.....	32
1.1 Išmanaus būsto valdymo sistemų funkcinės galimybės .....	32
1.2 Daiktų interneto sprendimai išmanaus būsto valdymo sistemose .....	36
1.3 Namų elektros energijos valdymo sistemų apibendrinimas .....	38
1.4 Įterptinės sistemos integruojamos išmaniojo būsto architektūroje.....	42
1.4.1 Apšvietimo valdymo posistemė.....	42
1.4.2 Šildymo-vėdinimo sistemų valdymas.....	43
1.4.3 ESVS technologijų raida.....	44
1.5 Energijos suvartojimo ir duomenų apdorojimo sistemos .....	47
1.6 Energijos suvartojimo galios matavimas.....	51
1 skyriaus išvados .....	54
2 JUTIKLIŲ BELAIDŽIO TINKLO TAIKYMO SLUOKSNIO IŠVYSTYMAS IR DUOMENŲ PERDAVIMO METODAI IŠMANIOJO BŪSTO VALDYMO SISTEMOJE.....	55
2.1 Laidinės ir belaidės komunikacijos tinklai įterptinių sistemų darbo užtikrinimui.....	55
2.2 Taikomų duomenų perdavimo tinklų topologijos ir protokolai .....	56
2.3 Energijos resursų stebėsenos sistemos duomenų tinklo taikymo sluoksnis ... ..	62
2 skyriaus išvados .....	70
3 AUTONOMINĖS ENERGIJOS VALDYMO POSISTEMĖS PROJEKTAVIMAS IR INTEGRAVIMAS IŠMANAUS BŪSTO VALDYMO PASLAUGŲ SISTEMOJE.....	71
3.1 Elektros energijos išteklių stebėsenos sistemos architektūra .....	71
3.2 Elektros energijos išteklių stebėsenos posistemės realizacija .....	72
3.3 Sprendimų priėmimo būdai ir sprendimų priėmimo sistema .....	78
3.4 Stebėsenos duomenų prognozės algoritmo taikymo koncepcija.....	82
3.5 Prognozės būdas, grindžiamas MatLab generuojamu neuroninio tinklo mechanizmu.....	84
3.5.1 Laiko eilutės prognozės algoritmo realizacija MatLab aplinkoje.....	85

3.5.2	DNT mokymo seansas MatLab aplinkoje .....	87
3.6	Daugiamačių masyvų ir požymių sudarymas iš nestructūrizuotos informacijos .....	90
3.7	Išmanaus būsto elektros energijos valdymo posistemės projektavimo sprendimai.....	93
3.7.1	Užduočių valdymo modulis .....	93
3.7.2	Valdymo analizės modulis.....	93
3.7.3	Komandų valdymo modulis.....	94
3.7.4	Dirbtinio apšvietumo valdymo posistemė.....	94
3.7.5	Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio užtikrinimo struktūra.....	99
3.7.6	Galios stebėsenos ir valdymo sistemos moduliai .....	100
3.7.7	Užduočių dispečerizavimas .....	104
3	skyriaus išvados .....	106
4	AUTONOMINĖS ELEKTROS ENERGIJOS VALDYMO SISTEMOS EKSPERIMENTINIO TYRIMO REZULTATAI.....	107
4.1	Elektros energijos valdymo sistemos eksperimentinio tyrimo metodika.	107
4.2	Aplinkos oro kokybės jutiklių duomenų nuskaitymas .....	109
4.3	Elektrinio įrenginio valdymo integracija į energijos valdymo sistemą ....	113
4.4	Prognozavimo algoritmai laiko eilutėms.....	118
4.5	Kalmano filtro ir ARMA modelio rezultatai .....	129
4.6	Sistemos mokymosi bei neuroninių tinklų apibendrinimas .....	130
4.7	Saulės apšvietumo įvertinimas energijos valdymo sistemoje.....	131
4.8	El. energijos valdymo sistemos architektūros savybės ir galimi tobulinimai .....	136
4	skyriaus išvados .....	138
	BENDROSIOS IŠVADOS .....	140
	LITERATŪRA .....	142
5	PRIEDAI .....	156
5.1	Daiktų interneto sistemos kūrimo brandos etapai .....	156
5.2	Įterptinių sistemų kūrimas ir realizacija nenaudojant daiktų interneto ....	156

## Paveikslai

1 pav.	Elektroninių paslaugų tinklo struktūros .....	33
2 pav.	Išmanaus būsto infrastruktūros įgyvendinimo lygmenys.....	36
3 pav.	Energijos duomenų surinkimo ir analizės sistemos architektūra .....	49
4 pav.	SATEC energijos valdymo sistemos architektūra.....	50
5 pav.	Energijos skaitiklio struktūra .....	51
6 pav.	Kompleksinio elektrinės galios matuoklio struktūra.....	52
7 pav.	Elektros įtampos matavimo struktūra priderinimui prie 0-5V TTL logikos... .....	53
8 pav.	Tinklo topologijų pavyzdžiai .....	56
9 pav.	HTTP užklausų siuntimo įrankis, neautomatizuotoms komandoms siųsti .....	58
10 pav.	ZigBee tinklelio topologijos tinklas .....	60
11 pav.	Elektros energijos skaitiklių duomenų bazės struktūra jutiklių duomenims rinkti .....	63
12 pav.	Valdančiojo įrenginio komandos struktūra prijungtiems įrenginiams (jutikliams, valdikliams) valdyti .....	63
13 pav.	Komandos interpretavimas įrenginyje .....	64
14 pav.	Įterptinės sistemos tinklo struktūra .....	65
15 pav.	Įterptinės sistemos komandos priėmimo algoritmas .....	66
16 pav.	Įterptinės sistemos komandų vykdymas.....	67
17 pav.	Įterptinių įrenginių apjungimo struktūra į autonomiškai veikiančią belaidį tinklą .....	68
18 pav.	Įterptinės sistemos komandų vykdymas.....	68
19 pav.	Energijos išteklių valdymo ir monitoringo prototipo sistema.....	69
20 pav.	Elektros energijos išteklių valdymo architektūros koncepcinio lygmens schema .....	72
22 pav.	Išmanaus jutiklio struktūros dekompozicija.....	75
23 pav.	Išmanusis jutiklis momentiniams galios parametrams.....	76
24 pav.	Jutiklių valdymo koncentravimo įrenginys .....	77
25 pav.	El. paslaugų vartotojo sąsajos struktūra išmaniojo būsto valdymui .....	78

26 pav.	El. energijos valdymo sprendimų priėmimo sistemos baigtinių būsenų automatas .....	80
27 pav.	Elektros energijos valdymo sprendimų priėmimo sistemos struktūrinė schema .....	81
28 pav.	ARMA modelio prognozės algoritmo pritaikymo dalinis algoritmas.....	83
29 pav.	Hiperbolinio tangento-sigmoidės perdavimo (aktyvavimo) funkcija .....	86
30 pav.	Neuroninio tinklo mokymo langas ir tinklo nustatymai .....	87
31 pav.	DNT diagrama su atviru ciklu.....	88
32 pav.	DNT diagrama su uždaru ciklu .....	89
33 pav.	Paros dirbtinio apšviestumo duomenys.....	95
34 pav.	Apšviestumo istoriniai duomenys .....	96
35 pav.	Matematinio modelio, skirto DGTS algoritmų tyrimui struktūrinė schema ...	98
36 pav.	SES kitimas paroje debesuotą dieną .....	99
37 pav.	Uždaro ciklo grįžtamojo ryšio sistema.....	100
38 pav.	Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio struktūra.....	100
39 pav.	Elektros energijos išteklių stebėsenos ir sprendimų priėmimo sistema ....	103
40 pav.	Užduočių dispečerizavimas įterptinėje sistemoje .....	105
41 pav.	Loginė ir aparatinė energijos valdymo sistemos struktūra.....	107
42 pav.	Elektros sąnaudų prognozės rezultatas duomenų bazėje.....	108
43 pav.	Momentinės reikšmės stabilizavimosi laikotarpis stebėsenos sistemoje ..	110
44 pav.	Jutiklio GS1 integravimo į masyvą pavyzdys .....	112
45 pav.	Galios koregavimas naudojant induktyviąją ritę.....	114
46 pav.	Galios koeficiento didinimas.....	114
47 pav.	Srovės oscilograma, reguliavimo kampas $\alpha = 45^0$ , $L = 0$ ir $0,1H$ .....	117
48 pav.	Srovės oscilograma, reguliavimo kampas $\alpha = 90^0$ , $L = 0$ ir $0,1H$ .....	117
49 pav.	Srovės oscilograma, reguliavimo kampas $\alpha = 30^0$ , $L = 0,01 - 1 H$ .....	117
50 pav.	Srovės oscilograma, reguliavimo kampas $\alpha = 90^0$ , $L = 0,01 - 1 H$ .....	118
51 pav.	Galios koeficientas, reguliavimo kampas $\alpha = 30^0$ .....	118

52 pav.	Galios koeficientas, reguliavimo kampas $\alpha = 90^0$ .....	118
53 pav.	Laiko eilutės pavyzdys $\sin(x)$ .....	119
54 pav.	Sudėtinės laiko eilutės pavyzdys.....	120
55 pav.	Sezoniškumo ir krypties komponentės laiko eilutėje.....	120
56 pav.	Nedeterministinės sąnaudos .....	123
57 pav.	Įrenginių naudojimo planas ir realios energijos sąnaudos .....	124
58 pav.	Prognozė naudojant ARMA modelį.....	125
59 pav.	Prognozė naudojant ARMA modelį, pritaikant įrenginių naudojimo planą ... .....	126
60 pav.	Prognozė naudojant Kalmano filtrą .....	128
61 pav.	Prognozė su Kalmano filtru naudojant įrenginių panaudojimo planą.....	128
62 pav.	Prognozė ARMA modeliu naudojant 10 dienų duomenis .....	130
63 pav.	Neuroninio tinklo laiko eilutės prognozė .....	131
64 pav.	Saulės matomumas ir pozicija per langą .....	132
65 pav.	Sienos ir stogo lango pakreipimas.....	132
66 pav.	Saulės matomumas per langą (A ploto apskaičiavimas).....	132
67 pav.	Saulės matomumas per langą per mėnesį.....	134
68 pav.	Energijos išteklių sistemos prototipo įjungimas .....	135
69 pav.	Vakarėjimo proceso stebėseną ir autonominiis šviestuvo valdymas .....	135
70 pav.	ESVS architektūros savybės .....	136

## **Lentelių sąrašas**

1 lentelė. Technologijų energijos ištekliams valdyti raida.....	44
2 lentelė. Energijos sąnaudų prognozės rezultatų palyginimas.....	129

## **Santrumpų ir sąvokų žodynelis**

ACK (angl. Acknowledgement) – duomenų tinklų terminas, reiškiantis signalą, kuris parodo, teigiamą atsaką į komandą.

Aktyvioji galia (galia) – įrenginio sunaudota galia, matuojama vatais (w).

ANN (angl. Artificial Neural Network) - dirbtinis neuroninis tinklas (DNT), tai sistemos mašininio mokymosi algoritmas, struktūra skirta apdoroti informacijai, kuri yra sukurta remiantis biologinės nervų sistemos analogu.

Antrinė duomenų saugykla – tai saugykla, kurioje duomenys išsaugomi ir išlaikomi, kol paslaugų sistemoje duomenis renkantys įrenginiai išjungti.

API (angl. Application Programming Interface) - tai programinių bibliotekų, aprašymų ir kūrimo įrankių rinkinys, sąsaja programoms kurti.

ARMA (angl. Autoregressive Moving Average) - auto-regresijos slenkančio vidurkio modelis laiko eilutėms.

Autonominis – tai aukšto savarankiškumo įrenginys, kuris gali reaguoti arba atlikti užduotis įvertinant numatytus parametrus.

BEAD (angl. Building's Energy Analyzing Device) - komercinių pastatų energijos analizei skirtos sistemos.

BEMS (angl. Building Energy Management System) - pastato energijos valdymo sistema.

BLE (angl. Bluetooth Low Energy) - standartizuota belaidė komunikacijų technologija, pritaikyta mažų energijos sąnaudų įrenginiams.

CoAP (angl. Constrained Application Protocol), specializuotas tinklo duomenų persiuntimo protokolas, naudojamas prietaisams, turintiems ribotus apdorojimo arba energijos sąnaudų išteklius.

CRC (angl. Cyclic Redundancy Check) – ciklinis perteklinės informacijos tikrinimas, klaidų patikros algoritmas.

Daugiamaciai duomenys – duomenys, kuriuos apibrėžia daugiamatė erdvė.

Deterministinis – algoritmas, modelis, procedūra arba procesas, kurio rezultatas gali būti numatomas remiantis pradine būsena ir sistemos įėjimo parametrais. Toks vykdymas bus ne atsitiktinis ir ne stochastinis.

DGTS - didžiausias galios taškas saulės elementuose.



DHCP (angl. Dynamic Host Configuration Protocol) – IP tinklo protokolas, kai klientui priskiriamas dinaminis IP adresas.

Duomenų vientisumas – tai integralūs duomenys, kuriuose nėra prieštaravimų ir jie atitinka duomenims apibrėžtus ribojimus.

ESD (angl. Electronic Software Delivery) - elektroninė prieiga prie programinės įrangos.

ESVS - energijos sąnaudų valdymo sistema.

Galios koeficientas – galios santykis tarp naudingos ir bendrai panaudotos galios.

HEM (angl. Home Energy Management) - namo energijos valdymas. Terminas dažniausiai naudojamas norint apibrėžti energijos valdymo sistemą (EVS).

Heterogeninis – apjungiantis arba suvienijantis daug skirtingų rušių.

Histerezė – pasekmės atsilikimas nuo ją sukėlusios priežasties.

HVAC (angl. Heating, Ventilation and Air Conditioning) – šildymo, vėdinimo ir vėsinimo technologija, skirta valdyti aplinkos temperatūrą, drėgmę, reguliuoti oro srautą ir jį filtruoti.

ICCP (angl. Inter-Control Center Communications Protocol) – komunikacinis duomenų perdavimo protokolas, naudojamas pramonėje komunikaciniuose ir kitos paskirties valdymo centruose. Naudojamas įrenginiams, jų būsenoms aprašyti, išgauti duomenis iš informacinių duomenų bazių.

IoT (angl. Internet of Things) - daiktų internetas. Daiktų internetas – tarpusavyje sujungtų heterogeninių įterptinių skaičiavimo įrengimų tinklas tarp objektų (mazgų), kai objektai tarpusavyje gali rinkti ir keisti duomenimis. Daiktų internetas apima fizinius įrenginius, kuriuose įterpti jutikliai, valdikliai ir komunikacinės sąsajos.

Išmanusis būstas (angl. Smart House) – tai būstas, kuriame suteikiamos paslaugos (apšvietumas, šildymas-vėdinimas, apsaugos sistemos ir kt.) valdomos naudojantis informacinėmis technologijomis.

Įėjimo parametrai – tai nagrinėjamųjų charakteristikų duomenys, kuriais remiantis siekiama gauti rezultatą (išėjimus).

Įtampos lygintuvas (angl. Voltage Comparator) - įrenginys, skirtas palyginti įtampos signalus ir išgauti skaitmeninį atsakymą, kuriame nurodoma, kurio įėjimo įtampa didesnė.

Jutiklis (angl. Sensor) – įrenginys, kuris aptinka arba pamatuoja fizinius aplinkos parametrus. Rezultatas įrašomas, parodomas vartotojui arba kitaip reaguojama į aplinką (pvz. paduodamas signalas).

Mažo našumo įterptinė sistema – tai pagal šių laikų technologijas lėtos įterptinės skaičiavimo mašinos, pavyzdžiui, mikrovaldikliai, pritaikyti veikti naudojant ribotus energijos išteklius.

M2M - tai duomenų perdavimas tarp dviejų kompiuterių. Tai viena iš telemetrijos rūšių: (angl. machine to machine, man to machine, machine to man).

Metodika (gr. „methodikos“ – metodinis) – visumos praktinio veikimo priemonių, padedančių pasiekti iš anksto norimą rezultatą, sutelkimas. Į metodikos užduotį nepatenka teorinis rezultato gavimo pagrindimas, metodikos užduotis koncentruojasi į techninę bandymo pusę ir į tyrėjo veiksmų reglamentavimą (Gintalas A., 2011).

Mikrovaldiklio periferija – įrenginiai, kurie prijungti prie mikrovaldiklio procesoriaus ir yra integruoti į mikrovaldiklio korpusą.

Momentinė reikšmė – tam tikru laiko momentu užfiksuota momentinė parametro reikšmė.

MQTT (angl. Message Queue Telemetry Transport) – M2M arba telemetrijos tinklo protokolas, kuris veikia paskelbk-prisijunk principu.

Multiplekseris (angl. Multiplexer) – prietaisas, leidžiantis keliems įrenginiams perduoti duomenis bendra duomenų perdavimo priemone.

MV90 – komunikaciniuose valdymo centruose naudojamos valdymo sistemos, skirtos rinkti ir valdyti jutiklių ir matuoklių duomenis.

Namų energijos valdymo sistema – sistema skirta išmanaus namo stebėjimui valdymui ir analizei.

NAR (angl. Nonlinear Autoregressive) – netiesinis autoregresinis modelis.

Nuoskaita (angl. Sample) – duomenys iš jutiklio išėjimo arba skaitmeninio jutiklio signalo parametro vertė.

Paskelbk-prisijunk principas – tai tinklo sistemos įrenginių tarpusavio komunikavimo tipas, kai vienas iš įrenginių atveria ryšio liniją. Visi prie linijos prisijungę įrenginiai gali perduoti duomenis šios linijos ribose.

Pikinė reikšmė – per tam tikrą periodą užfiksuota maksimali signalo reikšmė.

Realaus laiko sistemos – sistema, kurios veikimo principas ir užduočių vykdymas griežtai susijęs su laiku.

RMS (angl. Root Mean Square) - matematikoje, kvadratinė šaknis iš reikšmių kvadratų vidurkio.

Rodmenys – aplinkos parametrų matuoklio duomenų nuoskaitos.

SCADA (angl. Supervisory Control and Data Acquisition) - priežiūros kontrolės ir duomenų surinkimo sistemos.

SDK (angl. Software Development Kit) - programų kūrimo priemonių rinkinys.

SEM (angl. Smart Energy Management) – energijos valdymas, atsižvelgiant į momentinius ir istorinius duomenis, analizuojant išteklius.

SES – saulės energijos srautas, pagrindinis SI matavimo vienetas  $W/m^2$ .

SHEMS (angl. Smart Home Energy Management System) - energijos valdymo sistema, kurioje analizuojami energijos ištekliai, remiantis generuojamų ir naudojamų resursų kiekiais, siekiant optimizuoti namų energijos panaudojimą ir išteklių taupymą.

Simistorius – dviečių krypties valdymo lygintuvas (tiristorius).

SPS – sprendimų priėmimo sistema.

Stebėsena (angl. Monitoring) - tam tikrų kiekybinių ir kokybinių pakitimų stebėjimas tiriant aplinkos būklę.

Taikymo programavimo sąsaja (angl. API) - žiūrėti santrumpą API.

Telnet – tinklo protokolas, leidžiantis prisijungti prie kito įrenginio tame pačiame tinkle.

Tinklelio topologija (angl. Mesh) - tai toks mazgų sujungimo būdas, kai kiekvienas mazgas sujungiamas atskiru kanalu su kitais tinklo mazgais.

Tinklų sąsaja (angl. Gateway) – tai skaičiavimo įrenginys, kurio paskirtis maršrutizuoti duomenų srautą tarp vidinio ir išorinio tinklo.

TTL (angl. Transistor-Transistor Logic) – tranzistorinė-tranzistorinė logika, tai skaitmeninių grandinių klasė, naudojant bipoliarinius tranzistorius.

Uostas (angl. Port) – galutinis komunikacinio tinklo taškas, į kurį perduodami duomenys.

Užduočių eilė (angl. Task Queue) – įrenginio programinių užduočių įvykdymo eilė, skirta nuoseklumui ir vientisumui išlaikyti. Užduočių eilė gali būti realaus laiko, nuosekli arba lygiagreti eilė.

WPAN (angl. Wireless Personal Area Network) - asmeninis, nedidelio atstumo belaidis tinklas prietaisų tarpusavio ryšiui.

## IVADAS

### **Temos aktualumas**

Sparti skaitmeninės ekonomikos raida lemia visų visuomenės sferų įtinklinimą ir skaitmenizavimą. Kuriamos modernios išmanaus būsto sistemos, paremtos daiktų interneto technologiniais sprendimais, vis daugiau skirtingo tipo įrenginių stengiamasi prijungti prie tinklo ir įgalinti juos valdyti nuotoliniu būdu. Technologijomis praturtinta ir įtinklinta būsto aplinka leidžia teikti jos naudotojui naujas, kokybiškas, prisitaikančias prie jo poreikių paslaugas. Tokių išmaniųjų paslaugų sistemos projektuojamos atsižvelgiant į daiktų interneto suteikiamas galimybes, kur reikalingi aplinkos stebėjimai ir jų analizės įvėrčiai panaudojami sprendimų priėmimui (Andziulis ir kt., 2009; Bielskis ir kt., 2009; Schmid ir kt., 2012). Jutiklių tinklai ir įterptinės sistemos, sujungtos tarpusavyje vienam tikslui pasiekti yra pagrindinės daiktų interneto sistemų įgyvendinimo komponentės (De ir kt., 2012; De Silva ir kt., 2012; Murtaza ir kt., 2013). Teikiant elektronines paslaugas naudojami energijos prietaisai, kurių efektyvumo užtikrinimas padeda sumažinti energijos suvartojimą. Nepaisant didelių pasiekimų daiktų interneto sistemose, dar ne visos problemos yra išspręstos. Gana aktuali duomenų perdavimo protokolų suderinamumo tarp skirtingų sistemos dalių problema. Yra naudojamos skirtingų komunikacijų posistemės, valdomos specifiniais būdais, pavyzdžiui atskirais prietaisais arba programėlėmis, kurios ne itin suderinamos tarpusavyje. Taip pat keliami elektros energijos valdymo uždaviniai išmaniojo būsto paslaugų sistemų efektyvumui padidinti (Mahmoud ir kt., 2013; Paramanathan ir kt., 2012; Veleva ir kt., 2012; Yuan ir kt., 2012). Todėl šiame darbe bus aprašomi energijos išteklių valdymo ir taupymo sistemos architektūriniai sprendimai, kurie suteiks galimybę teikti kontroliuojamas paslaugas ir užtikrinti balansą tarp komforto ir energijos suvartojimo efektyvumo.

Reikėtų pabrėžti, kad daiktų interneto platforma neapima visų komponentų, skirtų užtikrinti efektyvią energijos sąnaudų valdymo architektūrą. Debesyje realizuota paslaugų sistema turi ribojimų, kai reikalingas ypatingai greitas grįžtamasis atsakas į autonominių sistemos valdymo sprendimą.

Pavyzdžiui, sistemos valdomas įtaisas, kurio tinkamai eksploatacijai būtina įvertinti šimtus nuoskaitų per sekundę.

Išmanieji galios parametrų matuokliai/skaitikliai yra el. energijos valdymo sistemos architektūros sudedamoji dalis duomenų surinkimo modulyje. Šie jutikliai atlieka pirminę galios parametrų saugojimo ir tolimesnio perdavimo funkciją, tačiau jie neatlieka prietaisų valdymo, kuris remiamas išanalizuojama aplinka remiantis prognozės duomenimis bei neįvertina sistemos atsako atliekant priimtų autonominių valdymo sprendimų korekcijas. Išmaniųjų jutiklių paskirtis ne tik taupyti išteklius, bet ir apskaičiuoti galios parametrus, saugoti ir persiųsti informaciją skaitmeniniu būdu; operatoriui suteikti galimybę peržvelgti gaunamą informaciją nuotoliniu būdu arba skaitiklio ekrane. Daiktų interneto ir išmanaus elektros skaitiklio sistemų galimybės pagal šiame darbe nagrinėjamą architektūrą apima tik dalį komponentų – galios skaičiavimo bei persiuntimo komponentus – iki ryšio sąsajos.

Nagrinėjant jutiklių tinklus būtina iširti, kokiais aplinkos modeliais remiantis veikia kiekviena matavimų posistemė (Zanoli ir kt., 2012; Sharma ir kt., 2011). Disertaciniame darbe plačiai nagrinėjamas fizinių galios parametrų surinkimas, siekiant tikslingai įgyvendinti taikymo sluoksnį ryšio protokolams. Informacijos išgavimas iš duomenų ir sprendimo priėmimas turi būti atliktas nedelsiant – realiu laiku. Užduočių eilės sudarymas ir lygiagretinimas įterptinėse sistemose yra priemonė, skirta užtikrinti lygiagretų nepriklausomų užduočių vykdymą mikroprocesoriuje.

Efektyviai valdant elektros energijos išteklius, skirtus paslaugai teikti, galima užtikrinti sklandesnę ir racionalesnę sprendimą sąnaudoms valdyti. Kuriant įterptines sistemas būtina atsižvelgti į tai, kokių duomenų reikia, siekiant išgauti informaciją iš aplinkos, taip pat reikia numatyti, kad skirtingi sistemos variantai galėtų veikti su įvairių architektūrų mikroprocesoriais, turinčiais skirtingą periferiją, komunikacines ir skaičiavimo galimybes. Darbe pasiūlytas elektros energijos duomenų stebėsenos (monitoringo) ir galios prietaisų valdymo sistemos architektūros sprendimas, pritaikytas darbui heterogeniniuose tinkluose. Siekiant užtikrinti, kad sistema galėtų reaguoti į aplinką, ne tik

pateikdama informaciją apie vykstančius įvykius, tačiau ir pasiūlyti sprendimus, kaip valdyti aplinkoje esančias posistemas, kurios daro įtaką šiai aplinkai; reikia, kad sistema sugebėtų atlikti duomenų prognozę ateičiai. Kad šioje sistemoje būtų užtikrinamas adaptyvus sprendimų priėmimas, įgalinantis autonomiškai valdyti elektros energijos sąnaudas, reikėjo pasirinkti tinkamus elektros energijos suvartojimo prognozei metodus. Darbe pasirinkti tiesinėmis laiko eilutėmis grindžiami prognozės metodai ir įtraukti sprendimo priėmimo komponentai elektros energijos valdymo posistemės darbui užtikrinti. Siekiant priimti automatizuotus sprendimus energijos sąnaudoms sumažinti, reikia iširti įterptinių sistemų duomenų surinkimo, perdavimo ir analizės posistemių galimybes ir pritaikyti metodus, kurie užtikrintų efektyvesnę energijos išteklių panaudojimą. Todėl teko spręsti pagrindinį uždavinį - kaip išvystyti elektros energijos sąnaudų valdymo sistemos architektūrą, atkreipiant dėmesį į elektros energijos suvartojimo poreikius, sąnaudas ir į sistemą įkomponuoti prognozavimo bei optimizavimo metodus.

#### **Sprendžiamos problemos**

Kad galėtume vykdyti išmaniajame būste energijos sąnaudų stebėseną realiu laiku reikia jutiklių, kurie atliktų fizinius galios (įtampos, srovės ir kt.) parametrų matavimus, juos kauptų ir iš jų apskaičiuotų galios sąnaudas per laiko vienetą. Siekiant užtikrinti šių jutiklių integravimą į bendrą išmanaus būsto sistemą, reikia sukurti tarpusavyje sąveikaujančių jutiklių tinklo taikomąjį sluoksnį, kuris dirbtų kitų standartizuotų tinklo sluoksnių aplinkoje. Šiame tinklo sluoksnyje turi būti užtikrinamas ne tik tinkamas apsikeitimas duomenimis (persiunčiama tarnybinė bei jutiklių duomenų informacija) bet ir vykdomas išmanus valdymas. Tarnybinė informacija yra skirta užtikrinti kokybišką duomenų persiuntimą, įgyvendinti tinklo saugumą ir užtikrinti duomenų vientisumą. Siekiant, kad mažo našumo įterptinių sistemų jutiklių tinklas būtų heterogeninio kompiuterių tinklo dalis, būtina sukurti taikomąjį tinklo sluoksnį, skirtą duomenims persiųsti, analizuoti ir gauti prieigą prie didelio našumo paslaugų serverių, didelio intensyvumo skaičiavimams atlikti.

Siekiant autonomiškai ne tik rinkti sunaudojamos elektros energijos duomenis, bet ir atlikti sistemos valdymą, kita mokslinė ir technologinė problema - kaip pasitelkti sprendimų priėmimo metodus, kurie įgalintų elektros sąnaudų valdymą. Analizuojamuose išmanaus būsto sistemose nebuvo išvystyti metodai, kurie įgalintų autonomišką duomenų prognozę ateičiai. Norint, kad atliekama duomenų prognozė būtų tiksli, prognozavimo modeliai reikalauja didelio našumo skaičiavimo įrenginių, turinčių didelius operatyviosios atminties resursus, nes reikia apdoroti didelius duomenų kiekius. Todėl dalis elektros sąnaudų stebėjimo ir analizės komponentų turi būti realizuoti didelio našumo skaičiavimo sistemoje.

Siekiant sukurti autonominę energijos sąnaudų valdymo sistemą, reikia įvertinti siūlomas architektūras, kurios integruoja elektros sąnaudų valdymo funkcijas. Dažniausiai išmanaus būsto valdymo sistemose integruojamos apšvietimo ir šildymo, vėdinimo posistemės, kurioms reikalingi specialūs prietaisai ir tinklų galimybės aplinkos parametrų nuskaitymui ir duomenų surinkimui. Tokių prietaisų prijungimui teko ieškoti tinkamų metodų, todėl buvo tiriamos įterptinių sistemų duomenų surinkimo, perdavimo ir analizės posistemių galimybės. Sprendžiama technologinė informatikos inžinerijos problema - kaip išvystyti elektros energijos sąnaudų valdymo sistemos architektūrą, įvertinant energijos suvartojimo poreikius, sąnaudas ir jų galimus prognozės metodus, kad įgalintų efektyvesnę elektros sąnaudų suvartojimą.

### **Tyrimo objektas**

Išmaniojo būsto elektros energijos autonominio valdymo posistemė, leidžianti atlikti elektros energijos sąnaudų duomenų kaupimą, stebėjimą ir prognozavimą bei valdymą kintančios topologijos mobiliajame tinkle.

### **Disertacinio darbo tikslas**

Išvystyti autonominę elektros energijos prognozavimo ir valdymo sistemą ir pasiūlyti jos architektūrą, kuri įgalintų duomenų kaupimo, persiuntimo, analizės bei prognozės funkcijas kintančios topologijos mobiliajame tinkle, siekiant efektyviau valdyti elektros energijos suvartojimą.



### **Disertacinio darbo uždaviniai:**

1. Išnagrinėti metodus ir informacines ryšių technologines priemones, išmaniojo būsto infrastruktūrai kurti, skirtas elektros energijos suvartojimui mažinti, bei atlikti siūlomų sprendimų lyginamąją analizę.

2. Išnagrinėti duomenų perdavimo protokolus, skirtus mažo našumo įterptinėms sistemoms integruoti išmaniojo būsto valdymo sistemoje.

3. Pasiūlyti ir įgyvendinti daugelio jutiklių tinklo integravimo išmaniojo būsto architektūroje tinklo taikymo sluoksnį bei išbandyti pasirinkto duomenų perdavimo ryšio protokolo veikimą elektros energijos sąnaudų duomenims kaupti ir analizuoti.

4. Pasiūlyti išmaniojo būsto aplinkos elektros energijos duomenų prognozavimo metodus, sudaryti algoritmų rinkinį, leidžiantį atlikti energijos suvartojimo prognozę įterptinėse sistemose.

5. Sukurti autonomiškai veikiančios, elektros energiją taupančios, valdymo sistemos prototipą, integruoti jį į išmaniojo būsto paslaugų sistemą bei atlikti eksperimentinį tyrimą, testuojant integruotą sistemą esant skirtingiems darbo režimams.

### **Taikomi mokslinio tyrimo metodai**

Atlikta literatūros šaltinių analitinė apžvalga, susisteminti svarbiausi išmaniojo būsto sistemų veikimo principai ir įvykdyta šių sistemų įgyvendinimo priemonių lyginamoji analizė.

Taikomas žvalgomasis tyrimas egzistuojančių energijos valdymo sistemų architektūroms apžvelgti.

Taikomas prototipavimo metodas mažo našumo įterptinių sistemų ir belaidžių jutiklių tinklui (angl. *WSN*) sukurti ir aplinkos parametrų duomenims surinkti.

Praktiškai realizuojant el. energijos sąnaudų valdymo sistemos prototipą pasiūlyti ESVS architektūros išvystymo (projektavimo) būdai.

## Gauti rezultatai

- Sukurtas autonominės elektros energijos sąnaudų valdymo sistemos (ESVS) prototipas, įgalinantis jungti įterptinių jutiklių mazgus mobiliojo ir kintančios topologijos tinklo sąlygomis. Prototipas skirtas energijos išteklių sąnaudų valdymui ir integruotas į išmaniojo būsto paslaugų sistemą. Į šios sistemos prototipą integruota sprendimų priėmimo sistema, grindžiama prognozavimo metodais ir energijos sąnaudų suvartojimo planu bei valdymo algoritmais. Sistemos architektūra papildoma 3 žingsnių grįžtamojo ryšio atsako moduliu.
- Įterptinių įrenginių (jutiklių ir valdiklių) įtinklinimui sukurtas mobilus tinklo topologijos sluoksnis ir sąsaja, kuri leido konfigūruoti prietaisų valdymą realiaame laike iš anksto neapibrėžus daiktų interneto įterptinių prietaisų paskirties. Tai leido suteikti duomenų surinkimo moduliui dinamiškumo, realaus laiko kalibravimo ir perkonfigūravimo galimybes.
- Pasiūlytas integruotas su ARMA modeliu ir Kalmano filtru užduočių vykdymo planas, kuris leido patikslinti elektros sąnaudų prognozės rezultatus.
- Eksperimentinių tyrimų rezultatai parodė, kad, įvedus užduočių vykdymo planą, energijos valdymo sistema veikia efektyviau. Kai sistema veikia autonomiškai, joje realizuotas prognozėmis paremtas realaus laiko apšvietimo valdymo algoritmas leidžia taupyti energijos sąnaudas.
- Parinkti duomenų perdavimo protokolai ir sukurtas įterptinių sistemų tinklo taikymo sluoksnis, kuris leidžia atlikti autonominę elektros energijos išteklių valdymą.
- Užduočių tvarkaraščio ir vartotojo taisyklių taikymas leido nustatyti ribojimus, kuriems esant paslaugų sistemos naudojami resursai neviršija numatytų verčių. Siekiant adaptyviau prisitaikyti prie dinaminių aplinkos pokyčių, tyrimo metu įvertinami ir išskirtiniai scenarijai (vakarėjimo režimas, žmogaus buvimas aplinkoje).

## **Mokslinis darbo naujumas**

Siūlomos daiktų interneto platformos neapibrėžia visų komponentų, reikalingų elektros energijos valdymo sistemos koncepcijai įgyvendinti. Tokios kūrimo platformos (pvz. ThingSpeak, Thingworx) yra skirtos duomenims kaupti, analizuoti ir reaguoti į įvykius. Panaudoti šias platformas elektros energijos ištekliams taupyti galima tik papildomai sukuriant sąsajas jutiklių tinklams, atliekant jutiklių duomenų surinkimą. Energijos sistemos duomenų perdavimas tarp įrenginių vykdomas naudojant telemetrijos technologiją ir M2M principą. Tačiau tokio tipo sistemose dar neįgyvendinti metodai ir priemonės, skirti mobiliam ir kintančiam tinklo jutiklių topologijai užtikrinti. Todėl šiame darbe pasiūlyta mažo našumo įterptinių jutiklių sistemos architektūra, veikianti belaidžiam mobiliame jutiklių tinkle.

Pasinaudojus išmanaus būsto infrastruktūra (laboratorija), buvo sukurtas jutiklių tinklas, leidžiantis fiksuoti jutiklių parametrus. Tačiau, egzistuojančiuose belaidžiuose tinkluose iki šiol nepakanka funkcionalumo jutiklių tinklo komunikacijai užtikrinti. Todėl autoriui teko praplėsti jutiklių tinklo komunikacijos funkcionalumą ir sukurti belaidžio tinklo taikymo sluoksnį. Naudojant sukurtą tinklo taikymo sluoksnį buvo įgalinti metodai ir realizuotos priemonės realaus laiko įrenginių konfigūravimui.

Remiantis atlikta literatūros analize nustatyta, kad egzistuojančiose energijos sąnaudų valdymo sistemose autonominis valdymas nėra grindžiamas elektros sąnaudų prognoze (Barnawi ir kt. 2016; Daniela ir kt. 2015; Engerati, 2016). Šiame darbe ARMA statistinio prognozavimo ir Kalmano filtro metodai yra integruoti į energijos sąnaudų valdymo sistemą, tai leido užtikrinti didesnę sistemos autonomiškumą ir pasiekti aukštesnio valdymo tikslumo.

Išvystyta sprendimo priėmimo sistema integruota į bendrą ESVS ir atlikti eksperimentiniai tyrimai leido inovatyviau valdyti galios prietaisus, įvertinant aukštą galios koeficientą, palaikant jo atitinkamą lygmenį realiu laiku.

Apibendrinant sukurtos ESVS savybes, galima teigti, kad ji pasižymi naujomis savybėmis lyginant su tradicinėmis elektros sąnaudų apskaitos sistemomis - gali veikti mobiliame ir kintančiame tinkle, pasitelkti įterptines

sistemas duomenų rinkimui, o pasiūlyti prognozės algoritmai įgalino sistemos veikimo autonomiškumą efektyvesniais sprendimų priėmimo metodais. Energijos valdymo autonomiškumas užtikrinamas remiantis integruotais į sistemą įrenginių duomenų analizės ir komandų valdymo moduliais.

### **Praktinis naujumas**

Darbe nagrinėjama išmaniojo būsto elektros energijos išteklių valdymo architektūra. Į ją integruojamos įterptinės sistemos panaudojant specializuotą tinklo taikymo sluoksnį ir komandų rinkinius, skirtus aprašyti išmanaus jutiklio ar kito įterptinio įrenginio veikimą, realiu laiku konfigūruojant valdančiojo įrenginio komandomis ir jas interpretuojant. Tokiu būdu išvengiama įterptinių sistemų vykdomų funkcijų programavimo žemo lygio programavimo kalbomis (pvz., assembleris ir C). Taip pat šis architektūros sprendimas palengvina sistemos įdiegimą, nes, ir konfigūracija ir įterptinės sistemos programinis kodas aprašomi viename centralizuotame sistemos mazge – valdančiajame įrenginyje. Priklausomai nuo energijos išteklių naudojimo pobūdžio, darbe siūloma prognozės algoritmus skirstyti į vienos arba daugelio nuoskaitų į ateitį prognozavimo metodus. Patys prognozavimo metodai (ARMA laiko eilutės ir Kalmano filtras) jungiami su užduočių vykdymo tvarkaraščiu (planu), kas leidžia patikslinti prognozės algoritmą, kai energijos sąnaudos yra dalinai deterministinės. Darbe aprašoma trijų žingsnių grįžtamojo ryšio atsako sistema, skirta tikslinti ir realiu laiku koreguoti sistemos priimamus elektros energijos valdymo sprendimus. Nagrinėjamas fizinių galios parametrų fiksavimas ir momentinių reikšmių nuskaitymas panaudojant mažo našumo įterptinės sistemas taip pat gali būti panaudotas atliekant nuspėjamąją priežiūrą (angl. *predictive maintenance*) ir sistemos klaidų aptikimą (angl. *fault detection*). Tai būtų aktualu realizuojant besivystančias išmaniasas turto valdymo (angl. *asset management*) sistemas. Kai visi nagrinėjami funkciniai moduliai jungiami į autoriaus siūlomą architektūrą, tai suteikia sistemai autonomiškumo, be to yra užtikrinama, kad elektros energijos išteklių valdymo sistema tampa adaptyvi, gebianti realiu laiku prisitaikyti prie vidinių ir išorinių pokyčių (pavyzdžiui,

įrenginio susidėvėjimas, istorinių duomenų įvertinimas, komforto užtikrinimas ir pan.).

### **Disertacijos ginamieji teiginiai**

- 1) Išmanaus būsto el. paslaugų sistemai tikslinga sukurti vieningą tinklo taikymo sluoksnį, kuriame būtų apibrėžiama tinklo įrenginio elgsena, iš anksto nenumatant šio įrenginio paskirties ir aprašant tik deklaratyvų interpretatoriaus mechanizmą.
- 2) Priimant el. energijos išteklių valdymo sprendimą, gali būti naudojami ateities duomenų prognozavimo metodai, apimantys laiko tarpą nuo vienos momentinės signalo reikšmės iki kelių periodų. Siekiant patikslinti prognozės rezultatą, tikslinga naudoti užduočių vykdymo planą, kuris turi būti integruojamas su pasirinktais prognozavimo algoritmais.
- 3) Siekiant aukštesnio sistemos autonomiškumo, egzistuojančių el. paslaugų energijos išteklių valdymo sistemų architektūrą tikslinga papildyti valdymo analizės, komandų valdymo ir sprendimų priėmimo moduliais. Šie moduliai integruojami į mobilų ir kintančios topologijos tinklą, papildant sprendimų priėmimo sistemą trijų žingsnių grįžtamuoju ryšiu ir prognozės duomenimis.

### **Disertacinio darbo aprobavimas**

Darbo tematika paskelbti 5 moksliniai straipsniai, 3 iš jų ISI Web of Science duomenų Thomson Reuters referuojamuose mokslo žurnaluose. Skaityti pranešimai ir dalyvauta 3 nacionalinėse ir 3 tarptautinėse mokslinėse konferencijose.

### **Publikacijos periodiniuose recenzuojamuose mokslo žurnaluose:**

1. Zulkas E.; Artemciukas E.; Dzemydiene D.; Guseinoviene E., Energy consumption prediction methods for embedded systems, Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2015, p. 1-5, <http://dx.doi.org/10.1109/EVER.2015.7112932>
2. A. Bielskis, E. Guseinoviene, D. Drungilas, G. Gričius, E. Zulkas, Modelling of Ambient Comfort Affect Reward Based Adaptive

Laboratory Climate Controller, Elektronika ir Elektrotechnika, 2013, vol. 19 (8), p. 79-82, <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.19.8.5399>.

3. E. Artemciukas, R. Plestys, A. Andziulis, K. Gerasimov, E. Zulkas, L. Pasviestis, A. Krauze, Real-time Control System for Various Applications using Sensor Fusion Algorithm. Elektronika ir Elektrotechnika, 2012, vol. 18 (10), p. 61 – 64, <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.18.10.3064>.

4. V. Bulbenkiene, A. Pecko, E. Zulkas, A. Kuprinavicius, A. Sokolov, G. Mumgaudis, Energy Sub-Metering Data Acquisition System, Elektronika ir Elektrotechnika, 2011, no. 5 (111), p. 99-102, <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.111.5.366>

5. Bielskis A. A., Guseinovienė E., Drungilas D., Gricius G., Žulkas E. Development of an adaptive human friendly sustainable environment, Proceedings of 9th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). 2014, Monaco, IEEE; p. 1-4, ISBN 978-1-4799-3787-5 (CD).

### **Straipsniai mokslinių konferencijų darbuose**

1. Žulkas, E.; Dzemydienė, D.; Guseinovienė, E. Išmanaus būsto elektros energijos taupymo posistemės projektavimo sprendimai // Jūros ir krantų tyrimai 2016 : 9-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija : konferencijos medžiaga : 2016 balandžio 27-29 d. Klaipėda: [Klaipėdos universiteto leidykla], 2016. ISBN: 9789955189015. p. 244-248.

2. Žulkas E., Dzemydienė D., Guseinovienė E., An approach of designing of decision support system in Smart human closed environments, International conference social technologies '15, 2015.

3. Zulkas E.; Artemciukas E.; Dzemydiene D.; Guseinoviene E, Energy consumption prediction methods for embedded systems, Conference of Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2015.

## **Disertacinio darbo struktūra**

Disertacinį darbą sudaro įvadas, 4 skyriai, išvados, literatūros šaltinių sąrašas ir priedai, pateikta darbo reziumė (lietuvių ir anglų kalbomis) ir santrauka.

Pirmajame skyriuje nagrinėjami metodai ir IRT priemonės. Bus apžvelgiamos ir susistemintos taikomos priemonės namų energijos valdymo sistemose. Apžvelgiamos daiktų interneto galimybės, skirtos išmanaus būsto energijos valdymo sprendimams. Aprašomas apšvietimo ir šildymo-vėdinimo sistemų aplinkos parametrų nuskaitymo ir duomenų surinkimo principas.

Antrajame skyriuje aptariamos namų automatizacijos komunikacinės priemonės ir technologijos. Tinklo topologijos, naudojamos el. paslaugoms teikti gali būti pritaikytos mažų energijos sąnaudų įterptinių sistemų tinkluose, nes yra aprašytos standartais, kurie yra pritaikyti mažo galingumo sistemoms.

Trečiajame skyriuje pristatoma elektros energijos išteklių autonominio valdymo ir taupymo posistemės architektūra. Išvystomi paslaugos moduliai, skirti energijos duomenų prognozei atlikti ir autonominiam sistemos darbui užtikrinti. Aprašoma sprendimų priėmimo sistema ir sprendimo priėmimo būdai elektros energiją naudojančių įrenginių valdymui atlikti.

Ketvirtojoje darbo dalyje nagrinėjami prognozės algoritmai energijos išteklių valdymo sistemoje. Siūlomas užduočių vykdymo planas Kalmano filtro ir ARMA modelio algoritmų papildymui. Atliekami išmanaus būsto energijos valdymo sistemos bandymai ir pateikiami prognozės bei valdymo rezultatai.

# **1 IŠMANIOJO BŪSTO VALDYMO SISTEMŲ INFRASTRUKTŪROS SPRENDIMŲ APŽVALGA**

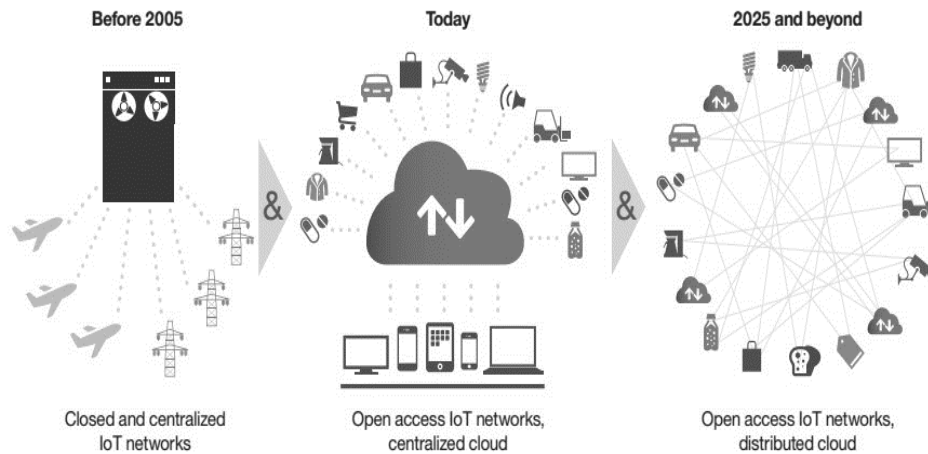
Skyriuje bus nagrinėjami metodai ir IRT priemonės įterptinėms energijos valdymo sistemoms kurti. Bus apžvelgiamos ir susistemintos taikomos priemonės namų energijos valdymo sistemose. Apžvelgiamos daiktų interneto galimybės, skirtos išmanaus būsto energijos valdymo sprendimams. Aprašomas apšvietimo ir šildymo-vėdinimo sistemų aplinkos parametrų nuskaitymo ir duomenų surinkimo principas.

## **1.1 Išmanaus būsto valdymo sistemų funkcinės galimybės**

Aplinkos ir racionalaus išteklių panaudojimo uždaviniai kelia iššūkius technologinėms naujovėms, kurios įgalintų sukurti sistemas kompiuterinių tinklų pagrindu ir galėtų būti jungiamos į dideles žmogų ir jo aplinką supančias ir aptarnaujančias sistemas. Išmanaus namo - technologiškai inovatyvus būsto technologiniai sprendimai įgalina naujos kartos sistemų infrastruktūros kūrimo galimybes, kurios atitinka naudotojų ir savininkų poreikius. Išmanaus būsto valdymo sistemose integruojamos mažesnės elektroninės paslaugų sistemos, pvz.: apsaugos valdymo, šildymo-vėdinimo, apšvietimo ir energijos valdymo sistemos. Kuriant pasyvų namą, išnaudojamos vietovės ypatybės, pažangios statybų technologijos ir energijos valdymo sistemos. Pasyvaus namo idėja – tausoti aplinką išnaudojant kuo mažiau energijos išteklių. Tokiu atveju siekiama, kad išmanaus namo energijos valdymo sistemoje energija būtų gaunama iš aplinką tausojančių šaltinių, todėl kuriamos automatizuotos valdymo sistemos. Elektroninės paslaugų sistemos gebėjimas atpažinti tam tikras situacijas aplinkoje ir į jas reaguoti yra pagrindinė technologinė užduotis.

Tinklų infrastruktūrą taikančių sistemų poreikis ateityje išaugs ir išmaniųjų paslaugų valdymo poreikiai reikalaus naujų tinklo struktūros plėtros sprendimų, įgalinant elektroninių paslaugų sistemas veikti centralizuotai, decentralizuotai ir išskirstytai (1 pav.).





Šaltinis: (Banafa A., 2016).

1 pav. Elektroninių paslaugų tinklo struktūros

Centralizuotas paslaugų tiekimas užtikrina įrenginiams tarpusavyje keistis žinutėmis, remiantis debesijos technologijos principais. Išskirstytos sistemos yra adaptyvesnės, tačiau reikalauja didelės sistemos procesorių greitaveikos ir didesnio tinklo pralaidumo. Kiekvienas įrenginys yra autonomiškas komunikacijos atžvilgiu ir atsakingas už susisiekimą su konkrečiais įrenginiais.

Išmanaus būsto elektroninės paslaugų sistemos funkcijos gali būti skirstomos pagal tam tikrus lygius:

1 lygis: Naudojamos komunikacinės technologijos, leidžiančios naudotojui susisiekti ir būti pasiektam kitų asmenų už nagrinėjamos aplinkos ribų. Galimi teksto ir balso susisiekimo būdai. Šiam lygmeniui priskiriamos telefono ir kompiuterinių sistemų suteikiamos susisiekimo galimybės, internetas ir kt.

2 lygis: Išmanaus būsto reakcija į naudotojo komandas, nurodant užduotis tiesiogiai arba nuotoliniu būdu. Šiam lygmeniui priskiriamos atsako į valdymo komandas sistemos, pavyzdžiui, durų užrakinimo-atrakinimo, langų būsenos patikrinimo, nuotolinio šviesų įjungimo ir kt.

3 lygis: Naudojamos automatinės buitinės funkcijos. Šiam lygmeniui priskiriamos sistemos naudoja jutiklius, matuoklius ir laikmačius oro temperatūrai, drėgmei reguliuoti. Sistemos pagal nustatytą laiką gali įjungti arba išjungti šviesą, automatiškai apsaugoti būstą nuo įsibrovėlių ir t.t.

4. lygis: Sistemos atitinkančios šį lygį seka naudotoją ir ieško priklausomybių analizuojant šablonus. Pavyzdžiui, vartotojo aptikimas aplinkoje, sveikatos stebėseną arba vartojimo plano sudarymas.

5 lygis: Analizuojami duomenis, priimami sprendimai ir į juos reaguojama. Šios sistemos gali įspėti naudotoją apie jo aplinkoje vykstančius įvykius, pavyzdžiui, apie gautus laiškus, vandens nuotėkį arba atrakintas duris ir t.t. Tačiau, šio lygio sistemos komunikacijos įgalinti įspėjimai pasiekia ir nutolusių asmenų ir būsto priežiūros paslaugų tiekėjus, kai reikia reaguoti į padėtį, pavyzdžiui: įspėjama apie sveikatos sutrikimus, miego ritmą ir t.t. Į sistemos funkcijas įeina ataskaitų teikimas gyventojams, asmenų ir būsto priežiūros paslaugų tiekėjams. 5 lygio išmanaus būsto sistema automatiškai atsižvelgia į įsimintus scenarijus, pavyzdžiui: įsiminti pageidaujama aplinkos temperatūrą arba apšvietimą.

6 lygis: Sistema suteikia informaciją, priminimus ir siūlo kasdienes užduotis, pavyzdžiui, siūlomi mankštos pratimai arba namų ruošos darbai.

7 lygis: Sistema atsako į klausimus. Įvertinus aplinką, sistema geba atsakyti į užduotus klausimus, pavyzdžiui, įvertinti aplinkos būklę.

8 lygis: Sistema vykdo užduotis, automatiškai užsakomi sistemos priežiūros darbai, sudaromi vartojimo poreikių sąrašai ir kt.

Šiame darbe nagrinėjamos išmanaus būsto energijos valdymo sistemos, pagal pateiktas sistemos funkcijas, atitinka 5 lygmens aprašymą: naudojantis aplinkos parametrų duomenimis ir atlikus jų analizę, atitinkamai reaguoti į aplinkos pasikeitimus.

Robotai, daiktai jungiami į internetą, kuriamos autonominės transporto priemonės, o energija saugoma talpyklose (Klaus S., 2016). 4-osios pramoninės revoliucijos technologijos leidžia išplėsti išmanaus būsto galimybes, nes galima kaupti didelius kiekius duomenų įterpiant jutiklius į žmogaus aplinką ir generuojant naujas žinias, efektyvesniam paslaugų valdymui ir išmaniai aplinkai sukurti.

Išmanaus namo paslaugų komponentai dažniausiai naudojami šioms paslaugoms teikti (Naimavičienė J., 2008):

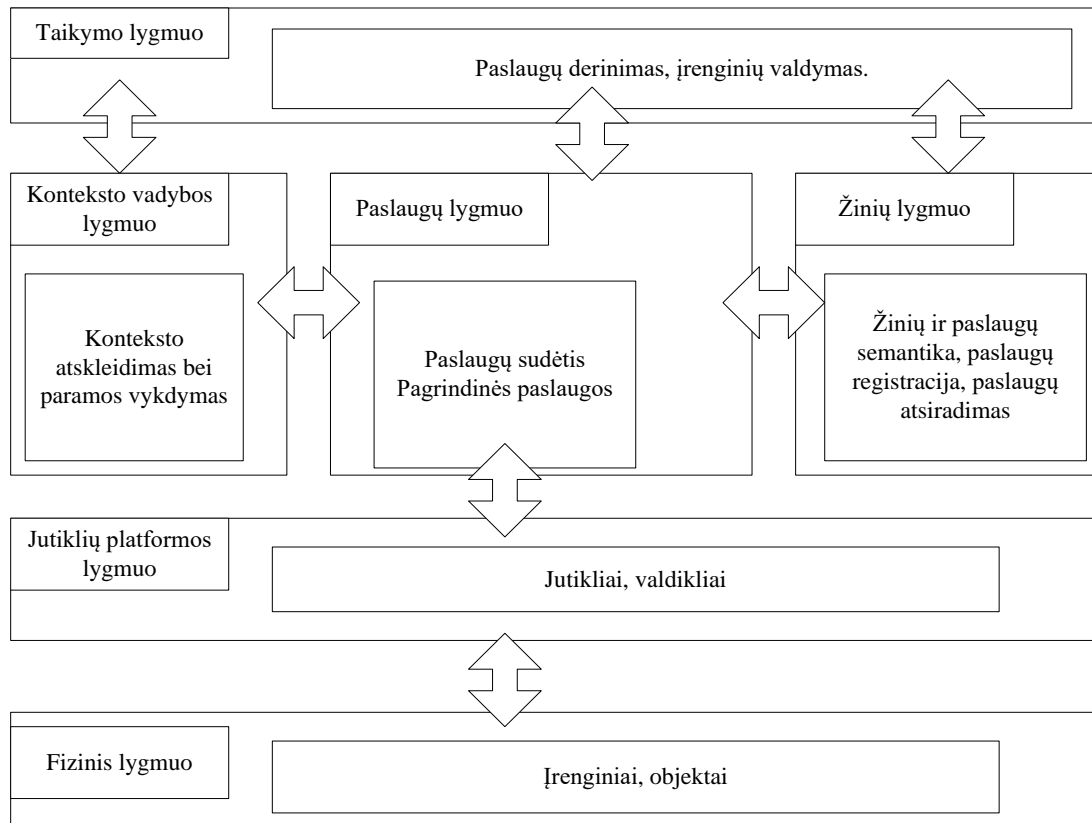
- patalpų klimato kontrolei (šildymo ir vėdinimo (angl. *HVAC*) sistemos, temperatūros ir drėgmės stebėsenos sistemos);
- apšvietimui (automatinis įjungimas ir išjungimas pagal užduočių sąrašą, apšvietimo parinkimas atsižvelgiant į aplinkos sąlygas ir t. t.);
- apsaugai (vaizdo stebėjimo kameros, žmogaus aptikimo, dūmų, ugnies, vandens, gamtinių dujų nutekėjimo jutikliai ir kontrolės sistemos).

Išmanaus būsto sistema pagal funkcines galimybes gali būti suskirstyta į šiuos lygmenis (Helal S. ir kt., 2005):

- fizinis lygmuo;
- jutiklių platformos lygmuo;
- paslaugų lygmuo;
- žinių lygmuo;
- konteksto vadybos lygmuo;
- pritaikymo lygmuo.

Išmanaus būsto lygmenų struktūra pavaizduota 2-ajame paveiksle. Fizinis lygmuo susideda iš įterptinių prietaisų ir kitų elektronikos komponentų, lengvinančių naudotojo buitį. Šiam lygmeniui galima priskirti elektroniką, pavyzdžiui, šviestuvai, šildytuvai ir kt. Jutiklių platformos lygmenyje renkami parametrai iš aplinkos. Jutiklių platformoje sujungiami jutikliai į tinklą. Jutiklių platforma yra susieta su fiziniu lygmeniu. Pavyzdžiui, atsižvelgiant į jutiklio duomenis, valdikliai reaguoja išduodami atitinkamą signalą. Valdymo lygmenį sudaro būste teikiamos paslaugos. Žinių lygmenyje aprašoma informacija apie sistemos paslaugų struktūrą ir galimybes. Šiame lygmenyje įvertinama, kaip daiktų interneto prietaisai komunikuoja tarpusavyje ir kokia informacija dalinamasi. Šiame lygmenyje saugoma informacija, kokie valdikliai ir jutikliai įgalina paslaugą išmaniojo būsto aplinkoje. Konteksto lygmenyje aprašoma, kaip sistema turi įvertinti išmaniosios aplinkos būklę, atsižvelgiant į vartotojo nurodytas taisykles. Šis lygmuo atsakingas aptikti nepageidautiną būseną ir bandyti atstatyti sistemą į iš anksto apibrėžtas pageidaujamas normas. Taikymo lygmenyje valdomos paslaugos: išjungiamos, įjungiamos, konfigūruojamos.

Sudaromos įvairios valdymo ir konteksto peržiūros sąsajos, kad naudotojas turėtų ryšį su jį supančiomis paslaugomis (Helal S. ir kt., 2005).



Šaltinis: sudaryta pagal (Helal S. ir kt., 2005, Naimavičienė J., 2008)

2 pav. Išmanaus būsto infrastruktūros įgyvendinimo lygmenys

## 1.2 Daiktų interneto sprendimai išmanaus būsto valdymo sistemose

Daiktų internetas tai globalaus interneto tinklo išplėtimas tarp įprastai neprijungtų prie globalaus tinklo prietaisų (principas ir panaudojimo pavyzdys pateiktas priede). Naudojantis šia idėja kiekvienas daiktas gali būti prijungtas prie globalaus tinklo laidais arba belaidžiu būdu: jutiklis, valdiklis ar kita įterptinė sistema. Daiktų interneto platformos apjungia metodus ir technologijas, skirtas greitai ir efektyviai kurti daiktų interneto technologijas. Daiktų interneto platformose naudojamos:

- Ryšio technologijų įranga ir sąsajos.
- Mikrovaldiklio programavimas (angl. *firmware fevelopment*).

- Komunikacinių protokolų kūrimas ir realizavimas (CoAP, MQTT) (Zheng Y., 2008).
- Žinučių brokerių ir eilutės (angl. *queue*) sudarymas.
- Saugumo daiktų interneto prietaisuose užtikrinimas.
- Duomenų surinkimas (Stouffer K., 2006), vizualizavimas ir duomenų analizės posistemų kūrimas.
- Programų kūrimo priemonių rinkinių (angl. *software development kit* arba *SDK*) kūrimas.
  - Integracija su kitomis el. paslaugų sistemomis

Platformos autoriai siūlo 6 lygių strategiją (16 pav.) daiktų interneto platformos technologiją naudojančioms verslo modeliams (ThingWorx, 2016).

- Neprijungta sistema – daug nenumatomų įvykių, ribotas sistemos atsakas, didelės priežiūros sąnaudos.
- Prijungta sistema – nuotolinė prieiga, reaktyvus sistemos atsakas.
- Aptarnaujama – nuotolinė prieiga su stebėseną (angl. *monitoring*), aptarnavimo sąnaudų sumažinimas, elektroninė prieiga prie programinės įrangos (angl. *electronic software delivery* arba *ESD*) (Daniela R., ir kt., 2015; Li H., ir kt., 2015).
- Išmani sistema – nuspėjama priežiūra, paslaugų stebėjimai ir skaitmeninės ataskaitos (Merret ir kt., 2008), produkto duomenų stebėjimas ir analizė, vartotojo ir prietaiso grįžtamasis ryšys tolimesniems produkto tobulinimams.
- Optimizuota sistema – apmokėjimo modelių sudarymas, sąskaitų tvarkymo (angl. *billing*) integracija.
- Paskirstyta sistema – debesų kompiuterijos technologijomis realizuotos ir pasiekiamos paslaugos, nuotoliniu būdu valdomi produktai, audito ataskaitos.

Siūloma strategija parodo, kad vien nuotoliniu būdu sujungtų prietaisų neužtenka, tačiau reikia užtikrinti lankstų duomenų surinkimą iš paslaugų sistemos, kad būtų galima tvarkyti sąskaitas ir gauti įrenginio ataskaitas.

Prietaisą prie daiktų interneto tinkle galima prijungti nenaudojant platformos, tačiau įterptinei sistemai turi būti suteiktos komunikacinės galimybės ir paruoštas veikimo principas susisiekti su kitais tinklo įrenginiais nurodytu komunikaciniu būdu.

Daiktų interneto tinklo struktūra susideda iš (Minerva R. ir kt., 2015):

- įterptinių sistemų tinklo,
- sąsajos tarp įterptinių sistemų tinklo ir debesies technologijų,
- tinklo serverių ir jų taikymo programavimo sąsajų (angl. *API*).

Daiktų interneto prietaisui technologijos kūrimas be daiktų interneto platformos apima keturias dalis:

- įterptinių sistemų programavimą ir kūrimą,
- programinės sąsajos komunikacijoms kūrimą arba panaudojimą,
- interneto svetainės sąsajos ir paslaugos sistemos kūrimą,
- prieigos prie paslaugos valdymo ir konfigūravimo sistemos kūrimą.

Daiktų interneto tinklas sudaromas siekiant įgyvendinti prieigą prie reikiamų paslaugų ir duomenų realiu laiku, todėl numatoma galimybė kaupti duomenis debesyje. Toks duomenų kaupimas daiktų internete užtikrina galimybę kaupti itin didelius informacijos kiekius (angl. *big data*). Šio principo įgyvendinimas galimas, kai yra prieiga prie interneto technologijų. Tačiau kokybei užtikrinti, įterptinių sistemų panaudojimo aplinkoje gali būti numatyta vietinė lokali duomenų bazė tam skirtame (dedikuotame) serveryje, kurios tikslas išlaikyti duomenų vientisumą, kai dingsta ryšys, tačiau duomenų kiekiai yra per dideli efektyviai apdoroti įterptinės sistemos aplinkoje.

### **1.3 Namų elektros energijos valdymo sistemų apibendrinimas**

Namų energijos valdymo sistemų (angl. *home energy management* arba *HEM*) pagrindinė užduotis - efektyviai išnaudoti elektros energijos išteklius ir patalpose esančius prietaisus (Galvao ir kt., 2011). Skirstomi elektros energijos ištekliai gali būti efektyviai išnaudoti tuo atveju, jeigu galima nuspėti, kada resursų prireiks ir kada jie liks nepanaudoti arba panaudoti neefektyviai, pavyzdžiui, kai aplinkoje nėra žmonių. Sistemos, veikiančios pagal nustatoma

laiką (prietaisų įjungimo/išjungimo laikmačiai), negali įvertinti, ar tikrai prietaiso panaudojimas yra reikalingas. Numatytais laiko intervalais įjungiant prietaisus tiek komerciniuose, tiek gyvenamojo tipo namuose nepavyks išgauti efektyvaus resursų panaudojimo. Realiose sąlygose dažnai bus taip, kad retą iš deterministinių įjungimų galima vertinti kaip naudojamą tinkamu laiku: vėdinamos, šildomos ir apšviečiamos patalpos, kurioms šių paslaugų tuo metu nereikia. Įprastos sistemos neįvertina, ką ir kada naudotojas šioje aplinkoje atliks ir kokiais konkrečiais prietaisais naudosis. Komercinių pastatų analizei skirtos sistemos (angl. *building's energy analyzing device* arba *BEAD*) tikslas - efektyviai naudoti išteklius, stebint žmogų komercinėje aplinkoje ir jį supančius elektrinius prietaisus. Sekami įrenginių naudojimo ypatumai ir atliekama pasikeitimų analizė. Jos metu galima išsiaiškinti, kaip prietaisai gali būti panaudoti ateityje. Šios sistemos galimybės apima ne vien tik el. energijos išteklių taupymą - galima tolygiai paskirstyti naudojamus prietaisus ir įvertinti šių prietaisų valdymą, pavyzdžiui įvertinti, kada šie prietaisai turi būti patikrinti arba remontuojami. Bead yra IoT sistema, analizuojanti dienos ciklą, vartotojo veiksmus ir pokyčius. Tokiu būdu galimas aplinkos realaus laiko stebėjimas ir nuotolinė prieiga prie aplinkos parametrų ir prietaisų duomenų. Naudojant bead sistemas galima sutaupyti apie 20 procentų el. energijos sąnaudoms skirtų lėšų, neskaičiuojant įrenginių naudojimo resursų taupymo (Engerati, 2016).

Gyvenamojo būsto energijos valdymo sistemos siekia įtraukti vartotoją ir tarifais įvertintą resursų naudojimo atsaką iš sistemos. Iš anksto žinomi elektros energijos panaudojimo tarifai leidžia sukurti kontrolės įrenginį, panaudojimo tvarkaraščiui kurti, siekiant užtikrinti perteklinį resursų panaudojimą ir išlaidų viršijimą. Tokiu atveju siūloma spręsti optimizavimo uždavinį, kurio išėjimas – optimalus įrenginio arba aplinkos energijos naudojimo planas (Sun ir kt., 2012).

Rezultatas gali būti panaudotas tolimesnei dienos sąnaudų prognozei atlikti.

El. energijos prietaisų panaudojimas gali būti valdomas arba nevaldomas. Kontroliuojami prietaisai ir jų sąnaudos dažniausiai yra deterministinės ir gali būti valdomos naudojantis HEM sistemomis. Nekontroliojamos sąnaudos yra

nedeterministinės ir jų valdymo suprogramuoti įprastomis HEM priemonėmis neišeina. Įprastinės valdomos sistemos, tai skalbimo, indų plovimo, rūbų džiovavimo ir kitos įprastos buitės mašinos ir jų sistemos, valdomos įjungti/išjungti principu. Dažnai moksliniuose darbuose nagrinėjamos šildymo ir vėdinimo sistemos irgi priskiriamos prie kontroliuojamų sistemų, tačiau jų darbo principas leidžia valdyti įrenginį tam tikrame intervale, pavyzdžiui valdyti šildymo pajėgumą, todėl šių prietaisų savybėms galima priskirti ne tik vidutines sąnaudas, bet ir mažiausių bei didžiausių sąnaudų taškus.

Viena iš namų energijos valdymo sistemos užduočių - surinkti duomenis iš išmanaus būsto paslaugų prietaisų, naudojantis galios matuokliais ir jutikliais, siekiant sumažinti išlaidas bei gauti atsaką iš sistemos. Poreikio valdymo sistemos (angl. *demand management system*) ir poreikio atsakas (angl. *demand response*) sudaro sąlygas sumažinti elektros energijos sąnaudas ir patį poreikį.

Informacinės technologijos ir komunikacijos yra svarbios siekiant taupyti elektros energijos išteklius, atliekant prietaisų valdymą, sąnaudų optimizavimą bei prognozę ateičiai analizuojant istorinius duomenis (Eriksson, 2012; Hassan ir kt. 2012). Išmanieji elektros tinklai patobulina energijos tiekimo infrastruktūrą visuose proceso žingsniuose: generuojant, perduodant, išskirstant ir naudojant elektros energiją (Feinberg E., 2012). Naudojamos technologijos, kurios padeda automatiškai identifikuoti gedimus el. paslaugų sistemose, nukreipti energijos srautus bei juos valdyti. Išmanieji tinklai susiję su išmanaus būsto energijos valdymo sistema, nes komunikacija ir informacijos persiuntimas tarp būstų gali būti realizuotas tarpusavyje pasidalinant informaciją tarp stebimų vartotojų. Tokiu būdu galima rasti sąnaudų valdymo sprendimus konkrečiam klientui individualiai ir suderinti bendrus energijos naudojimo pikus. Poreikio atsako suteikiama nauda gali būti skirstoma į keturias kategorijas (U.S. Department of Energy, 2006):

- Finansinė nauda – elektros energijos išteklių taupymas vartotojui, kai įmanoma sunaudojimą perkelti į pigesnio tarifo laiką.



- Brangiausio elektros energijos tiekimo taško išskirstymas per laiko intervalą – naudinga energijos tiekėjams, kai susiduriama su apkrovos išskirstymu tarp vartotojų.
- Patikimumo nauda – energijos tiekimo išskirstymas didina saugumą ir sumažina trikdžio tikimybę.
- Elektros energijos tiekimo stabilios kainos užtikrinimas, kuri būtų didesnė už gamybos sąnaudas.

Kiekvienas individualus paslaugų sistemos energiją suvartojantis prietaisas lemia bendrą suvartojimą. Turint komunikacinę ryšį su kiekvienu paslaugos prietaisu būste ir remiantis vartojimo duomenimis, galima sudaryti tiek tiekėjui, tiek ir vartotojui naudingą modelį, skirtą deterministinėms resursų sąnaudoms apibrėžti ir apskaityti. Nagrinėjamos autonominės energijos išteklių sistemos atveju, tai būtų sąlygos vartotojo naudojamoms paslaugoms, sudarant galimybę sutaupyti perkeliant panaudojimą į pigesnio tarifo zoną automatiškai, jeigu tai nesumažina vartotojo išmanaus būsto sistemos teikiamo komforto arba užtikrina, kad komfortas yra pakankamas (Baig F. ir kt., 2013).

Poreikio atsakas sudaro galimybę, kad nedidelis energijos poreikio sumažinimas žymiai sumažintų elektros energijos kainą. Galimybė sumažinti vartojamos energijos poreikį yra alternatyvi poreikio perstūmimui į vėlesnį arba iš anksto numatant į ankstesnį laiką (angl. *demand shifting*).

Išmaniojo būsto aplinkos paslaugų sistemose yra daug elektros energiją naudojančių įrenginių. Naudojant energijos valdymo sistemą (angl. *energy management system* arba *EMS*) galima sutaupyti valdant energijos sąnaudas, kurias sudaro didžiausią dalį energijos suvartojantys energijos prietaisai, tačiau būtina suderinti komforto ir taupymo galimybes. Šiame darbe siūlomas būdas elektros ištekliams taupyti, naudojantis išvystytą elektros energijos išteklių valdymo architektūrą, kurios pagrindas yra energijos valdymo sistema su automatiniu el. prietaisų valdymo galimybe, priimant valdymo sprendimus sprendimų priėmimo sistemoje (angl. *decision support system* arba *DSS*). Panaudojant istorinius galios sąnaudų duomenis ir aplinkos parametrų momentines reikšmes, galima sudaryti žinių bazę sprendimų priėmimo sistemai.

Realaus laiko duomenų surinkimo tinklo duomenys ir informacija apie išmaniąsias paslaugas gali padėti nuspėti elektros energijos ateities sąnaudas. Žinių bazė ir prognozės rezultatai gali padėti rasti sprendimą, kaip dinamiškai valdyti išmaniosios paslaugos prietaisus. Realaus laiko išmaniosios aplinkos parametrų momentinių reikšmių surinkimas iš įvairių posistemų gali būti panaudotas stebėsenos duomenims gauti. Energijos valdymo sistema gali būti pritaikyta naudoti duomenis ne tik apie energijos suvartojimą, tačiau papildomai įvertinti žmogaus buvimą ir elgseną aplinkoje, aplinkos temperatūrą arba duomenis iš kitų paslaugos išmaniųjų jutiklių. Naudojant automatinę sprendimų priėmimų sistemą, rankiniu būdu sistemą sukonfigūruoti reikia tik kartą, pateikiant vartotojo taisykles ir paslaugos bei panaudojimo ribojimus, nebent išmaniosios aplinkos parametrai arba reikiamas komforto lygis pasikeičia. Ši energijos išteklių valdymo architektūra sudaro galimybę kaupti žinių bazę ir priimti sprendimus, remiantis sistemos atsaku ar priimtas sprendimas buvo korektiškas. Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio schema gali pasiūlyti ne tik sprendimų sistemos prietaisų valdymą, bet ir išplečia tolimesnes sistemos eksperimentinio tyrimo galimybes.

#### **1.4 Įterptinės sistemos integruojamos išmaniojo būsto architektūroje**

Integruojant naujas išmaniąsias paslaugas į bendrą išmaniojo būsto architektūrą, reikia įvertinti kokios sistemos yra susietos tarpusavyje komunikaciniais ryšiais (Ding ir kt., 2011), taip pat reikia iširti, kokie jutikliai turi būti panaudoti konkrečiai užduočiai atlikti. Skirtingų jutiklių panaudojimas ir savybės skiriasi, todėl skiriasi ir koncentravimo įrenginio savybės bei komunikacinės galimybės.

##### **1.4.1 Apšvietimo valdymo posistemė**

Tipinė apšvietimo valdymo sistema yra sudaryta iš valdiklio ir šviesos valdymo įrenginio. Valdymas gali būti atliktas atsižvelgiant arba neatsižvelgiant į aplinkos apšviestumą. Norint gauti atsaką iš sistemos, reikia jutiklių, galinčių pamatuoti aplinkos parametrų pasikeitimą suveikus valdikliams. Apšviestumui

pamatuoti gali būti naudojami analoginiai arba skaitmeniniai jutikliai. Analoginiai jutikliai yra mažesnio tikslumo ir ilgesnės reakcijos prietaisai, tačiau jų patikimumas yra aukštas, nes išvengiama skaitmeninės dalies. Skaitmeniniai apšviestumo matuokliai, gali skirtis savo panaudojimo galimybėmis, pavyzdžiui matuojamas ne tik apšvietimas, tačiau ir apšvietimo spalvų spektras. Norint sukurti išmanaus būsto apšvietimo valdymo sistemą, reikia ją integruoti į bendrą tinklą, todėl nagrinėjamos dviejų kategorijų komunikacinės technologijos: sąsaja tarp jutiklių ir valdiklio bei ryšys su bendra paslaugų sistema.

Priklausomai nuo technologinių galimybių, minėtos sąsajos gali būti mikroprocesoriaus periferijos dalimi. Reikia atkreipti dėmesį į šios periferijos efektyvų panaudojimą, nes duomenų apdorojimas gali būti iš dalies automatinis, tik galutiniai rezultatai pasiekiami naudojant vidines įrenginio veikimo pertraukimo (angl. *interrupt*) procedūras.

Aplinkos apšviestumo matavimams nebūdingas dažnas parametro reikšmių nuskaitymas iš valdiklio. Galima naudoti tik kelias nuoskaitas per sąlyginį aplinkos parametrų išgavimo laiko vienetą. Pavyzdžiui, jeigu jutiklyje atliekamas ne tik apšviestumo duomenų surinkimas, o nustatytas reikšmių persiuntimo periodas yra 1s, tai per šį periodą surinktos reikšmės ir išgautas vidurkis yra pakankamas nuoskaitų skaičius, įvertinant elektros energijos paslaugų dirbtinio ir natūralaus apšviestumo pasikeitimo galimybes.

#### **1.4.2 Šildymo-vėdinimo sistemų valdymas**

Šildymo-vėdinimo sistemų valdymo įterptinėmis el. energijos valdymo sistemomis veikimo principas panašus į apšviestumo valdymą. Momentinės nuoskaitos matuojamos sąlyginai retai, ypač, palyginus su šiuolaikinių mikrovaldiklių pajėgumu (100 – 200 tūkst. ir daugiau nuoskaitų per sekundę). Tačiau į aplinkos pasikeitimą turi būti reaguojama su sistemos atsako delsimu, nes temperatūros duomenys nuskaitymi naudojami histerezės būdu. Histerezės parametrai ir tipas priklauso nuo konkrečios situacijos, tačiau juos galima įvertinti eksperimentiškai derinant sistemą diegimo metu. Skirtingai, negu dujų jutikliai, kurie gali būti panaudoti oro kokybės matavimui išmaniojoje aplinkoje,

oro temperatūros jutikliai neturi jokių panaudojimo ypatybių ir ribojimų (pavyzdžiui, dujų jutiklį gali prireikti pakaitinti prieš panaudojimą, o tuo metu nuoskaitos netikslios arba negalimos). Skaitmeniniai temperatūros jutikliai dažnai komplektuojami su drėgmės arba kitais aplinkos parametrų jutikliais aplinkos oro kokybei pamatuoti. Tokiu atveju reikalinga skaitmeninė sąsaja reikalingiems duomenims išgauti (Makinwa ir kt., 2010).

### 1.4.3 ESVS technologijų raida

1-oje lentelėje pateikti duomenys, kada ir kokios technologijos panaudotos energijos išteklių valdymo sistemose pagal (Vega ir kt, 2015) darbą.

**1 lentelė:** Technologijų energijos ištekliams valdyti raida.

<b>Metai</b>	<b>Technologija</b>
1970	Integruoti infraraudonosios šviesos jutikliai.
1982	Kuriami algoritmai energijos valdymui, siekiant sumažinti elektros energijai skirtas išlaidas.
1986	Naudojami mikrovaldikliai ir puslaidininkės technologijos sprendimai.
1986	Keturių energijos valdymo lygių išskyrimas (nuo žemo iki aukšto lygmens kontrolės).
1995	Namai, pritaikyti vyresnio amžiaus žmonėms ir žmonėms su negalia.
1999	AvareHome namai su ultragarsiniais jutikliais. Naudojamos radio ir video technologijos.
2002	MavHome namai su jutikliais ir valdikliais, skirtais namų automatizacijai.
2003	Grenoble namai. Išmanieji namai, kuriuose naudojami įvairios paskirties aplinkos jutikliai, stebimas žmonių aktyvumas vaizdo kameromis, bei naudojami nuotoliniai valdymo prietaisai.
2005	PROFESY projektas. Stebimas aplinkos resursų poreikis, optimizuojami maksimalaus poreikio stebėsenos valdikliai

	(angl. <i>maximum demand monitor controller</i> ), siekiant minimizuoti globalius panaudojimo pikus.
2006	Ubiquitous Home. Jutikliai ir prietaisai apjungiami į duomenų perdavimo tinklą, stebimas žmogaus buvimas aplinkoje.
2006	Žaidimų teorijos algoritmai pritaikomi vieno gyventojų stebėjimams el. paslaugų aplinkoje.
2010	Apple sukurtas įrenginys Home energy Management Dashboard, rodantis aplinkos el. energijos resursų panaudojimo duomenis.
2010	SHEMS – (angl. <i>Smart home energy management system</i> ). Analizuojamos el. energijos išteklių, remiantis generuojamų ir naudojamų resursų kiekiu, siekiant optimizuoti namų energijos panaudojimą ir išteklių taupymą.
2014-iki dabar	Siūlomos sistemos optimizuoti suvartojimą analizuojant realaus laiko suvartojimo duomenis.

Šaltinis: (Vega ir kt, 2015).

Elektros energijos valdymo technologijos būsto paslaugų sistemose gali būti įvairios: laikmačiais valdyti energiją naudojančius prietaisus, naudoti el. energijos prietaisus tik esant poreikiui ir remiantis jutiklių informacija. Plačiai naudojamos technologijos, skirtos sujungti jutiklius ir el. energijos prietaisus, naudojantis duomenų persiuntimo tinklais. Šiame darbe nagrinėjama ir apibendrinama el. energijos išteklių valdymo sistemos architektūra remiasi sukurtais sistemomis, kuriose diegiamos įterptinės technologijos, bei naudojamos momentinės aplinkos parametrų reikšmės. Darbe siūloma išvystyti el. energijos valdymo sistemas įdiegiant sprendimų priėmimo posistemę, kurioje stebimas grįžtamasis atsakas į sistemos poveikį aplinkai, įvertinant komforto, resursų panaudojimo ir efektyvumo kriterijus. Esamose el. energijos valdymo sistemose ir namų automatizavimo sprendimuose dažnai naudojami duomenų perdavimo būdai nesiskiria nuo įprastų komunikacinių sistemų. Namų automatizacijos komunikacijoms naudojami IEEE 802.11 ir IEEE 802.15.4 protokolai, bei kitos mažo našumo įterptinėms sistemoms pritaikytos

komunikacinės technologijos. Namų automatizacijos sistemos gali būti skirstomos į aplinkos parametrų momentinių reikšmių stebėsenos sistemas, įrenginių valdymo, energijos resursų valdymo sistemas. Moksliniuose darbuose aprašomos sistemos el. energijos ištekliams valdyti dažnai nagrinėja konkrečias paslaugas, pavyzdžiui projektas „Power matching city“ (NL Agency, 2013), šildymo sistemos, indų plovimo ir skalbimo mašinų poreikio ir energijos išlaidų stebėjimo sistemos kūrimas. Sukurtas sistemos algoritmas „PowerMatcher“ randa ekonomiškai efektyviausią el. energijos panaudojimo būdą, kai vartotojas nurodo naudojimo taisykles.

Siūlomos sistemos būstams, kai duomenų perdavimas atliekamas 802.15.4 standartizuotu duomenų perdavimo protokolu (Zou ir kt, 2011). Iš aplinkos surenkami temperatūros, apšviestumo, drėgmės, buvimo aplinkoje duomenys, prietaisų naudojimas (įjungta/išjungta) ir perduodami į centralizuotą duomenų saugyklą. Centralizuotas serveris atlieka visų nagrinėjamų būstų duomenų analizę, įvertinant metrologinių sąlygų, energijos kainos bei panaudotų išteklių duomenis. Pagal surenkamus duomenis prognozuojamas el. energijos išteklių panaudojimas ateityje. Poreikio atsako sistemos analizuoja el. energijos sąnaudas ir reguliuoja jas, kad nebūtų viršytos panaudojimo ribos. Pastato energijos valdymo sistemose (angl. *BEMS*) gali būti stebimas vartojimas ir įvertinama, kaip efektyviai panaudoti el. energijos resursus, nenukenčiant patogumui. Sistemos tikslas įvertinti, kada patalpos bus naudojamas ir kokie prietaisai bus įjungiami. Siekiant įvertinti pastatų el. energijos sąnaudas naudojami centrinis ir namų energijos matavimo moduliai (angl. *Central Energy Management Unit* ir *Home Energy Management Unit*).

Autonominio energijos balansavimo (angl. *autonomous balancing of load*) sistemos nagrinėja energijos sąnaudų duomenis, siekiant pateikti tolimesnį energijos įrenginių naudojimo planą. Šiose sistemose taip pat stebimi asmenys aplinkoje ir įvertinama jų elgsena. Tokiose sistemose naudojami ir energijos tarififikacijos duomenys, siekiant įvertinti, kiek galėtų sutaupyti vartotojas ir planuojama, kurie prietaisai turėtų būti naudojami pigesnio tarifo laikotarpiu.

## 1.5 Energijos suvartojimo ir duomenų apdorojimo sistemos

Šiame darbe kuriama energijos suvartojimo duomenų surinkimo ir jų apdorojimo sistema, leidžianti numatyti suvartojamos energijos poreikius ir resursus. Tokiai sistemai reikia skaitmenizuoti suvartojimo duomenų surinkimo procesą. Šiai užduočiai tinka mažo našumo įterptinės sistemos, pritaikytos nuskaityti fizinius galios parametrus ir/arba turinčios komunikacijos galimybes. Sistemos duomenims perduoti būtina užtikrinti pakankamą greitaeigiškumą (nuoskaitos per sekundę), įvertinant, kad galios koeficiento matavimas reikalauja pamatuoti ir surinkti duomenis apie el. galios ir srovės kreives realiu metu (On Semiconductor, 2014).

Pagrindinės integruoto valdymo, suvartojamos energijos duomenų kaupimo ir jų apdorojimo technologijos, leidžiančios prognozuoti energijos poreikį turi komunikuoti vieningame heterogeniniame tinkle (Krawer ir kt., 2001). Eksperimentų metu surenkami elektros energijos suvartojimo duomenys iš išmaniosios aplinkos patalpų. Elektros energijos sąnaudų stebėseną atliekama su specializuota įranga, kuri standartizuotais duomenų protokolais persiunčia informaciją į paslaugų serverio duomenų bazę. Duomenų kaupimui pasirinkta SQL duomenų bazė. Tinklo mazgai, atsakingi už konkrečios patalpos matavimo duomenų surinkimą, turi prieigą prie elektroninių paslaugų serverio ir yra atsakingi už duomenų vientisumą. Gauti duomenys trečioje darbo dalyje panaudoti energijos suvartojimo analizei ir prognozei atlikti. Eksperimento metu kaupiama informacija realiu laiku, todėl svarbu paruošti atitinkamą reliacinės duomenų bazės struktūrą, pritaikytą didelių duomenų masių analizei. Energijos suvartojimo analizė padeda rasti dėsningumą tarp duomenų įrašų, pavyzdžiui ieškant dėsningumo laiko eilutėje. Duomenims apdoroti reikia taikyti suvartojimo prognozavimo metodus bei vizualizaciją (Koponen ir kt., 2012). Siekiama užtikrinti mažiausias matavimų paklaidas ir aukštą darbų atlikimo kokybę, todėl darbe naudojami skaitmeniniai išmanieji elektros energijos skaitikliai, prie kurių jungiamas mikrovaldiklis duomenims nuskaityti ir perduoti į koncentravimo įrenginį. Duomenų surinkimo tinklas užtikrina būtiniausių parametrų fiksavimą, duomenų perdavimą ir integraciją į duomenų

apdoravimo sistemą. Taip pat užtikrina duomenų kaupimo nepertraukiamumą, nes duomenys papildomai saugomi pirminėje duomenų saugykloje.

Realaus laiko priežiūros kontrolės ir duomenų surinkimo sistemos - SCADA, naudojamos pramonėje gamybos, energetikos ir kitose srityse (GE Industrial, 2011; Rainys R., 2011). Tačiau šių sistemų siūlomas funkcionalumas tinka ir išmanaus būsto sprendimų realizacijai (Deshpande S. V. ir kt., 2014). Tarp rinkoje egzistuojančių sprendimų galima rasti realizacijų, kuriose įtraukiamos stebėsenos (įvykių fiksavimo), duomenų koncentravimo ir kontrolės sistemos funkcijos (GE Industrial, 2011).

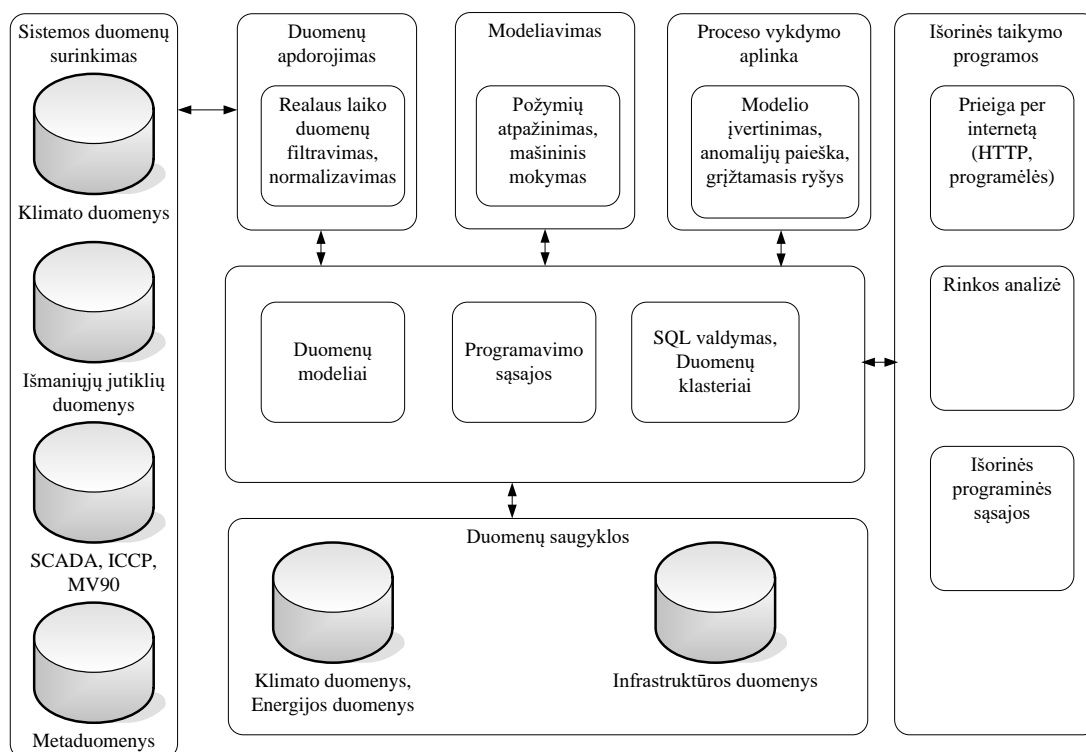
Siūlomose sistemose, naudojamame užduočių vykdymo sekos plane, aprašoma, kada ir kokius numatytus veiksmus sistema turi atlikti atitinkamomis sąlygomis. SCADA energijos valdymo sistemose pateikiami duomenys apima gamybos sąnaudas, todėl šios sistemos plačiai naudojamos pramonėje, tiekiant paslaugas (GE Industrial, 2011).

SCADA sprendimų realizacijose nenumatyta galimybė valdyti elektros energijos prietaisus išmanaus būsto aplinkoje, remiantis energijos suvartojimo prognozės rezultatais. SCADA sistemos energijos suvartojimo prognozė naudojama įvertinti vartojimo poreikį neatsižvelgiant į detalią vartojimo specifiką (nevaldomi buityje naudojami prietaisai, neįvertinamos prietaisų charakteristikos) (Deshpande S. V. ir kt., 2014).

Autorių (Fusco F. ir kt., 2016) siūlomi sprendimai energijos duomenų surinkimui ir vartojimo poreikio analizei įgyvendinti nagrinėja duomenų modelį, kuriame apibrėžiama, kokie duomenys turi būti renkami ir kaip jie turi būti aprašyti. Pagrindinė siūlomo duomenų modelio savybė - išlaikyti galimybę saugoti įvairaus tipo heterogeninius duomenis laiko eilutėse, duomenų bazės struktūroje. Autorių (Fusco F. ir kt., 2016) siūlomoje architektūroje (3 pav.) nenumatyta galimybė visiškai automatizuoti procesą, kad sistema veiktų be žmogaus intervencijos (autonomiškai). SCADA sistemos neturi galimybės sudaryti įrenginio veikimo algoritmo sistemos veikimo metu, t.y. apibrėžti jutiklio tinklo komponentų komandų vykdymą iš nutolusio įrenginio. Šis SCADA sistemų trūkumas sumažina sistemos dinamiškumą.



Išmanaus būsto elektros energijos stebėsenos sistemų pagrindinis komponentas yra galios matavimo prietaisai (5 pav.), nes fizinių elektros galios parametrų surinkimas lemia duomenų tikslumą (Elgama Sistemos, 2016; Neur IO, 2017). Elektros energijos stebėsenos sistemos sudaro galimybę rinkti tiek kiekvieno elektros lizdo, tiek ir įvadinio skaitiklio suvartojimo duomenis. Sistemos apima duomenų saugojimo ir peržiūros funkcijas. Rinkoje siūlomos stebėsenos sistemos neapibrėžia grįžamojo ryšio įvertinimo ir atsako realizacijos (EnergyCurb, 2016; EnergyDetective, 2016). Tačiau tokią realizaciją būtų galima atlikti prijungus sistemą prie daiktų interneto, jeigu produktui paruošta taikymo programavimo sąsaja (Sun Q. ir kt., 2016; ThingWorx, 2016).



Šaltinis: sudaryta pagal (Fusco F. ir kt., 2016)

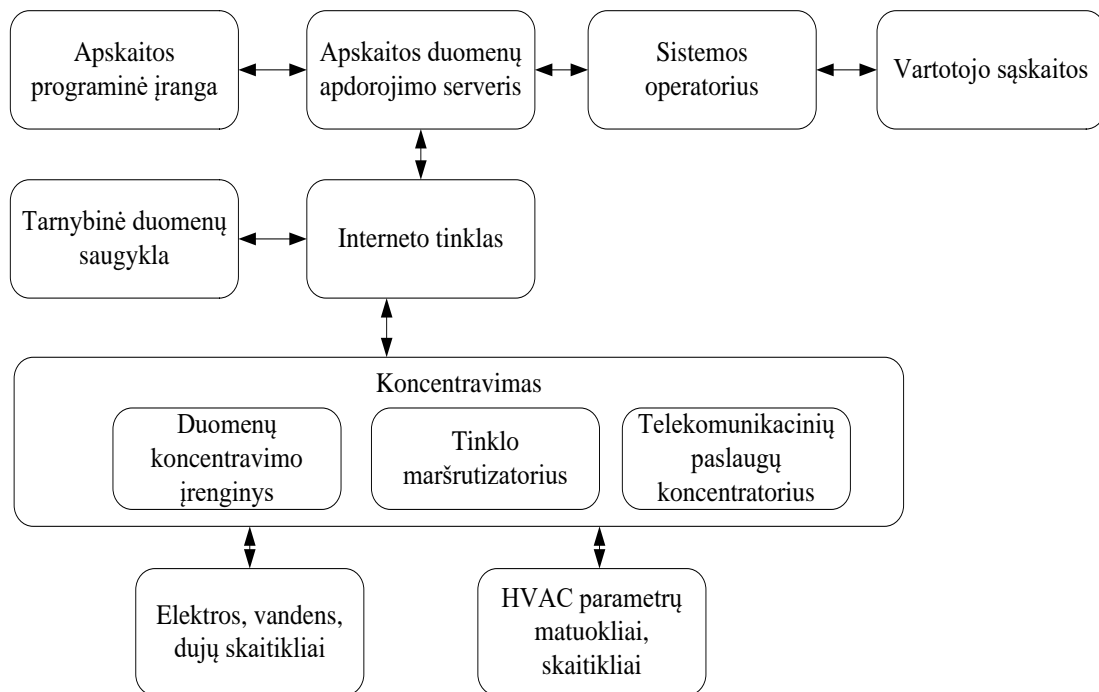
3 pav. Energijos duomenų surinkimo ir analizės sistemos architektūra

Galios matavimo prietaisą (5 pav.) sudaro elektrinių galios parametrų matavimo jutikliai (įtampos, srovės ir kt.), kurie, siekiant sistemą prijungti prie daiktų interneto gali būti naudojami, kaip atskiri tinklo mazgai. Priešingu atveju, galios matavimas yra kompleksinis tinklo mazgas galios matavimams atlikti.

Šiame darbe siūloma architektūra leidžia realizuoti abu komunikacijos variantus (atskiri galios parametrų jutikliai arba kompleksinis galios matuoklis), nors įprastai, rinkoje siūlomos sistemos tokios galimybės neturi (EnergyDetective, 2016; Neur IO, 2017).

Belaidžiai galios matuokliai, skirti išmaniojo būsto kiekvieno elektros taško (elektros lizdo) stebėsenai gali padidinti energijos sutaupymą iki 12%, nes galima išskirti konkretų tašką, kuriame yra elektrinis prietaisas. (John A, ir kt., 2010). Tačiau nenagrinėjamas atvejis, kai sistema yra autonomiška ir reguliuoja žmogaus aplinkoje esančius prietaisus, naudojantis elektros energijos suvartojimo duomenų rezultatais (John A, ir kt., 2010; Bidgely, 2017).

Energijos valdymas gali būti sukoncentruotas apskaityti vartotojo naudojamą elektros energiją, priešingai negu anksčiau aprašyta architektūra (3 pav.) (Fusco ir kt., 2016), Tuomet išryškunami ne tik stebėjimo, bet ir sąskaitų tvarkymo komponentai (4 pav.) (Satec, 2015).



Šaltinis: sudaryta pagal (Satec, 2015)

4 pav. SATEC energijos valdymo sistemos architektūra

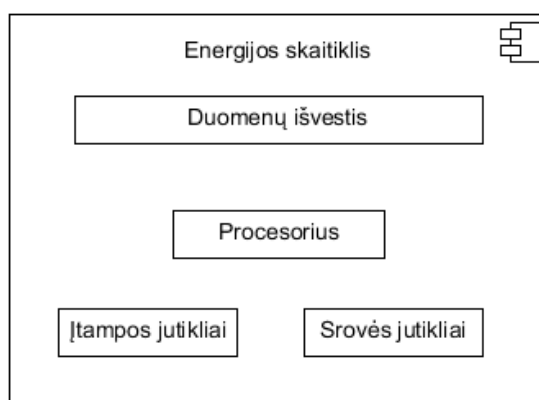
Siūlomas sprendimas apibrėžia jutiklių koncentravimo įrenginį. Kiti išskiriami energijos valdymo sistemos architektūros komponentai susiję tik su

sąskaitų tvarkymu: automatinis vartotojo ataskaitų generavimo modulis, vartotojo apskaitos posistemė, techninio aptarnavimo sistema. Naudojant šią architektūrą (Satec, 2015) galima sutaupyti, remiantis stebimais duomenimis, tačiau autonomiškai energijos netaupo, nes nenumatytas išmanaus būsto prietaisų įvertinimas ir grįžtamasis ryšys su prietaisų reguliavimo duomenimis.

Pateikta SATEC sistemos struktūra (4 pav.), kurioje buvo (Satc, 2015) atlikti tyrimai, skirti įvertinti saulės energijos panaudojimą elektros energijai gauti. Šiame tyrime lyginami tikėtini ir realūs saulės apšviestumo duomenys. Jeigu jie skiriasi, įspėjamas aptarnaujantis personalas. Tačiau elektros energijos suvartojimo prognozė nenaudojama išmanaus būsto energijos prietaisų valdymui.

## 1.6 Energijos suvartojimo galios matavimas

Elektros energijos skaitiklis yra pats paprasčiausias galios fiksavimo prietaisas (5 pav.). Jis turi įtampos ir srovės jutiklius, procesorių, kuris apskaičiuoja galią ir duomenų išvestį į elektroninį arba mechaninį skaitiklį. Jo tikslas yra skaičiuoti galios suvartojimą per tam tikrą laikotarpį.

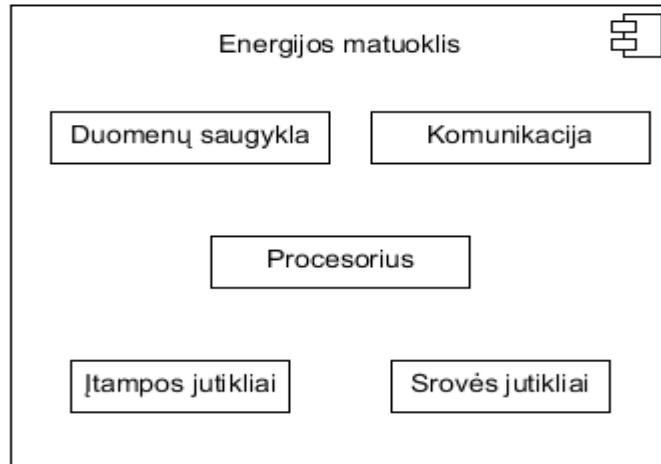


Šaltinis: sudaryta pagal (Elgama Sistemos, 2016)

5 pav. Energijos skaitiklio struktūra

Galios matuoklis nuo elektros energijos skaitiklio skiriasi tuo, kad jame fiksuojamos momentinės įtampos ir srovės arba galios reikšmės (6 pav). Sudėtingesni įrenginio variantai gali analizuoti galios parametrus, pavyzdžiui kreivių harmonikas arba galios koeficientą. Energijos matuoklį sudaro įtampos, srovės jutikliai, procesorius skaičiavimams atlikti bei jutiklių informacijai

apdoroti, duomenų saugykla ir komunikacinės sąsajos su išoriniais įrenginiais. Paprastai, galios matavimo prietaisas yra prijungtas prie kitų įrenginių standartizuotais duomenų perdavimo protokolais, pavyzdžiui ModBus, MeterBus ir kt.



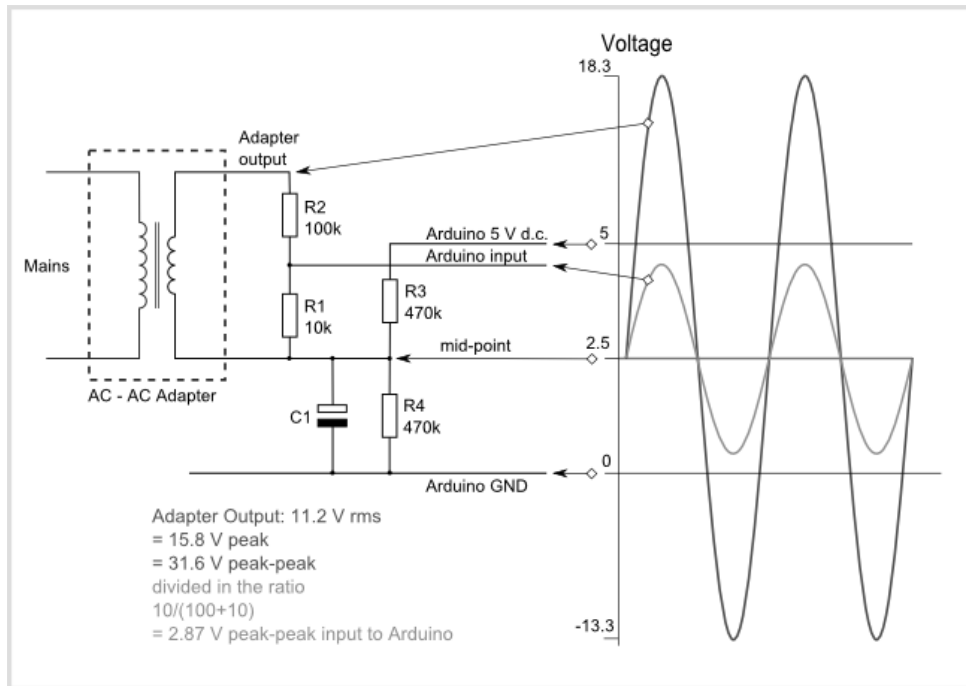
Šaltinis: sudaryta pagal (Elgama Sistemos, 2016)

6 pav. Kompleksinio elektrinės galios matuoklio struktūra

Siekiant išmatuoti galią ir galios parametrus, reikia išmatuoti kiekvienos fazės įtampos ir srovės reikšmes. Skirtingais el. energijos matavimo atvejais, reikia pasirinkti reikiamą matuoklio prijungimo konfigūraciją: 3P4W, 3P3W, 1P2W. Pirmasis skaičius rodo fazių skaičių, antrasis - reikiamų laidų skaičių. Gali būti ir kitokių konfigūracijų (Mitsubishi Electric, 2015).

Srovės ir įtampos transformatoriaus duomenų nuskaitymo mikrovaldikliu schema pavaizduota 3 pav. Priklausomai nuo poreikių, R1 ir R2 rezistoriai gali būti derinami. Kai kuriose sistemose realizuojamas aparatinis sprendimas leidžia automatiškai kalibruoti kreives, panaudojant skaitmeninį energijos sąnaudų matuoklį. Kitais atvejais, prietaisą būtina kalibruoti rankiniu būdu, pasitelkiant matavimų standartus atitinkančius prietaisus. Mikrovaldikliu galima nuskaityti pastovios įtampos tam tikro įtampų diapazono el. signalą (atsižvelgiant į naudojamą valdiklį). Būtina rasti vidurinę tašką, apie kurią svyruoja įtampos ir srovės reikšmės. Įtampai kirtus nulį (angl. Zero Crossing), pradedamas nuoskaitų surinkimas. Nuoskaitos renkamos 20 ms laikotarpi, t.y. vieną sinuso kreivės periodą T.

Kaip prijungiamas srovės ir įtampos transformatorius prie 5v logikos mikrovaldiklio pavaizduota 7 pav. (OpenEnergyMonitor, 2016).



Šaltinis: (OpenEnergyMonitor, 2016).

7 pav. Elektros įtampos matavimo struktūra priderinimui prie 0-5V TTL logikos.

Nuoskaitų kiekis per vieną periodą priklauso nuo pasirinkto analoginio-skaitmeninio keitiklio galimybių. Nuoskaitos galiai apskaičiuoti renkamos keletą periodų. Atlikus matematinius skaičiavimus, surenkami galios matavimai, iš kurių gaunama el. energijos sąnaudų kreivė.

## 1 skyriaus išvados

1) Apžvelgus egzistuojančias technologijas ir kitų autorių siūlomus sprendimus išmaniojo būsto energijos išteklių valdymui, buvo susisteminta ir apibrėžta, kokios pagrindinės sistemos komponentės reikalingos sprendžiant energijos suvartojimo valdymo klausimus. Šildymo-vėdinimo ir apšvietimo sistemos yra dažnai pasirenkamos sąnaudoms nagrinėti, išmaniojo būsto arba namo paslaugoms teikti. Namų energijos valdymo sistema vartotojo atžvilgiu gali būti reikalinga priimant sprendimus, kaip valdyti esamą sistemą realiu metu, pasinaudojant vartojimo pavyzdžiais iš kaimyninių sistemų.

2) Kuriant namų automatizacijos paslaugų sistemas, nuotolinė prieiga, duomenų analizė ir reagavimas į aplinkos įvykius yra užtikrinami panaudojant daiktų interneto technologines galimybes. Daiktų interneto tinklo paskirtis - sukurti ryšį tarp išmaniųjų prietaisų ir globalaus interneto tinklo. Siekiant prijungti sistemos prietaisus prie daiktų interneto, reikia realizuoti mažo našumo įrenginiams tinkamą standartizuotą duomenų perdavimo protokolą komunikaciją (pvz., MQTT).

3) Skyriuje apibrėžti esminiai skirtumai tarp elektros energijos sąnaudų skaitiklių ir matuoklių. Energijos skaitiklis yra paprasčiausias energijos suvartojimo sekimo prietaisas, o energijos matuoklis matuoja fizinius galios parametrus. Pabrėžtina, kad išmaniojoje sistemoje abu šie prietaisai gali turėti ir kitų funkcijų, pavyzdžiui duomenų kaupimą arba komunikaciją su kitais sistemos įrenginiais.

4) Siekiant stebėti įrenginio elektros išteklių sąnaudas, reikia rinkti galios komponentes realiu metu: skaičiavimams reikalingas momentinės įtampos, srovės reikšmės ir nulio kirtimo taško įvertinimas. Kartu su šiais parametrais turi būti skaičiuojamas ir galios koeficientas (angl. *power factor*).

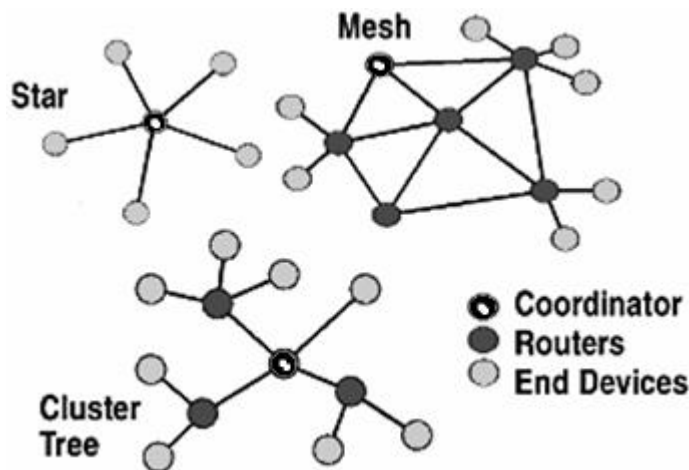
## **2 JUTIKLIŲ BELAIDŽIO TINKLO TAIKYMO SLUOKSNIO IŠVYSTYMAS IR DUOMENŲ PERDAVIMO METODAI IŠMANIOJO BŪSTO VALDYMO SISTEMOJE**

Įgyvendinant jutiklių belaidžio tinklo komunikaciją tenka nagrinėti standartizuotus komunikacijos protokolus ir praplėsti tinklo duomenų perdavimo sluoksnio funkcionalumą, sukuriant jutikliams komunikuoti skirtą belaidžio tinklo taikymo sluoksnį. Skyriuje tikslu pasirinktas ir suprojektuotas tinkamas įterptinių sistemų komunikavimui reikalingas tinklo taikymo sluoksnis, nagrinėjamos būsto valdymo komunikacinės priemonės (tinklo infrastruktūra, protokolai, sluoksniai). Naudojant šį sukurtą tinklo taikymo sluoksnį buvo naudojami realaus laiko įrenginių konfigūravimo metodai ir priemonės. Pasinaudojus išmanaus būsto infrastruktūra (esančia KU laboratorijoje), buvo sukurtas jutiklių tinklas, leidžiantis fiksuoti jutiklių parametrus. Tinklo topologijos, gali būti pritaikytos mažų energijos sąnaudų įterptinių sistemų tinkluose, nes yra aprašyti standartais, kurie yra pritaikyti mažo galingumo įterptinėms sistemoms.

### **2.1 Laidinės ir belaidės komunikacijos tinklai įterptinių sistemų darbo užtikrinimui**

Priklausomai nuo užduoties, galima rinktis laidinę arba belaidę komunikaciją (Alberolal ir kt., 2008; Brunelli ir kt., 2008; Gakkestad ir kt., 2011). Komunikacinis įrenginys turi turėti sąsają, skirtą konkrečiam komunikacijos tipui. Mikrovaldikliai, priklausomai nuo modelio, turi galimybę būti susieti su įvairiais komunikaciniais įrenginiais. Jų susiejimas perduodant duomenis ir tarnybinę informaciją yra pagrindinis komunikacijos spartos ribojimas. Kuriant komunikacinį įrenginį atsižvelgiama į tai, kaip greitai gali būti perduodami duomenys šia sąsaja, tik po to įvertinama, kokia sąsaja bus naudojama tarp valdiklio ir komunikacinio įrenginio. Jei neatsižvelgiama į sąsają tarp valdiklio ir komunikacinio įrenginio, tinklo topologija gali būti įprasta kompiuteriniam tinklui (7 pav.), pvz. žvaigždė arba magistralė (National Instruments, 2010; Soparia J., 2014). Tačiau dėl įterptinių sistemų dinamiškumo

ir mobilumo, tikslinga realizuoti tinklelio topologijos tipo sudėtinę struktūrą (Amir ir kt., 2007; Yazdanpanah ir kt., 2011). Tinklelio tipo topologijoje yra naudojami 3 rūšių įrenginiai: koordinatorius, maršrutizatorius ir terminalinis įrenginys. Koordinatorius atsakingas už tinklo kontrolę. Jis tinkle gali būti tik vienas ir gali susisiekti su bet kuriuo tinklo įrenginiu.



Šaltinis: (Kanda, 2016)

8 pav. Tinklo topologijų pavyzdžiai

Maršrutizuojantis įrenginys – tai skaitmeninis kartotuvus, skirtas perduoti duomenis tarp koordinatoriaus ir terminalinių įrenginių. Jis taip pat gali perduoti duomenis kitiems kartotuvams. Jo paskirtis pagerinti tinklo kokybinius parametrus, pavyzdžiui padidinti greitaveiką arba pagerinti tinklo įrenginių pasiekiamumą.

Terminalinis įrenginys yra galutinis paskirties susisiekimo taškas. Jis gali būti skirtas gauti duomenis iš aplinkos arba aktyvuoti vykdančią įrenginį, pavyzdžiui rėlę.

Darbe kuriamoje el. energijos išteklių valdymo sistemoje, įterptinio tinklo dalyje yra panaudotas mobilios kintančios tinklo topologijos principas, leidžiantis prisijungti prie terminalinių taškų naudojantis koordinuojančiuoju valdikliu, tačiau neribojama kiek šių valdiklių gali būti tinkle (17 pav., 19 pav.).

## 2.2 Taikomų duomenų perdavimo tinklų topologijos ir protokolai

Namų automatizacijos el. paslaugų sistemos įterptinėms sistemoms būdingos šios komunikacinės savybės:



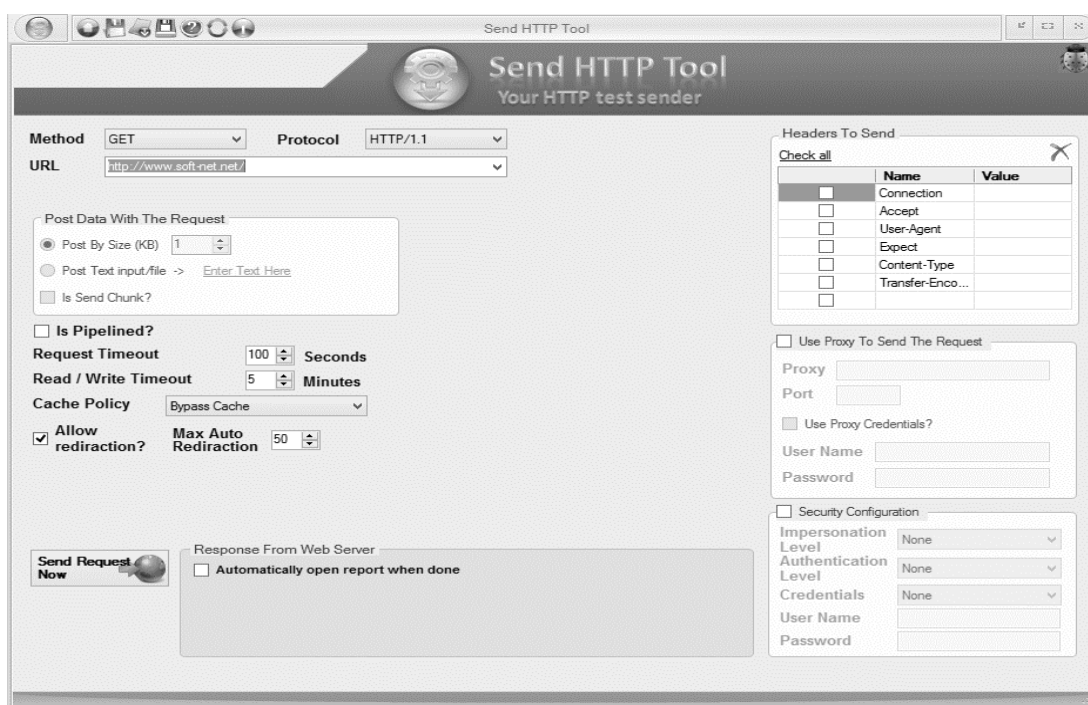
- Sąsaja su vartotojo išmaniuoju įrenginiu (telefonu, planšete ir kt.) arba web prieiga;
- Valdymas su sistemos nuotoliniu valdymo pultu vartotojo taisyklėms apibrėžti;
- Komunikacija įprastais laidiniais ryšio protokolais;
- Sąsaja su debesies technologijomis;
- Įterptinė paslaugų serverio (angl. *web service*) realizacija;
- Dinaminis adresų priskyrimas arba prietaiso prijungimas.

M2M (angl. *Machine-to-Machine*) – tai telemetrinės komunikacijos būdas, naudojamas įterptinėse sistemose, kai reikia duomenų perdavimo tarp atskirų įrengimų. Tokia komunikacija gali būti realizuota naudojantis standartizuotais duomenų perdavimo protokolais, pavyzdžiui CoAP (angl. *Constrained Application Protocol*) arba MQTT. RFC 7252 specifikacijoje aprašytas CoAP riboto taikymo protokolas yra sukurtas naudoti M2M srityje, pavyzdžiui atliekant galios matavimus (angl. *smart energy measurement*) arba automatizuojant pastatus (angl. *building automation*).

MQTT – tai M2M tipo komunikacijos protokolas, naudojamas daiktų interneto prietaisams sujungti. Jo charakteristikos yra pritaikytos ypatingai mažo našumo įterptinėms sistemoms ir tinklo resursų sąnaudoms mažinti naudojantis paskelbk-prisijunk (angl. *publish-subscribe*) principu (Baldoni R., 2009; Fatafta I., 2012; Li J., ir kt., 2010). Mikrovaldiklis, komunikacijai naudojantis MQTT protokola, gali turėti ribotus atminties resursus. MQTT yra tinkamas naudoti mobilioms užduotims, kurti įterptinėms sistemoms dėl mažų energijos sąnaudų komunikuojant tinkle su daugybe įrenginių, nes kiekvienas įrenginys, prisijungęs prie komunikacijos kanalo (angl. *channel*) gauna prieigą prie transliuojamų duomenų.

M2M ryšio technologijos sudarytos taip, kad panaudojant komunikacines sąsajas ir sudarant fizinį ryšį su įrenginiais galima būtų panaudoti protokola, kuris nurodo tik aukštesnius OSI lygmens sluoksnius (pvz. taikymo sluoksnį). Pažymėtina, kad komunikacinė technologija Ethernet TCP/IP sudaro galimybes naudoti MQTT protokola.

El. paslaugų komunikacijos realizacija naudojantis Ethernet technologija turi privalumą prieš kitas komunikacijas tuo, kad kiekvienoje aplinkoje su Wi-Fi arba laidinio Ethernet tinklo prieiga, visa komunikacija yra jau paruošta arba įdiegiama be specializuotos paskirties (namų automatizavimo maršrutizavimo) priemonių (Vasseur ir kt., 2010; Walaszczyk ir kt., 2013; Zou ir kt., 2011). Reikia tik suderinti įterptinę el. paslaugų sistemą ir prijungti prie esamos tinklo infrastruktūros (dažniausiai įterptinės sistemos palaiko DHCP dinaminį IP adresų priskyrimą). Ethernet technologiją naudojantys daiktų interneto prietaisai, kurie turi tinklo programinę sąsają (angl. *Web API*) gali būti valdomi be papildomų priemonių kūrimo per komandinį langą HTTP protokolo komandomis, naudojant įrankį, kuris yra pritaikytas parodyti atsakymus į siunčiamas komandas (9 pav. HTTP užklausų siuntimo įrankis).



Šaltinis: (SoftNet, 2016).

9 pav. HTTP užklausų siuntimo įrankis, neautomatizuotoms komandoms siūsti

Bet kokia komandų persiuntimo ir priėmimo komunikacija mikrovaldiklyje realizuojama pagal šį pseudo-kodą:

Patikrinama ar yra gautų duomenų:

```
IF (data.available())
{
```

```
data.Read(); // nuskaityti gauti duomenys
data.SendAck(); // validuojami ir užfiksuojami priimami duomenys
}
```

Terminalinis serveris mikrovaldiklyje gali būti realizuotas keliomis technologijomis vienu metu, pavyzdžiui nuoseklios sąsajos ir Telnet serveryje per IP:23 uostą (angl. *port*). Nuosekli sąsaja gali būti įprasta TTL 8 bitų duomenų perdavimo linija su duomenų patikrinimo (angl. *parity check*) bitu. Telnet taikymo lygio protokolu perduodami 8 bitų duomenys interneto arba lokaliame tinkle, siekiant užtikrinti dvikryptę komunikaciją tarp prietaisų. Duomenų perdavimo ryšys užtikrinamas ir realizuojamas naudojant perdavimo valdymo protokolą (angl. *Transmission control protocol* arba *TCP*). Telnet veikimas remiasi paslaugų principu: serveris klausosi prisijungiančių iš aplinkos klientų.

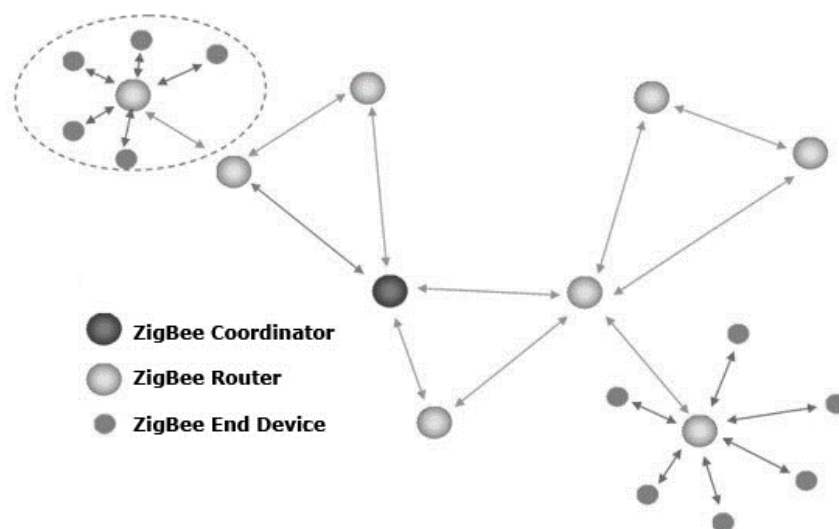
Kiekviename duomenų perdavimo tinkle yra siųstuvas ir imtuvas, kurių komunikacinės galimybės gali būti vienodos, tačiau skiriasi tik duomenų apdorojimo principas. Duomenis siunčiantis įrenginys pagal poreikį gali apdoroti esamus duomenis, dar nepersiuntus jų per tinklą, t.y. gali būti atliekamas pirminis duomenų apdorojimas. Šio veiksmo esmė - neapkrauti tinklo nereikalinga pertekline informacija, kuri gali atsirasti dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui per aukšto duomenų surinkimo dažnio, todėl komunikacijos būdas negali persiųsti viso apdorotino kiekio. Tokiu atveju gali būti realizuojamas algoritmas, skirtas įvertinti, koks duomenų surinkimo dažnis yra pakankamas sistemai išgauti reikiamą informaciją bei sutaupyti tinklo ir skaičiavimo resursų renkant ir perduodant duomenis.

Siųstuvas turi atlikti duomenų paketo sudarymo funkciją. Priklausomai nuo pasirinktos tinklo topologijos ir komunikacijos būdų, gali būti naudojami keli įrenginio adresų tipai vienu metu. Taigi, pavyzdžiui, NRF24 ryšio modulių komunikacijos ir Ethernet IP komunikacijos adresai bus skirtingi. Dėl šios priežasties siųstuvas turi atlikti paketo sudarymą, remiantis iš anksto apibrėžtais principais kiekvienam skirtingo tipo duomenų paketui.

Imtuvas turi priimti visą siunčiamą informaciją ir pirmu apdorojimo žingsniu atmesti arba priimti duomenis, jeigu apdorojimo algoritme apibrėžta,

kaip juos apdoroti arba persiųsti tolimesniems įrenginiams tinkle. Imtuvas šiuo atveju gali būti maršrutizavimo arba terminalinis įrenginys. Koordinuojantys įrenginiai gali tarpinio duomenų maršrutizavimo neatlikti dėl tinklo resursų taupymo.

Išmaniosios el. paslaugų aplinkos sistemoje sutinkama įvairių tipų belaidės komunikacijos įterptinių įrengimų. Dažniausiai, jų pasirinkimas priklauso nuo to, ar galutinis vartotojas turi valdyti reikiamus įrenginius išmaniuoju telefonu, kompiuteriu ar specialiomis įterptinėmis sistemomis. Populiariausi išmaniųjų telefonų gamintojai įdiegia Wi-Fi ir Bluetooth technologijas. Šios technologijos taip pat populiarios ir išmaniųjų el. paslaugų prietaisų segmente. Skirtingos technologijos, panaudotos komunikacijoms, sukelia poreikį kurti sudėtingus maršrutizavimo įrenginius, galinčius perduoti duomenis tarp kelių rūšių duomenų perdavimo protokolų. Šiuolaikiniai el. paslaugų sprendimai gali būti susieti vienu komunikaciniu standartu, tačiau praktiškai, sistemoje visada yra galimybė atsirasti dar vienam įrenginiui, kurio komunikacijos principai skiriasi, tačiau jį būtina įterpti į esamą sistemą. Pavyzdžiui, el. paslaugų valdymo įrenginiai gali būti susieti Wi-Fi technologija, tačiau tam tikrų charakteristikų galios matuoklis gali naudoti Wireless Meter-Bus komunikacijos standartą.



Šaltinis: (John, 2016).

10 pav. ZigBee tinklelio topologijos tinklas

Rinkoje ir moksliniuose darbuose sutinkamos technologijos, skirtos būsto bei pastato automatizacijai (Siemens, 2016):

- ZigBee technologija naudojanti tinklelio tipo (optimaliam srautui užtikrinti) arba sudėtinę tinklo topologiją (10 pav) (Farahani S., 2008; John, 2016). Belaidis tinklo standartas, skirtas mažo našumo įterptinėms sistemoms, veikia pagal IEEE 802.15.4 standartą (Chen ir kt., 2012)
- Z-Wave – alternatyva ZigBee technologijai, trumpo atstumo (angl. *short range*), nedidelio greičio duomenų perdavimo technologija.
- Wi-Fi – belaidis tinklas, kurio įterptinėms sistemoms pritaikyta realizacija tinka integruoti į daiktų internetą (Davoli ir kt., 2016).
- Bluetooth – 6LoWPAN standartizuota technologija, pritaikyta mažų energijos sąnaudų įrenginiams (angl. *Bluetooth Low Energy* arba *BLE*) (Raza ir kt., 2016).
- Knx – įvairiose namų automatizacijos srityse naudojamas standartas, įskaitant energijos valdymo sistemas, šildymo-vėdinimo, apšvietimo paslaugų sistemas (Sita ir kt., 2013).
- X-10 - buitinių prietaisų valdymo laidiniu būdu technologija.
- BACnet - protokolas pastatų automatizacijai ir valdymui tinklu.
- Konnex - namų automatizacijos ir pastato valdymo standartas.
- LonWorks - komunikacijos tinklas ir realizacija procesoriuje.
- Jini - adaptyvus plečiamas (angl. *scalable*) tinklas, dinamiškai galintis plėstis ir vystytis.

Išmanusis jutiklis - tai elektronikos posistemės su duomenų surinkimo, kalibravimo, savitikros, sprendimų priėmimo (angl. *decision making*), komunikacijos galimybėmis.

Belaidžiai jutiklių tinklai (angl. *wireless sensor networks* arba *WSN*) yra paskirstyti tinklai su ribotomis duomenų surinkimo galimybėmis ir yra pritaikomi konkrečiai paslaugai, pavyzdžiui namų automatizacijai arba elektros energijos išteklių stebėsenai (Chen ir kt., 2008; Huang ir kt., 2007; Jankovic ir

kt., 2003; Niyato ir kt., 2007). Tokio tinklo ribojimai yra susiję su objektų ir įterptinių sistemų judėjimu (mobilumu) aplinkoje. Jutiklių tinklą galima išplėsti naudojant standartizuotus duomenų perdavimo protokolus. Kiekvienas jutiklis jutiklių tinkle veikia autonomiškai ir yra skirtas aplinkos parametrų duomenims surinkti ir apsikeisti tarnybine informacija tarp sistemos komponentų.

Šiame darbe nagrinėjant el. paslaugų sistemas išteklių valdymui daroma prielaida, kad duomenų perdavimo tinklas visada yra sudėtinis, todėl architektūroje yra numatoma duomenų transliacija tarp skirtingų komunikacijos standartų. Nagrinėjant el. paslaugų sistemą eksperimentams, visos naudojamos komunikacijos turi būti viešai prieinamos (angl. *free use for all*) arba prieinamos naudojant licenziją (angl. *open to all licensed*). Viešai uždaros komunikacijos negali būti panaudotos nagrinėjant duomenų persiuntimą, nes jos yra apsaugotos dėl tinklo duomenų perdavimo saugumo išlaikymo arba įmonės praktinės patirties (angl. *know-how*) išsaugojimo. 2.3 skyrelyje kuriamas tinklo taikymo sluoksnis remiasi tinklelio topologijos veikimo principu, tačiau įgalinama realaus laiko įrenginių konfigūravimo galimybė kintančiame ir mobiliajame tinkle.

### **2.3 Energijos resursų stebėsenos sistemos duomenų tinklo taikymo sluoksnis**

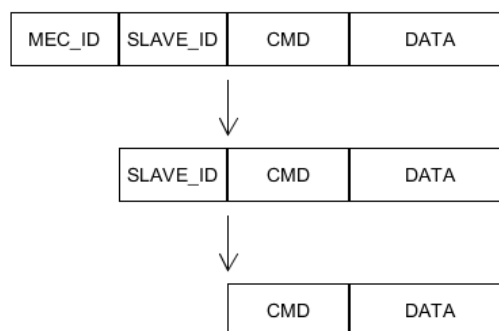
Aplinkos būsenos kintamųjų nuoskaitos gali sudaryti tiek vienmatį, tiek daugiamatį masyvą. Siekiant sukaupti istorinius duomenis, duomenų bazę reikia pritaikyti daugelio jutiklių duomenų surinkimui. Jeigu duomenys daugiamačiai, šioje duomenų bazėje duomenys fiziškai surenkami kaip atskirų jutiklių duomenys. Sistemos reliacinės duomenų bazės struktūra be prognozės duomenų pavaizduota 11-ame paveiksle.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

11 pav. Elektros energijos skaitiklių duomenų bazės struktūra jutiklių duomenims rinkti

Persiunčiant duomenis tarp valdančiojo įrenginio ir vykdančiųjų įrenginių, apsieikiama tarnybine bei taikymo informacija. Duomenys turi būti perduodami užtikrinant komandų interpretavimo galimybę, todėl bet kuriuose duomenyse yra taikymo sluoksnio duomenys, sudaryti iš komandos ir parametrizuotų duomenų (12 pav.).

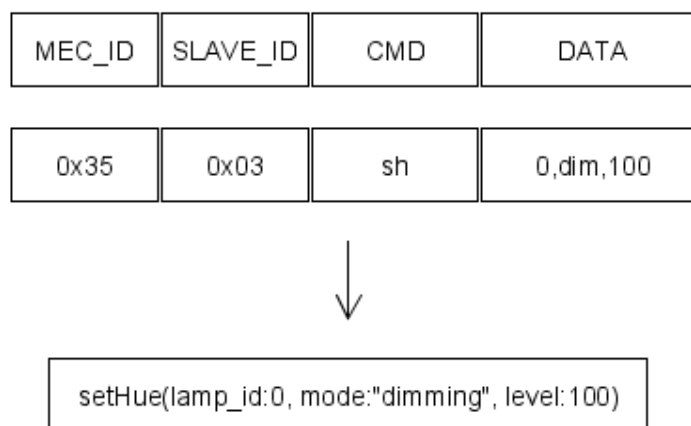


Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis standartizuotų protokolų rekomendacijomis (Heile B. ir kt., 2015)

12 pav. Valdančiojo įrenginio komandos struktūra prijungtiems įrenginiams (jutikliams, valdikliams) valdyti

Nuotolinis valdiklis duomenis siunčia tinklu, kuriame yra loginėmis kategorijomis išskaidyta tinklo struktūra, todėl ne visada egzistuoja tiesioginis ryšys su adresatu, todėl reikalingas papildomas identifikatorius loginei kategorijai apibrėžti. Tokiu būdu nesikreipiama į kiekvieną įrenginį tiesiogiai ir už duomenų vientisumą atsakingas tarpininkaujantis maršrutizavimo įrenginys.

Taikymo sluoksnyje apibrėžiamos komandos su parametrais gali būti aprašomos santrumpomis, pavyzdžiui komandai šviestuvo parametrus nustatyti naudojama komanda SetHue trumpinama sh, parametrai id: 0, veiksmas: pritemdyti, pritemdymo lygis: 100 atitinkamas trumpinamas į (0, dim, 100) (11 pav.). Vėliau komandą interpretuojantis įrenginys turi pagal komandos savybes identifikuoti ir po komandos validavimo ją išsiųsti į užduočių vykdymo eilę.

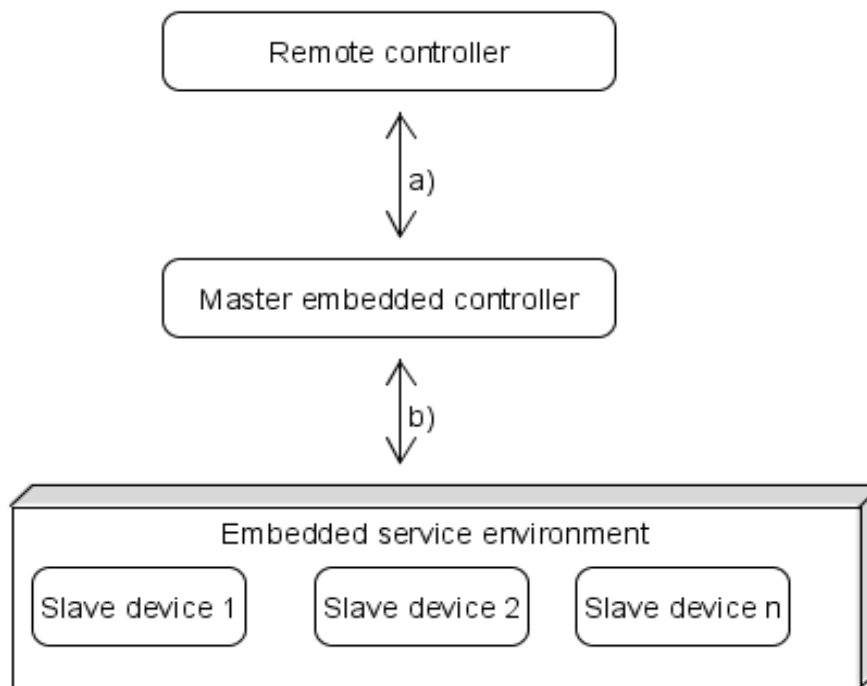


Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis standartizuotų protokolų rekomendacijomis (Heile B. ir kt., 2015)

13 pav. Komandos interpretavimas įrenginyje

Siūlomoje architektūroje galimas ne tik nuotolinis valdantysis įrenginys. Esant didelei struktūrai gali prireikti specializuoto valdiklio, komunikuojančio specifinėmis komunikacijomis, būdingomis tik tai konkrečiai paslaugų sistemai. Šį įrenginį galima vadinti pagrindiniu įterptiniu valdikliu (angl. *master embedded controller*). Kai šis prietaisas naudojamas dėl didelės struktūros suvaldymo, jo pagrindinis darbas yra tam tikros sistemos dalies įrenginių komunikacinis sugrupavimas (13 pav.).

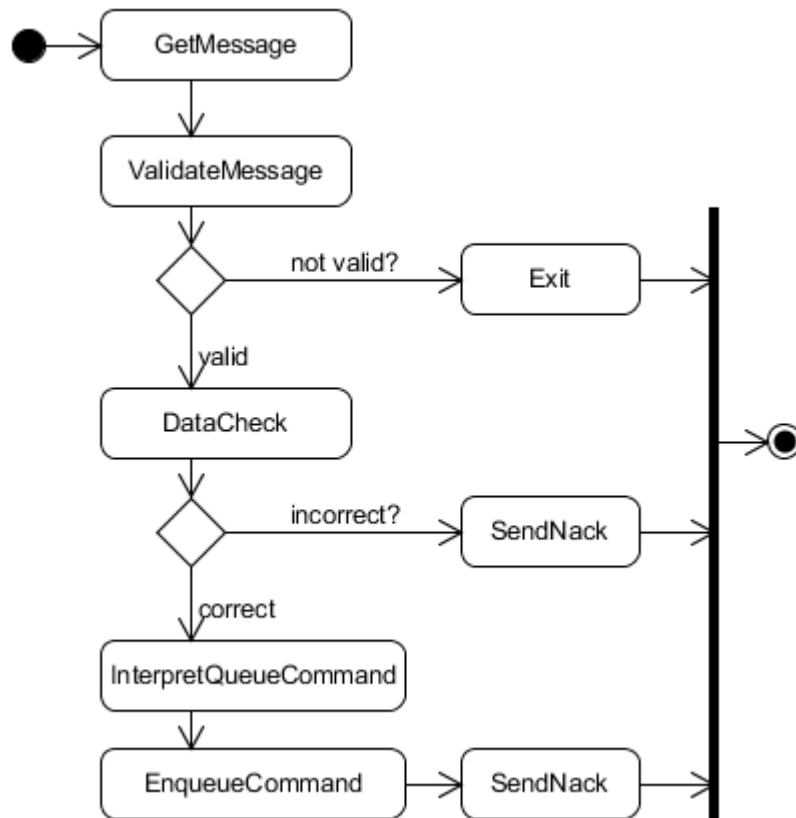




Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal kuriamo tinklo taikymo sluoksnio savybes

14 pav. Įterptinės sistemos tinklo struktūra

Kai valdomas įrenginys gauna pranešimą (angl. *message*), būtina validuoti viso pranešimo informaciją: patikrinti komandos egzistavimą, galimus parametrus ir jų reikšmių intervalus (žingsnis *ValidateMessage*). Siunčiantis komandą įrenginys privalo persiųsti komandą, jeigu negauna teigiamo atsakymo apie žinutės persiuntimą į interpretavimo paprogramę. Po komandos validavimo seka duomenų kokybės patikrinimas, pavyzdžiui naudojant CRC mechanizmą. Jeigu validavimas nesėkmingas, valdančiam įrenginiui turi būti persiųstas *Nack* (angl. *not acknowledged*). Visais kitais atvejais įrenginys, gavęs validuotą ir patikrintą pranešimą, turi siųsti komandą į vykdymo eilę bei išsiųsti atsakymą *Ack* (angl. *acknowledged*). Visas žinutės priėmimo algoritmas pavaizduotas (15 pav.).



Šaltinis: sudaryta autoriaus paagal (Quadralay, 2016)

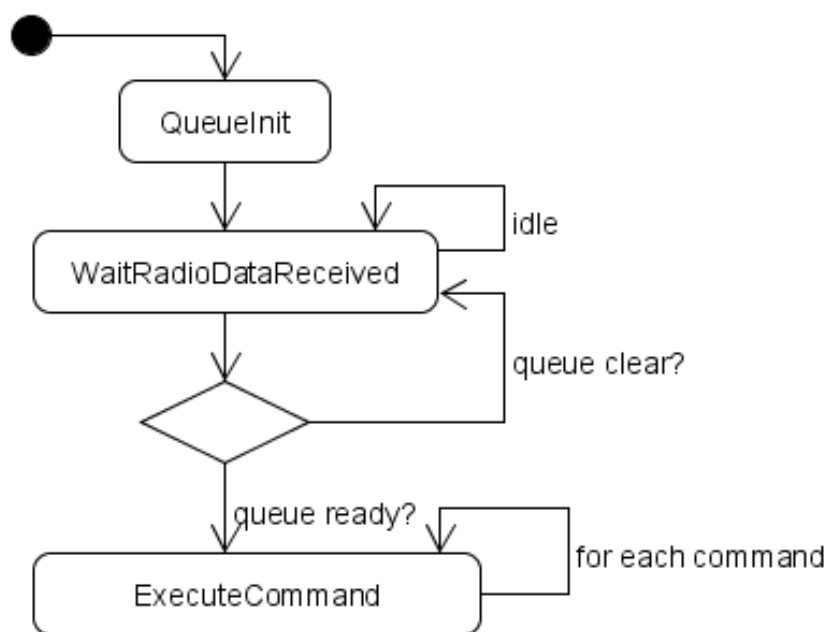
15 pav. Įterptinės sistemos komandos priėmimo algoritmas

Kiekvienas žinutes gaunantis įrenginys tinkle gali laukti pranešimų naudojantis schema, pavaizduota 16-ajame paveiksle. Principo esmė: laukti žinučių kol yra ryšys ir įrenginys veikia priėmimo režime. Komandų eilutė turi tris būsenas: tuščia, pildoma ir paruošta. Kai eilutė paruošta, vykdomos jos komandos eilės tvarka ir jeigu paskutinė komanda nėra komandų eilutės išvalymas, tai vykdomas uždaras ciklas, kol yra tenkinančios vykdymą galimybės.

Siekiant sukurti tinklą, kuriame įrenginiai gali veikti autonomiškai, šiame darbe siūloma įterptinių paslaugų tinklą sudaryti trimis žingsniais, įrenginių veikimo metu (angl. *runtime*):

- 1) Valdančiojo įrenginio išrinkimas;
- 2) Komandų persiuntimas visiems mazgams, tinklo mazgų paieška;
- 3) Valdymas ir konfigūracija, duomenų kaupimas.

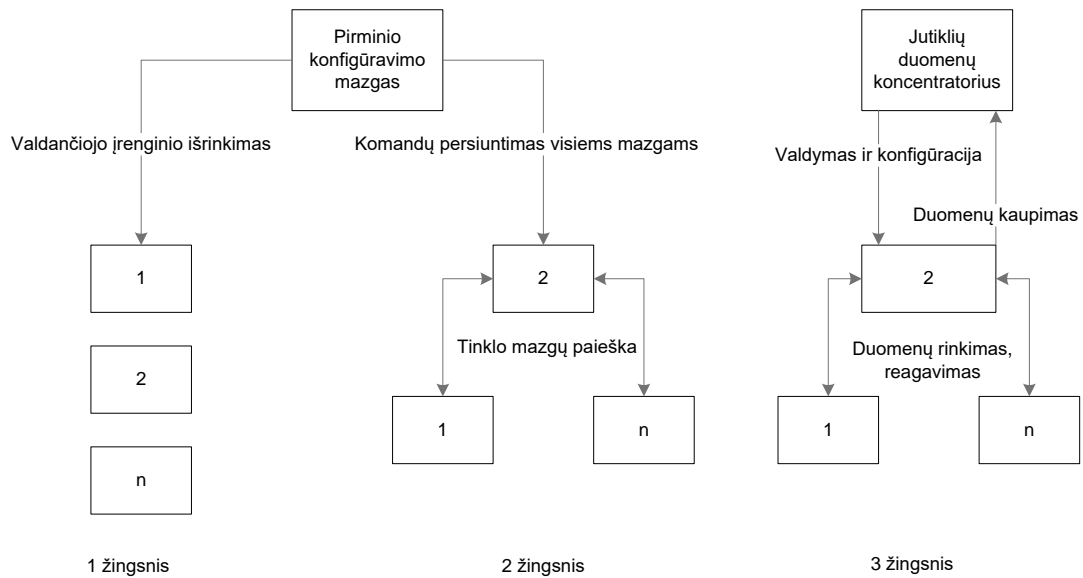
Prieš tinklo sudarymą, galima išskirti šias įrenginių grupes: išmanieji jutikliai ir valdikliai, pirminis konfigūravimo mazgas ir jutiklių duomenų koncentratorius. Pirminis konfigūravimo mazgas gali būti bet koks prietaisas, galintis susisiekti su išmaniaisiais jutikliais ir valdikliais, pavyzdžiui kompiuteris su terminalo galimybe valdant operatoriui. Šio konfigūravimo mazgo tikslas sudaryti duomenų apsikeitimo tinklą realiu laiku.



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal (Quadralay, 2016)

16 pav. Įterptinės sistemos komandų vykdymas

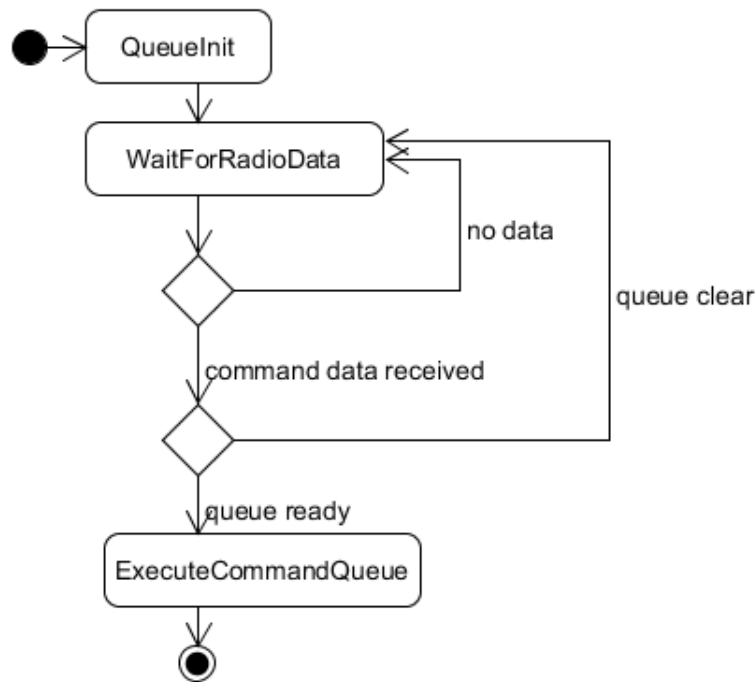
Įterptinių sistemų apjungimo į autonomišką tinklą apjungimas pavaizduotas 17 pav. 1-ajame žingsnyje išrenkamas valdantysis įrenginys, skirtas likusiųjų valdomųjų įrenginių valdymui. Gali būti išrenkami keli valdantieji įrenginiai, jeigu valdomieji prietaisai gali sudaryti loginę arba fizinę aparatų grupę. 2-ajame žingsnyje iš pirminio konfigūravimo mazgo per valdantįjį įrenginį siunčiamos komandų eilės kiekvienam iš tinklo mazgų (įskaitant ir patį valdantįjį įrenginį). Kai komandų eilė patvirtinama, ji vykdoma autonomiškai ir pirminis konfigūravimo mazgas tinkle nebedalyvauja – kiekvienas iš įrenginių vykdo realiuoju metu paskirtas komandas.



Šaltinis: sudaryta autoriaus. pagal darbe siūlomą tinklo taikymo sluoksnį

17 pav. Įterptinių įrenginių apjungimo struktūra į autonomiškai veikiančią belaidį tinklą

Komandų eilėje turi būti sudaroma galimybė prietaisui pasiekti jutiklių duomenų koncentratorių, kad būtų galima keistis duomenimis naudojantis daiktų interneto galimybėmis. 18-ame paveiksle pavaizduotas tinklo tarp įrenginių sudarymo principas, kuri naudojanti paslaugų sistema 3-ajame žingsnyje tampa autonomiška iki tinklo įrenginių perkonfigūravimo.

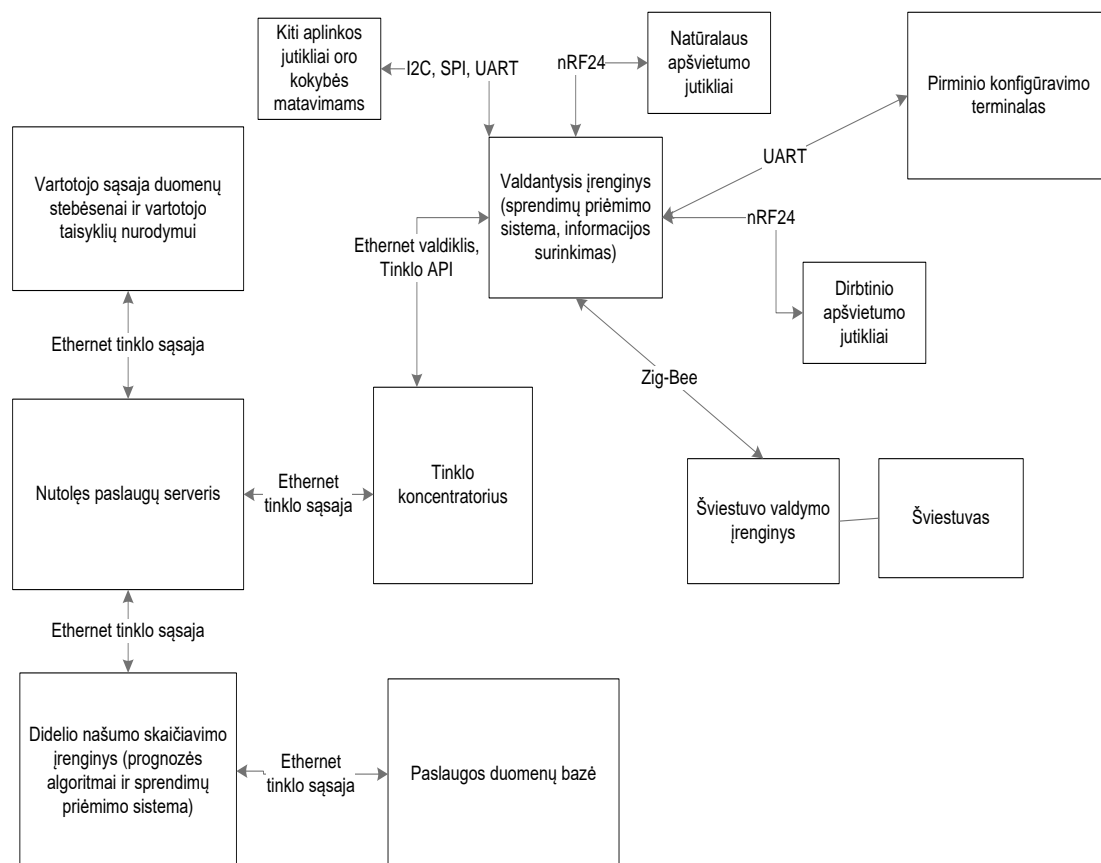


Šaltinis: sukurta autoriaus.

18 pav. Įterptinės sistemos komandų vykdymas

Tinklo perkonfigūravimas reikalingas siekiant pakeisti jutiklių ir valdiklių paskirtį (t.y. persiųsti naują komandų eilę), pavyzdžiui, pridėdant naujų funkcijų apdorojant duomenis. Tačiau komandų valdymas sistemai veikiant autonomiškai taip pat gali būti perkonfigūruojamas po pirminio konfigūravimo. Tai gali būti atliekama, kai sistema turi reaguoti į pasikeitusias aplinkos sąlygas. Komandų parametrai šiuo atveju bus persiunčiami iš valdymo analizės modulio, kurio tikslas apdoroti grįžtamąjį ryšį, gavus atsaką iš nagrinėjamos aplinkos.

Šiame darbe kuriamame ir eksperimentams naudojamame elektros energijos išteklių valdymo sistemos prototipe aplinkos šviestuvams valdyti realizuotas Zig-Bee tinklelio topologijos tinklas, Ethernet TCP/IP tinklas prietaisų į bendrą paslaugą sujungimui, jutiklių tinklams naudojamos technologijos apima pagrindines komunikacines sąsajas, būdingas mikrovaldiklių periferijai valdyti: UART, SPI, I2C ir kitos (19 pav.).



Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal darbe siūlomą architektūrą.

19 pav. Energijos išteklių valdymo ir monitoringo prototipo sistema

## 2 skyriaus išvados

1) Atsižvelgiant į duomenų persiuntimo tinklo topologijos ir ryšio technologijas, įterptinėse sistemose turi būti pasirinktos sąsajos komunikacijai įgyvendinti. Išmaniajame būste galimos tiek laidinės, tiek ir belaidės komunikacijos, kurios vėliau apjungiamos koncentravimo įrenginiu ir per tinklą sąsają (angl. *gateway*) prijungiamos prie daiktų interneto. Namų automatizacijoje, mobiliajame įrenginių tinkle, plačiai naudojama tinklelio (angl. *mesh*) topologija. Jos principas leidžia labiau (ne tiesioginio ryšio zonos atstumu) nutolusiems prietaisams (tinklo mazgams) komunikuoti su koordinatoriumi. Pagal Zig-Bee tinklelio specifikaciją, galimas tik vienas koordinatorius (Kinney, 2010).

2) Nustatyta, kad siekiant užtikrinti energijos sistemos duomenų perdavimą tarp įrenginių (angl. *Machine-to-Machine*), reikia sukurti tinklo taikymo sluoksnį. Dėl sudėtinės tinklo struktūros paslaugai teikti, sukurtas sluoksnis aprašo duomenų ir adreso persiuntimą pakete. Energijos suvartojimo duomenų kiekis gali būti didelis, atsižvelgiant į aplinkos stebėjimo paskirtį, todėl būtina sudaryti sąlygas, kad klaidingos žinutės būtų atmestos iš karto, ir siunčiančiojo įrenginio duomenų persiuntimo posistemėje turėtų būti numatyta galimybė persiųsti duomenis, jeigu negaunamas jų patvirtinimas. Duomenys kaupiami išmaniajame jutiklyje, kol neatsiranda galimybė išsiųsti duomenis korektiškai (validuotus ir patikrintus).

3) Šiame skyriuje nagrinėjamas taikymo sluoksnis leidžia neapibrėžiant įrenginio paskirties, sukurti aparatinį sprendimą ir įdiegti prietaisą su jutikliais bei valdikliais į išmaniają aplinką (17 pav). Tiek siunčiantys, tiek ir gaunantys informaciją prietaisai, konfigūruojami įrenginio veikimo metu (angl. *runtime*).

### **3 AUTONOMINĖS ENERGIJOS VALDYMO POSISTEMĖS PROJEKTAVIMAS IR INTEGRAVIMAS IŠMANAUS BŪSTO VALDYMO PASLAUGŲ SISTEMOJE**

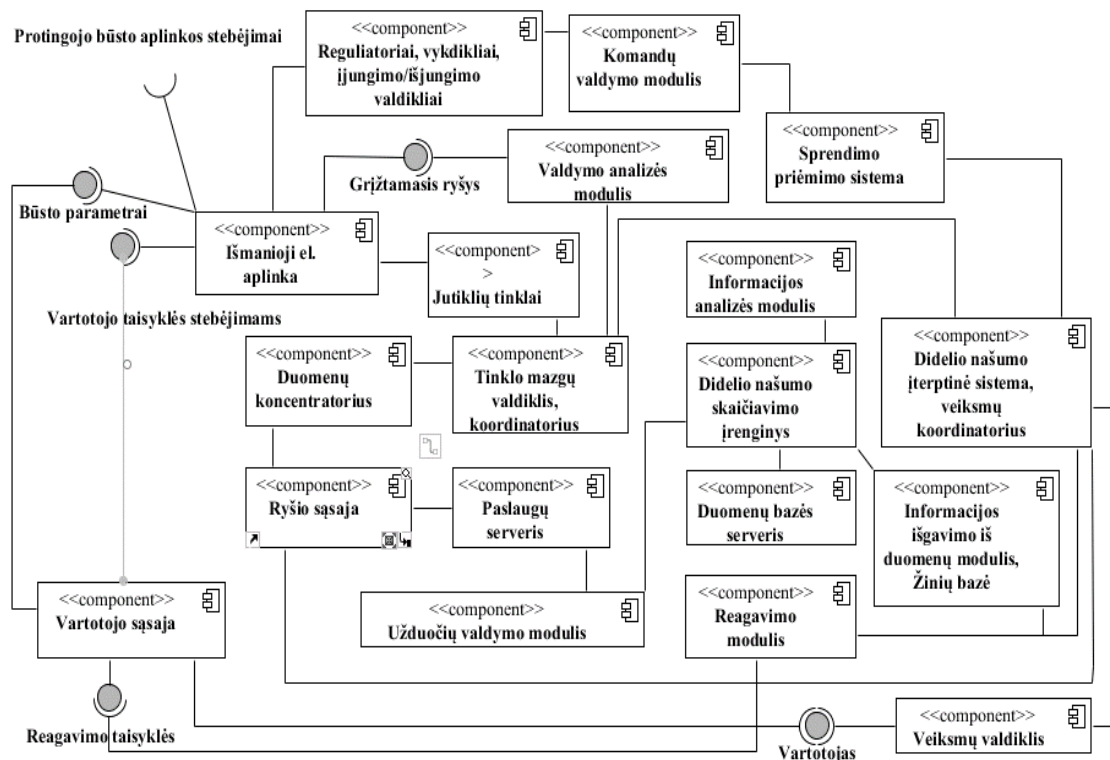
Igyvendinant trečiąjį disertacinio darbo uždavinį, šiame skyriuje aprašoma vystomos ir suprojektuotos energijos valdymo sistemos struktūra. Nagrinėjamos galimybės integruoti ją išmanaus būsto energijos valdymo architektūroje. Skyriuje pateikiama bendra posistemės architektūra ir smulkiau aprašomos energijos valdymo posistemės dekomponuojamos atskiros dalys. Kiekvienam struktūriniam komponentui aprašoma atskira detalizuota struktūra ir apibrėžiamas jos veikimas bendroje struktūroje. Detaliau aprašoma sprendimų priėmimo sistema ir sprendimo priėmimo būdai elektros energiją naudojančių įrengimų valdymui atlikti.

#### **3.1 Elektros energijos išteklių stebėsenos sistemos architektūra**

Skyriuje pateikiamas aprašymas autonominės energijos valdymo sistemos koncepcinės schemos (16 pav.), kuri buvo projektuojama su tikslu atlikti energijos suvartojimo duomenų surinkimą, analizę ir prognozę bei užtikrinti autonomiņ tokios posistemės valdymą.

Pirminis aplinkos parametrų ir energijos duomenų surinkimas vykdomas jutikliuose. Jutikliai jungiami į sistemą belaidžio tinklo priemonėmis. Jutikliai persiunčia informaciją koncentraciniam įrenginiui (tinklo sąsajos įrenginys), kurio viduje integruota duomenų kaupimo posistemė. Tinklo sąsajos įrenginys atsakingas už duomenų vientisumą ir ryšį su el. paslaugų serveriu. Vartotojo aplinkoje surinkti energijos sąnaudų ir kitų matavimų duomenys kaupiami el. paslaugos serverio duomenų bazėje.

Elektroninės paslaugos modulio funkcionalumas priklauso nuo teikiamos elektroninės paslaugos infrastruktūros. Paslaugų modulio tikslas yra kaupti elektros energijos sąnaudų duomenis ir atlikti prognozę, numatant elektros sąnaudų pasiskirstymą tam tikrais laiko intervalais į priekį. Modulį galima sujungti su išmaniojo būsto įranga, siekiant efektyviau panaudoti el. energijos išteklius.



Šaltinis: sudaryta remiantis 1.5 ir 2.3 skyriuje aprašytais elektros energijos valdymo architektūros sprendimais.

20 pav. Elektros energijos išteklių valdymo architektūros koncepcinio lygmens schema

Energijos valdymo architektūros koncepcinio lygmens schemą sudaro komponentai, skirti aplinkos parametrų duomenims surinkti, saugoti, suvartojimo analizei ir prietaisų autonomiškam reguliavimui atlikti. Architektūra apima komponentus, kurie buvo aprašyti kitų autorių (Fusco F. ir kt., 2016; Satec, 2015) architektūrose, tačiau adaptyviai ir kintančiai tinklo topologijai užtikrinti, šiame darbe siūlomi suvartojimo prognozės, grįžtamojo ryšio ir prietaisų reguliavimo sprendimai.

### 3.2 Elektros energijos išteklių stebėsenos posistemės realizacija

Elektros energijos sąnaudų stebėsenos posistemės pagrindą sudaro jutikliai, kurie renka duomenis apie energiją suvartojančius įrenginius. Išmaniojo daikto/jutiklio paskirtis – surinkti reikiamus duomenis iš aplinkos ir juos paversti struktūrizuota skaitmenine informacija (Alipp ir kt., 2006; Jiang ir kt., 2010; Sabit ir kt., 2012). Jo sudėtyje numatyta pirminė talpykla, duomenų filtravimo posistemė, taip pat numatytas ryšys su duomenų koncentratoriumi.



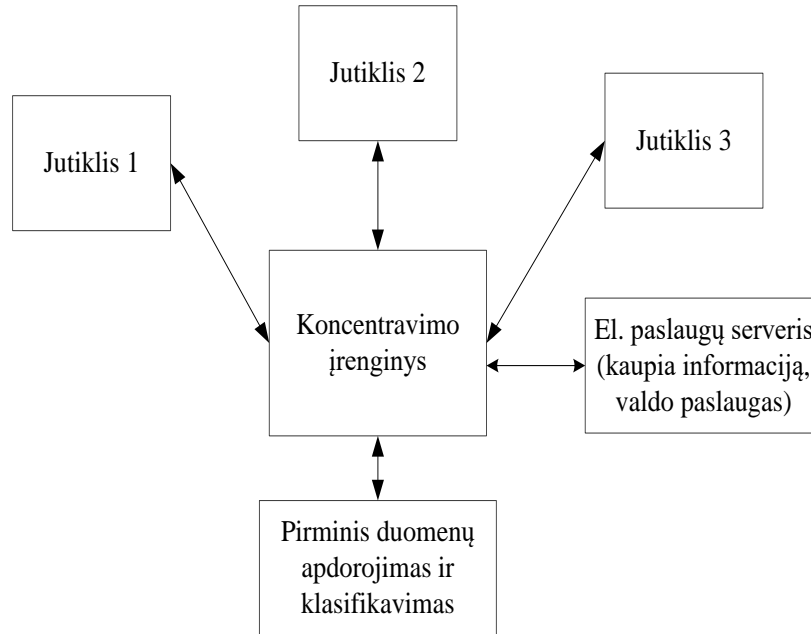
Projektuojamoje sistemoje jutikliai naudojami elektros įrenginių sąnaudoms nustatyti ir energijos suvartojimo prognozei atlikti. Darbe nagrinėjama energijos išteklių valdymo sistemos architektūra, apimanti tokius procesus: nuo aplinkos parametrų nuskaitymo jutikliais iki reakcijos į aplinką priimant autonominius valdymo sprendimus.

Bendrojoje el. paslaugų tiekimo sistemos struktūroje vaizduojama koncentravimo įrenginio paskirtis ir bendra supaprastinta aparatinės įrangos konfigūravimo struktūra (17 pav.). Koncentratorius surenka jutiklių vienmačių arba daugiamačių laiko eilučių duomenis iš aplinkos. Vienas pagrindinių informacijos išgavimo būdų - nagrinėti skaitmeninius daugiamačius signalus. Siekiant užtikrinti pilnavertį sistemos veikimą, būtini algoritmai, skirti galingiems paslaugų serveriams. Koncentravimo įrenginys jungia žmogų supančios aplinkos jutiklius, kurie per situacijos analizės algoritmą teikia informaciją nusakydami susidariusią situaciją paslaugos gavėjui. Tokiu būdu vartotojas, gavęs informaciją apie susidariusią situaciją, siekiant tam tikro komforto sąlygų ir atsižvelgiant į individualius žmogaus poreikius, gali nuotoliniu būdu valdyti energiją vartojančius įrenginius (21 pav). Įvairios paskirties jutiklių duomenys yra vienijami koncentravimo įrenginių ir siunčiami paslaugos valdytojui. Jutiklių nuskaitymą duomenų ir energijos suvartojimą valdantys mazgai ir prietaisai prijungiami prie daiktų interneto. Serveris atsakingas už informacijos išgavimą iš stebėsenos duomenų, sudėtingų daugiamačių signalų apdorojimą ir atpažinimą. Kiekvienas jutiklis komunikuoja belaidžiam jutiklių tinkle su kitais įrenginiais remiantis M2M technologija ir keičiasi telemetrijos duomenimis standartizuotais duomenų perdavimo protokolais.

Jutiklių duomenų koncentratorius renka informaciją iš išmaniųjų jutiklių, teikiančių paslaugų duomenis apie žmogaus aplinką. Todėl reikalingas duomenų saugojimas ir tolimesnis jų persiuntimas į paslaugų debesį. Dėl galimybės komunikuoti su įvairia tarpine ryšio technologijų įranga, koncentratoriaus įrenginyje būtinas užduočių priėmimas ir paskirstymas (dispečerizavimas). Viena iš koncentratoriaus funkcijų, kiek įmanoma stebėti ir prižiūrėti sistemos

išmaniuosius daiktus. Ryšio technologijos ir baigtiniai būsenų automatai, skirti koncentratoriaus darbui užtikrinti.

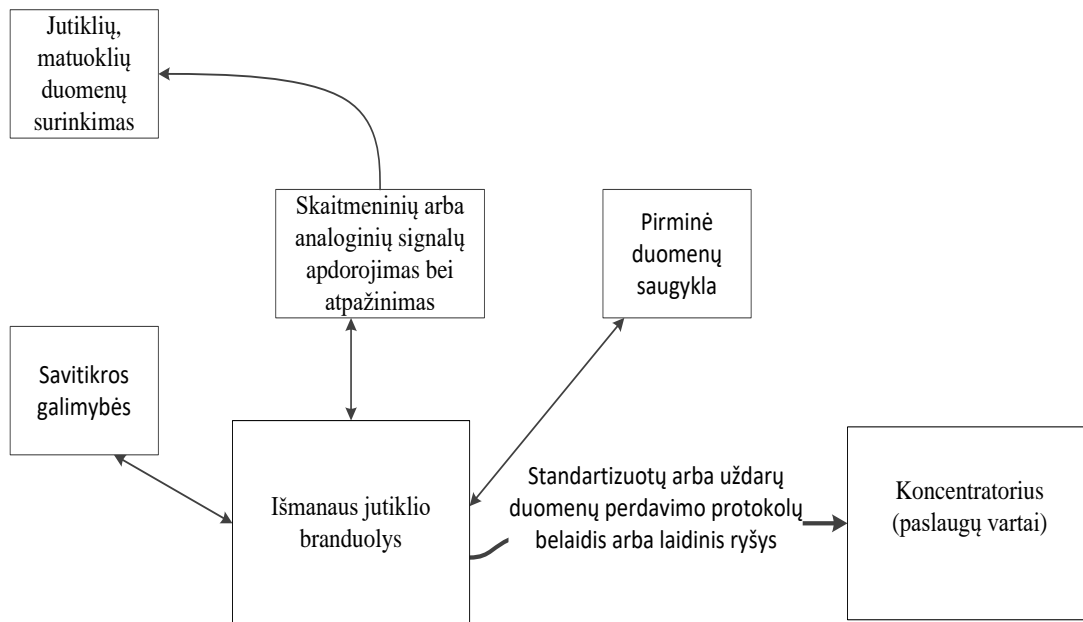
Programinio el. paslaugų paketo pagrindinė paskirtis - pavaizduoti ir valdyti paslaugas, patogioje vartotojo sąsajoje. Kiekvienai paslaugai kuriamas paslaugos valdymo ir stebėjimo centras, kuris gali būti nesiejamas su kitais centrais, tačiau priklauso tam tikrai centrų grupei.



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal (Satec, 2015)

21 pav. Jutiklių duomenų koncentravimo valdymo sistemoje struktūra

Išmanusis jutiklis yra sudarytas iš jutiklių arba jutiklių masyvo ir mikroprocesoriaus, kuriame atliekamas pirminis duomenų surinkimas ir apdorojimas (22 pav.). Šis prietaisas tampa paslaugų sistemos dalimi, kai yra integruojamas į konkrečią paslaugą teikiančią įrenginį. Išmaniajame jutiklyje apdorojami paprastų analoginių jutiklių generuojami signalai arba kreipiamasi į skaitmeninius jutiklius momentinių nuoskaitų gavimui naudojantis komunikacinėmis sąsajomis (Flammini ir kt., 2003).

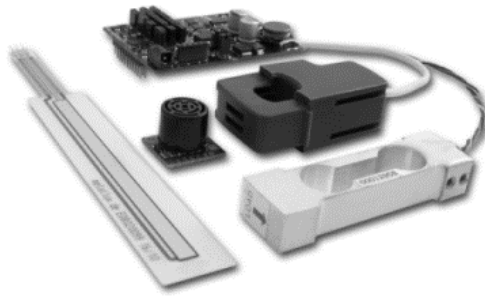


Šaltinis: sukurta autoriaus, pagal (Fusco F. ir kt., 2016; Satec, 2015)

22 pav. Išmanaus jutiklio struktūros dekompozicija

Šiame mazge gali būti integruotos savitikros funkcijos, kai prietaisas atsakingas perduoti tarnybinę informaciją apie įvykusias problemas ir prietaiso būklę. Jeigu paslaugos sistemos struktūroje yra numatoma pirminė saugykla, tai jutiklis turi turėti pakankamai atminties išsaugoti duomenis iki kol atsiranda galimybė komunikuoti su jutiklių koncentravimo įrenginiu ir persiųsti duomenis į paslaugos serverių duomenų bazes.

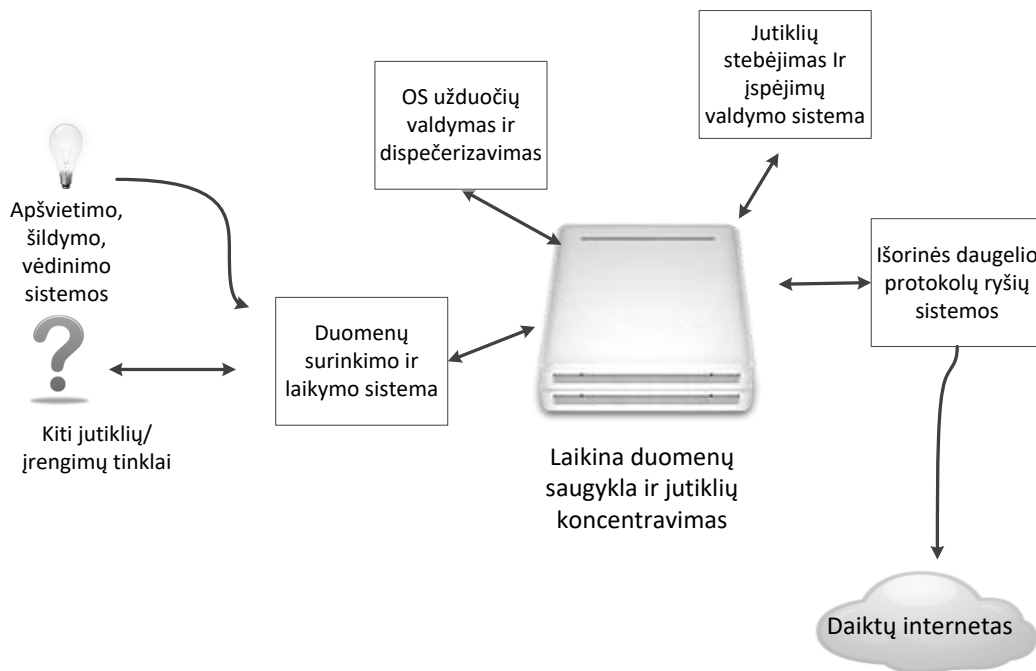
Siekiant užtikrinti sistemos kompaktiškumą, efektyvumą (kai duomenys renkami grupuotai) ir sumažinti tinklo mazgų/komunikacinių priemonių apkrovimą, jutiklius galima jungti į masyvus. Jutikliai gali būti skirtingo tipo ir jų komunikacija su jutiklio branduoliu – mikrovaldikliu, realizuojama atskirai nuo kitų sistemos dalių, t.y. jutikliai jutiklių masyve veikia kaip vienas atskiras tinklo mazgas. Tokiu atveju perduodami duomenys duomenų paketuose gauna unikalų adresą kiekvienam jutikliui masyve. Rinkoje sutinkamos jutiklių plokštės (angl. *sensor boards*) dažnai yra sugrupuotos ir pritaikytos vienai specifinei paslaugai teikti, pavyzdžiui energijos matavimui atlikti (23 pav.) (Libelium, 2010).



Šaltinis: (Libelium, 2010).

23 pav. Išmanusis jutiklis momentiniams galios parametrams

Jeigu siekiama prijungti išmanaus būsto šildymo-vėdinimo, apšvietimo paslaugas prie daiktų interneto, būtinas duomenų koncentravimo būdas, kuris surinktų ir paskirstytų kiekvieno komunikacinio tipo tinklo mazgo duomenis (24 pav.). Tokią funkciją atlieka antrinė duomenų saugykla ir koncentravimo/maršrutizavimo įrenginys, siejantis mažo našumo įterptinių sistemų tinklus su daiktų interneto prietaisais. Prieiga prie jutiklių įgyvendinama per šį mazgą, nes tai komunikacinis mazgas, turintis tiesioginį ryšį ir sugrupuojantis prietaisus pagal jų buvimo vietą ir teikiamas paslaugas. Kai koncentratoriaus įrenginys pritaikomas kelioms ryšio duomenų perdavimo technologijoms, kurios gali būti ne tik skirtingo našumo, bet ir skirtingų principų ir radijo dažniais veikiantys siųstuvai-imtuvai, būtina panaudoti spartų daugelio branduolių procesorių lygiagrečioms užduotims vykdyti. Atsižvelgiant į tinklo mazgų kiekį, duomenų surinkimo ir įgyvendintų komunikacijų dažnį, šiame mazge, gali būti panaudota operacinė sistema arba realizuota užduočių dispečerizavimo galimybė sudaryti loginei vykdymo eilei. Galima ir tokia situacija, kai daiktų internetas išmaniajame būste prieinamas ne per vieną komunikacijos technologiją, o keliais skirtingais būdais. Tokia realizacija gali būti pasirinkta ne vien tik dėl panaudotų išmaniųjų jutiklių įvairovės, bet ir dėl iteracinių sistemos patobulinimų ir dėl saugumo klausimų.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

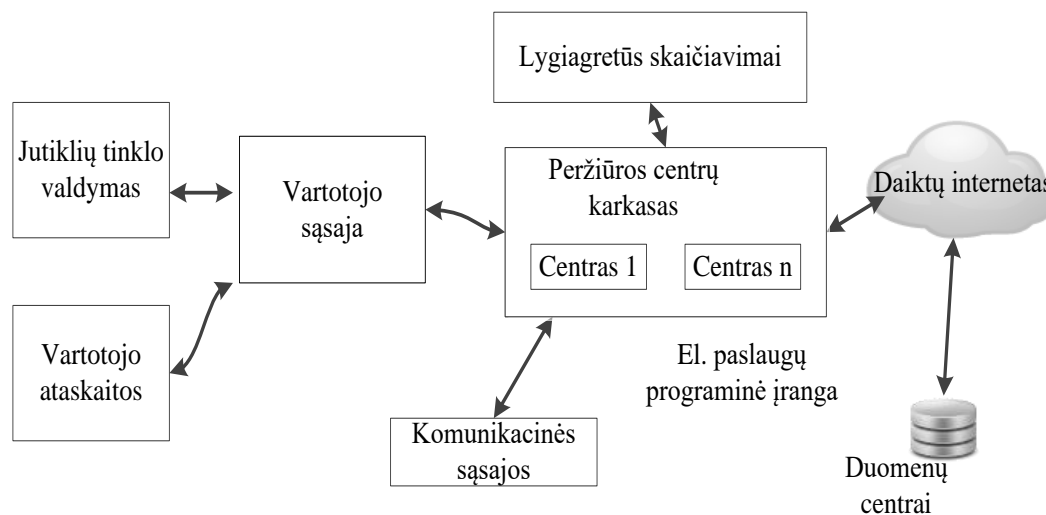
24 pav. Jutiklių valdymo koncentravimo įrenginys

Išmanaus būsto vartotojas gali valdyti paslaugas keliais skirtingais būdais:

- vartotojo ekrane (angl. *dashboard*),
- paslaugų interneto svetainėje,
- vartotojo sąsajoje mobiliuose ir stacionariuose kompiuteriuose (pavyzdžiui, išmaniajame telefone),
- nuotolinio valdymo pulteliu.

Elektros energijos išteklių valdymo architektūroje bet kuris paslaugų valdymo tipas yra nagrinėjamas kaip vartotojo taisyklių sudarymas. Nesvarbu, kuris iš būdų bus panaudotas praktiškai, nes kiekvienas iš valdymo būdų šioje architektūroje yra laikomas vartotojo taisyklių sudarymo modulių, kurio komunikacinė technologija neapibrėžta, tačiau sistema turi turėti galimybę šiuos duomenis priimti kaip išmaniojo jutiklio siunčiamus duomenis. Todėl koncentravimo įrenginys turi būti pasiekiamas (nebūtinai tiesiogiai) vartotojo paslaugų valdymo atžvilgiu. Viena iš galimų vartotojo paslaugos valdymo sąsajų pavaizduota 25-ame paveiksle. Jos pagrindinis tikslas - leisti vartotojui įvesti paslaugų naudojimo taisykles ir pamatyti vartotojo ataskaitas. Šios sąsajos

funkcionalumas leidžia peržiūrėti paslaugos parametrus ir ataskaitas peržiūros lange (angl. *view*), nepaisant to, kur šios informacijos duomenys saugomi. Šioje sistemos dalyje turi būti realizuotos programinės procedūros užklausų duomenų bazei vykdymui ir sudaroma galimybė generuoti vartotojo ataskaitas, kai skaičiavimai atliekami vartotojo kompiuteriuose.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

25 pav. El. paslaugų vartotojo sąsajos struktūra išmaniojo būsto valdymui

### 3.3 Sprendimų priėmimo būdai ir sprendimų priėmimo sistema

Sprendimų priėmimo komponentai padeda analizuoti realaus laiko ir istorinius duomenis pagal nustatytas paslaugų ribojimo taisykles bei priimti elektrinių prietaisų valdymo sprendimus. Galutinis sprendimas yra įgyvendinamas naudojantis pakoreguotu sprendimo modeliu, kurio konfigūravimas vyksta realiu laiku keičiant sprendimų priėmimo modelio platformą ir analizuojant sistemos grįžtamojo atsako rezultatą (Dzemydienė ir kt., 2015).

Pirmiausia, apibrėžiama problema: tai momentas, kada analizuojant aplinkos parametrus netenkina viena ar kita charakteristika, todėl būtina priimti valdymo sprendimą. Reikalavimų apibrėžimas yra aprašomas pagal esamas valdymo sistemos galimybes (pagal tai, ką ir kaip galima valdyti).

Suformuluojamas tikslas valdyti vienus ar kitus aplinkoje esančius prietaisus, siekiant sutaupyti elektros energijos bei valdyti išmanaus būsto

aplinką. Apibrėžtieji kriterijai priklauso nuo siektino sprendimo tikslo (išmaniosios aplinkos parametrų pakeitimo greitis, elektros energijos sąnaudos, ribotos naudojimo galimybės įvertinimas ir k.t.). Galimas ir toks atvejis, kai priimamas vienas sprendimas, tačiau galimi keli jo variantai. Tokiu atveju pagal kriterijus ir valdymo prioritetus turi būti rekomenduojamas veiksmingiausias (atsižvelgiant į istorinių duomenų bei grįžtamojo ryšio rezultata) sprendimas. Sprendimas validuojamas remiantis valdymo rezultatu, kurį sudaro naudojamos galios charakteristikos ir aplinkos parametrų pasikeitimas.

Šiame darbe automatiniam sistemos būsenos nustatymui ir koregavimui naudojamas formalizmas, grindžiamas Mili (angl. *Mealy*) baigtinių būsenų automato aprašymo priemonėmis (26 pav.). Jo būsenos – galimos situacijos, susidarančios sistemoje ir iš jų gaunami priimamų sprendimų variantai, kai perėjimai tarp būsenų nurodo perėjimą į kito sprendimo priėmimą. Aplinkos sąlygoms pakitus arba netenkinant vartojimo taisyklių, galima priimti kitą sprendimą. Tokiu būdu aprašant prietaisų valdymo modulį, elektrinį įrenginį galima valdyti dinamiškai autonominiu būdu.

Kai sprendimo priėmimas yra susijęs su ateities prognozės rezultatais, svarbu prognozuoti energijos suvartojimą ateityje ir šį rezultatą panaudoti valdymo sprendimui priimti. Atliekant prognozę remiantis istoriniais sąnaudų duomenimis, sprendimų priėmimų sistemoje apibrėžiama, kad prietaiso sąnaudos neviršytų leistinų ir sistema galėtų paskirstyti efektyvumą maksimaliai pagal numatytą komforto lygį per nagrinėjamą intervalą. Siekiant tikslo, kad sistema veiktų autonomiškai, siūloma laikytis tam tikrų apribojimų: (a) išteklių valdymo architektūrai prognozės modulis yra viena iš svarbiausių sistemos komponentų, (b) yra būtinas tikslus autonominės paslaugos veikimo užtikrinimas.



Šaltinis: sukurta autoriaus, pagal energijos valdymo SPS (Sicilia A. ir kt., 2015)

26 pav. El. energijos valdymo sprendimų priėmimo sistemos baigtinių būsenų automatas

Sprendimo priėmimo sistemos modelis yra aprašomas pasirinkta programavimo kalba ir jame realizuotos taisyklės nusako vykdymo veiksmų eigą, nustatytu konkrečiu valdymo atveju. Nepaisant paslaugos paskirties, skirtingi duomenys ir prietaisai gali būti panaudoti praktinėje realizacijoje.

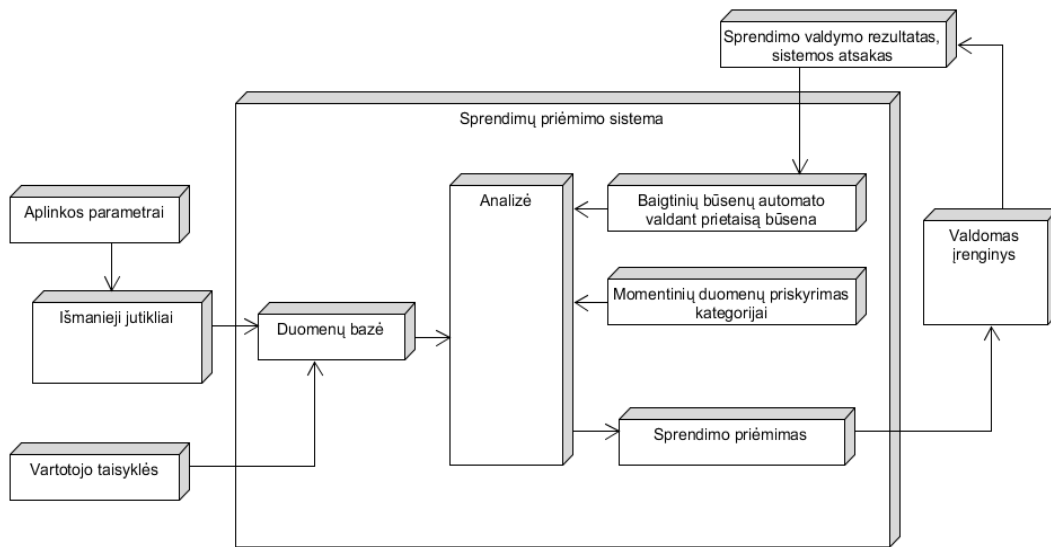
Sprendimų priėmimo sistemos realizacija su valdoma konfigūracija pasireiškia tuo, kad veiksmų seka gali būti valdoma naudojantis vartotojo aprašytais taisyklėmis ir techniniais bei loginiais el. paslaugų ribojimais. Norint dinamiškai apibrėžti realaus laiko konfigūraciją, reikia įvertinti šiuos konkretaus jutiklio teikiamus parametrus: minimali reikšmė, maksimali reikšmė, vidutinė reikšmė ir siekiamas rezultatas (-ai).

Baigtinis būsenų automatas yra naudojamas tiksliai aprašyti sprendimų priėmimo sistemos modelio (taisyklių rinkinio) konfigūraciją. Pagal užduotas



taisykles, gali būti konfigūruojamas požymių atpažinimas ir sprendimų priėmimo parametrai. Kiekvienas požymis gali būti koreguojamas, naudojantis aplinkos parametrų stebėsenos duomenimis, todėl šis sprendimų priėmimo būdas yra savireguliuojantis realiu laiku.

Aprašyta sprendimų priėmimo sistemos struktūra (27 pav.) gali būti integruota į įterptinę sistemą el. paslaugų aplinkoje įvairaus tipo užduotims spręsti, pavyzdžiui išmaniojo būsto energijos ištekliams taupyti arba, pavyzdžiui, automobilio kuro sąnaudoms mažinti.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

27 pav. Elektros energijos valdymo sprendimų priėmimo sistemos struktūrinė schema

Sprendimų sistema yra dalis el. paslaugų sistemos ir šiame darbe nagrinėjama, pritaikant jos priimtus sprendimus ištekliams taupyti ir patogumui užtikrinti. Kai sistema naudojama su prognozės rezultatais, sprendimai gali turėti kelis panaudojimo būdus:

- Sprendimai priimami priklausomai nuo prognozės rezultatų;
- Sprendimai priimami operatyviai įvertinus situaciją, t.y. be prognozės duomenų įvertinimo.

Savireguliuojantis baigtinių būsenų automatas modelio konfigūracijai yra įgyvendintas mikrovaldiklio įterptinės sistemos branduolyje ir iškeltas (angl. *porting*) į aukštesnio lygio programavimo kalbos valdymo posistemę, kuri

pritaikyta autonominiam sistemos veikimui užtikrinti. Norint priimti elektros energijos valdymo sprendimą, galima remtis keliais būdais:

- valdymo komanda atliekama pagal istorinius duomenis,
- valdymo komanda atliekama palyginus su kaimynų (jutiklių, valdyklių) duomenimis,
- atsitiktinio sprendimo siūlymu, pagal sunormalizuotus duomenis.

Valdymo komanda pagal istorinius duomenis pateikia sprendimą pagal surinktus duomenis sistemoje ir remiasi vartotojo taisyklėmis, kaip korektiškai valdyti sistemą. Palyginimo su kaimynais atveju, priimamas sprendimas patikslinamas, atsižvelgiant į duomenis iš kitų, panašiai veikiančių sistemų, pavyzdžiui įdiegtų kitame išmaniajame būste. Atsitiktinio sprendimo siūlymas remiasi vidutine valdomo prietaiso sąnaudų reikšme ir gali būti naudojamas be istorinių duomenų, tačiau yra labiausiai priklausomas nuo momentinio valdymo rezultato. Sprendimas yra koreguojamas realiu laiku, atsižvelgiant į gautą rezultatą. Atsitiktinis sprendimas reikalauja, kad sistemos atsakas būtų gautas realiu metu ir greitai (nepakanka laiko, kad būtų galima atlikti prognozės analizę), todėl atgalinio ryšio prognozės analizės su duomenimis būseną bus negalima. Priimant kiekvieną sprendimą, siūloma naudotis šiais žingsniais: apibrėžti problemą, apibrėžti reikalavimus, nusistatyti tikslus, apibrėžti kriterijus, pasirinkti sprendimo priėmimo įrankį, patikrinti alternatyvas, validuoti sprendimą pagal problemos formuluotę. Ši veiksmų seka tinkama naudoti ir įterptinėse paslaugų sistemose veikiančiame sprendimų priėmimo modulyje.

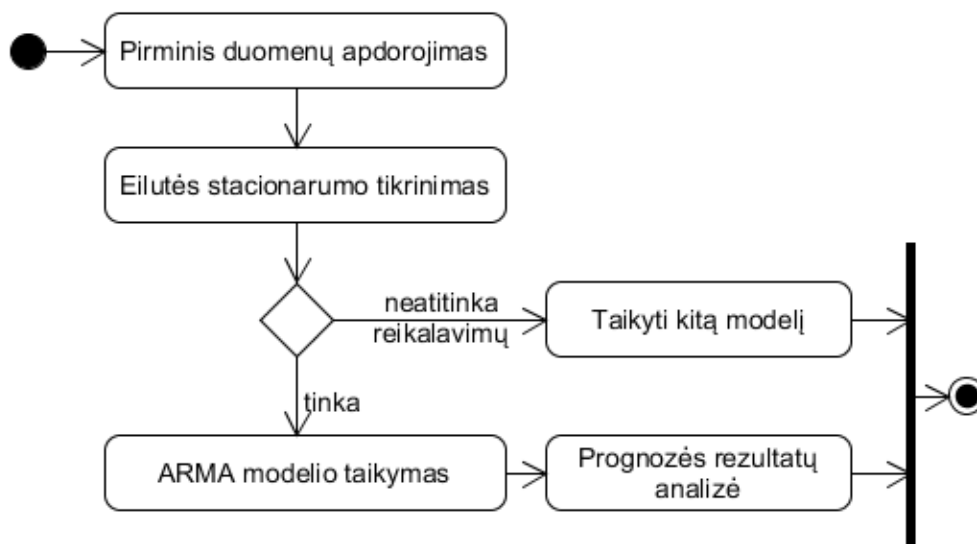
### **3.4 Stebėsenos duomenų prognozės algoritmo taikymo koncepcija**

Prognozės algoritmai įterptinei nedidelio našumo sistemai yra sudėtingi skaičiavimai, todėl būtina įvertinti sistemos pajėgumą ir architektūroje paruošti galimybę skaičiavimus iškelti į pakankamo našumo skaičiavimo įrenginius.

Prognozės algoritmo parinkimas, susijęs su algoritmų realizacija. Kai realizacijoje naudojami keli algoritmai, pirmiausiai bandomas taikyti ARMA modelis. Jeigu ARMA modelio taikyti negalima, arba tikslumas netenkina,

parenkamas alternatyvus algoritmas. Kiekvieno iš prognozės algoritmų darbo eigos diagramoje atsispindi tokia pati eiga: duomenų paruošimas prognozei, tikrinimas ar prognozė įmanoma, prognozės algoritmų taikymas ir rezultatų pateikimas.

Pavyzdyje pateikta darbo eigos diagrama naudojant ARMA modelį (28 pav).



Šaltinis: taikant MatLab aplinką sukurtas autorius.

28 pav. ARMA modelio prognozės algoritmo pritaikymo dalinis algoritmas

Norint sukurti laiko eilutės modelį MatLab programinėje įrangoje, naudojamos funkcijos ARIMA ir ARIMAX. Galima sukurti judančio vidurkio (AR), autoregresinę, judančio vidurkio-autoregresinę (ARMA), integruotą (ARIMA) bei sudėtingesnius modelius. Yra galimybė apibrėžti modelius su žinomais koeficientais. Šis programinis algoritmas gali būti panaudotas el. energijos sąnaudų sistemos eksperimentinių duomenų generavimui.

ARMA modelio prognozė yra tikslinga, jeigu duomenyse yra dėsningumas, t.y. sezoniškumo ir krypties komponentės, neuroniniais tinklais sprendžiamos netiesinės problemos (Greaves C., 2016; Lapinskas R., 2005).

Norint panaudoti MatLab galimybes C# programavimo kalboje, būtina naudoti MatLab programos kūrimo sąsajas (angl. *API*). Tada šioje kalboje galima naudoti MatLab kintamuosius ir kurti skaičiavimo bei analizės algoritmus.

### 3.5 Prognozės būdas, grindžiamas MatLab generuojamu neuroninio tinklo mechanizmu

Darbe aprašomas energijos duomenų prognozės būdas, remiantis MatLab programinės įrangos kūrėjų siūlomu sprendimu (MatLab, 2016). Šis būdas leidžia sukurti scenarijus energijos sąnaudų prognozei ir perpanaudoti juos kuriamoje elektros energijos valdymo sistemoje.

Paslėptų neuronų skaičius tinkle gali būti valdomas ir turi įtaką skaičiavimo efektyvumui bei rezultatų kokybei. Paslėptų neuronų skaičiaus ir duomenų imties priklausomybė pateikta formulėje:

$$N_p \leq \frac{N_m \cdot E_t}{N_i \cdot N_{i\check{s}}}$$

Čia  $N_p$  paslėptų neuronų skaičius,  $N_m$  – tinklo mokymo imties eilučių skaičius (treniravimo šablonų),  $E_t$  – tolerancinė paklaidos riba neuroniniame tinkle,  $N_i$  – tinklo įėjimų skaičius,  $N_{i\check{s}}$  – tinklo išėjimų skaičius. Šia skaičiavimo taisykle siekiama, kad tinklas yra pakankamas nagrinėjamai problemai įsiminti (MatLab, 2016).

Jeigu tinklo efektyvumas netenkina (lyginami realūs duomenys ir tinklo paskaičiuoti rezultatai), galima rinktis kelis variantus (Jadhav U., 2016; Matlab, 2016):

- Padidinti delsimų skaičių.
- Iš naujo apibrėžti pradinius tinklo svorius ir poslinkius naudojantis komanda *init*.
- Padidinti paslėptų neuronų sluoksnių skaičių.
- Padidinti mokymosi vektorių skaičių.
- Padidinti įėjimo reikšmių skaičių, jeigu prieinama daugiau informacijos.
- Panaudoti kitą mokymosi algoritmą.

Jeigu rezultatai naudojant mokymosi aibę geri, tačiau testo metu rezultatai prasti, gali būti, kad tinklas buvo permokytas. Norint pasiekti geresnius rezultatus, galima bandyti sumažinti neuronų skaičių (MatLab, 2016).

### 3.5.1 Laiko eilutės prognozės algoritmo realizacija MatLab aplinkoje

MatLab integruotoje aplinkoje atliekant neuroninio tinklo skaičiavimus sugeneruojamas kodas ir/arba diagrama. Juose galima matyti, kaip tinklas apskaičiuoja išėjimus pagal įėjimus. Sprendimo sukūrimas yra galimas su MatLab Compiler įrankiais ir kitomis MatLab bei Simulink kodo generavimo priemonėmis (Shamisi ir kt., 2011).

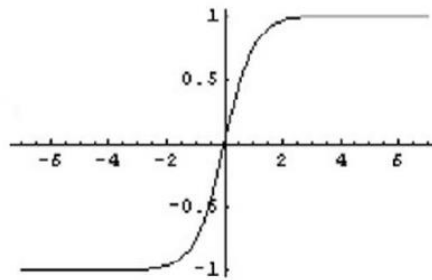
Galima pasirinkti „Simple Script“ arba „Advanced Script“ funkcijas, kad būtų galima sukurti scenarijų (vykdomą per komandinę eilutę), įvykdytą per grafinę sąsają. Sukuriamas MatLab kodas gali būti naudojamas komandinėje eilutėje, vadinasi taip pat valdomas išorinėmis programavimo priemonėmis (MatLab, 2016).

Tinklą galima išsaugoti kaip kintamąjį MatLab darbo aplinkoje. Galima atlikti papildomus bandymus arba panaudoti su naujais įėjimais. MatLab aplinkoje sugeneruotas kodas būna iškart su komentarais, todėl jį nesunku pakoreguoti pagal poreikius. Automatinius sprendimus priimanči el. paslaugų sistema prognozę turi atlikti naudojant dinامينius scenarijus, paruoštus MatLab vykdymui.

Scenarijus (angl. *script*) gali būti vykdomas per MatLab aplinką arba per komandinę eilutę. Taip pat galima redaguoti scenarijų, keičiant scenarijaus kodą.

Prieš vykdant scenarijų, įėjimų ir išėjimų vektoriai turi būti iš anksto apibrėžti ir užkrauti MatLab darbinėje aplinkoje. Jeigu jie nėra apibrėžti, tai reikėtų nurodyti rankiniu būdu.

Netiesinio autoregresinio neuroninio tinklo (NAR) tinklo sukūrimo žingsnyje, turi būti nurodomi reikiami metodo parametrai. NAR tinklas kuriamas naudojant MatLab metodą `narnet` (MatLab, 2017). Tai tiesioginio sklidimo tinklas su pagal nutylėjimą nurodyta hiperboline tangento-sigmoidine (angl. *tan-sigmoid*) perdavimo funkcija (29 pav.) paslėptuose sluoksniuose ir tiesine perdavimo funkcija kituose sluoksniuose (Duch W. Ir kt., 2001).



Šaltinis: (Mokhtar Z. K. ir kt., 2013).

29 pav. Hiperbolinio tangento-sigmoidės perdavimo (aktyvavimo) funkcija

Tinklas turi du įėjimus: išorinis įėjimas, grįžtamojo ryšio (angl. *feedback connection*) įėjimas iš tinklo išėjimo. Po to, kai tinklas apmokytas, šis ryšys gali būti uždarytas. Kiekvienam iš įėjimų sudaroma tapped delsimo linija ankstesnėms reikšmėms saugoti. Kad NAR tinklui būtų priskirta architektūra, reikia nurodyti delsimo linijas kiekvienam įėjimui ir nurodyti paslėptų sluoksnių skaičių.

```
inputDelays = 1:4;
feedbackDelays = 1:4;
hiddenLayerSize = 10;
net = narnet(inputDelays,feedbackDelays,hiddenLayerSize);
```

čia `inputDelays` – įėjimų delsimo linija, `feedbackDelays` – grįžtamojo ryšio delsimo linija, `hiddenLayerSize` – paslėptų neuronų skaičius, `net` -neuroninis tinklas.

Didinant neuronų skaičių arba delsimo linijas, skaičiavimo trukmė ilgėja bei didėja tikimybė permokyti tinklą, tačiau su aukštais parametrais galima išspręsti sudėtingesnes užduotis. Didesnis paslėptų neuronų sluoksnių skaičius taip pat leidžia spręsti sudėtingesnes netiesines problemas. Kad būtų naudojamas daugiau nei vienas paslėptas neuronų sluoksnis, reikia nurodyti paslėptų neuronų sluoksnių dydžius kaip masyvo elementus `fitnet` komandoje.

Jeigu tinklas apmokomas naudojant delsimo linijas, tai visos delsimo linijos turi turėti pradinės reikšmės (naudojamos įėjimų ir išėjimų pradinės reikšmės). Reikšmėms užpildyti naudojama komanda *preparats*. Ši funkcija turi tris įėjimo parametrus: `tinkle`, įėjimo ir išėjimo vektorius. Funkcija gražina pradinės reikšmės, reikalingas užpildyti delsimo linijų reikmėms.

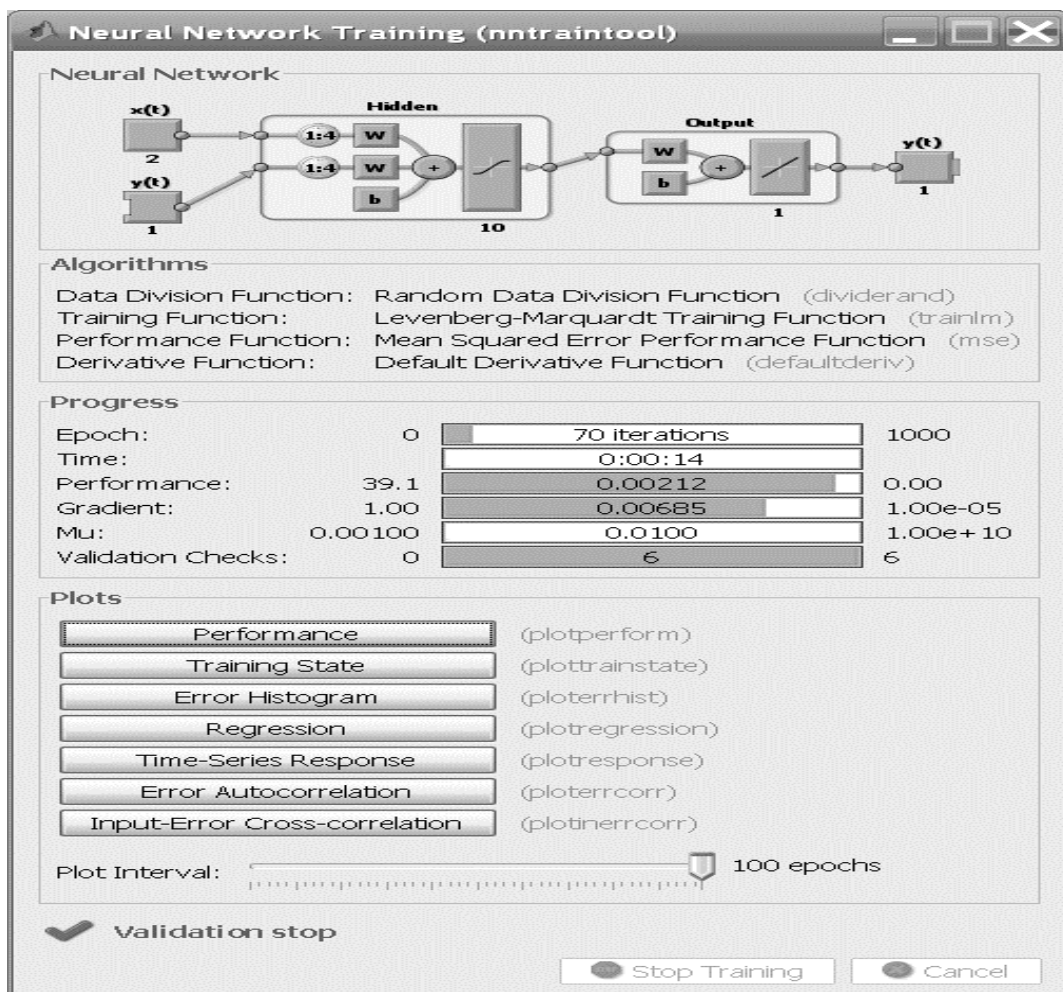
```
[inputs,inputStates,layerStates,targets]= preparets(
net,inputSeries,{},targetSeries);
```

čia net – neuroninis tinklas, inputSeries ir targetSeries – įėjimo ir išėjimo vektoriai.

Duomenų paskirstymas tarp tinklo kūrimo procesų atliekamas naudojant trainRatio, valRatio, testRatio nustatymus, įėjimo ir išėjimo vektoriai atsitiktinai paskirstomi procentiškai pagal nurodytas reikšmes kiekvienam procesui: 70% mokymams, 15% validavimui, 15% testams (galimų reikšmių intervalas 0-1).

### 3.5.2 DNT mokymo seansas MatLab aplinkoje

Tinklo mokymas naudojant algoritmą, nustatomą pagal nutylėjimą: Levenberg-Marquardt algorithm (trainlm).



Šaltinis: (MatLab, 2016).

30 pav. Neuroninio tinklo mokymo langas ir tinklo nustatymai

Didesnių užduočių sprendimui galima naudoti Bajeso reguliarizacijos (angl. *Bayesian Regularization*) algoritmą su komanda `trainbr` arba Gradientinį skalių (angl. *Scaled Conjugate Gradient*) algoritmą su komanda `(trainscg)`:

`net.trainFcn = 'trainbr';` (Bajeso reguliarizacija).

`net.trainFcn = 'trainscg';` (Gradientinis skalių metodas).

Tinklo mokymas pradedamas komanda:

`[net,tr] = train(net,inputs,targets,inputStates,layerStates);`

30-ame paveiksle rodoma, kaip atrodo mokymo langas su realiu laiku besikeičiančiais rezultatais, bei galimybe peržiūrėti grafikus.

Jeigu skaičiavimai atliekami MatLab integruotoje aplinkoje, tai mokymo metu atveriamas langas, kuriame rodomas mokymo progresas, leidžiant sustabdyti reikiamu momentu, spaudžiant „Stop Training“.

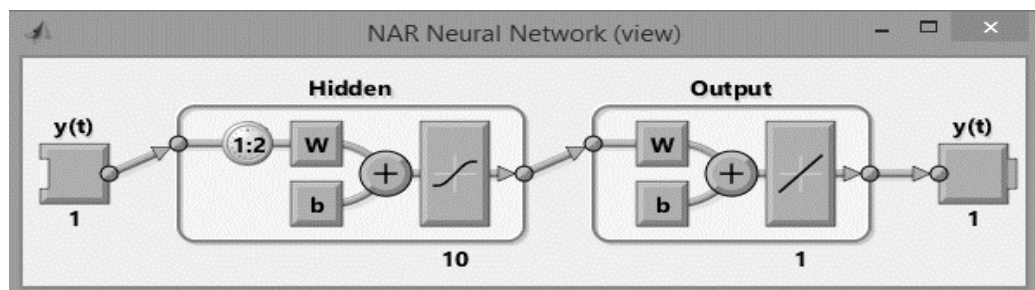
Kai tinklas yra apmokytas (pasiekiamas apibrėžtas epochų kiekis arba tenkinamas efektyvumas), jį galima naudoti išėjimams apskaičiuoti. Pagal nutylėjimą efektyvumui nustatyti naudojama vidutinė kvadratinė paklaida tarp tinklo išėjimų ir siektinų išėjimų. Pateiktame kode skaičiuojami tinklo išėjimai, klaidos ir bendras efektyvumas.

`outputs = net(inputs,inputStates,layerStates);` % išėjimas

`errors = gsubtract(targets,outputs);` % klaidos

`performance = perform(net,targets,outputs)` % bendras efektyvumas

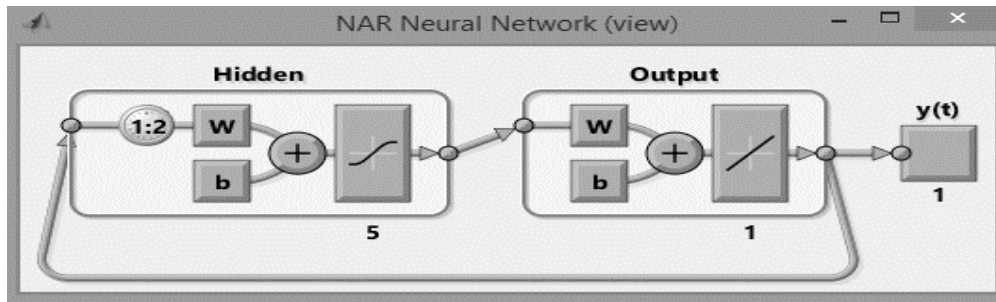
Tinklo diagramą galima peržiūrėti naudojantis komanda `view(net)`, kurios argumentas - apmokytas neuroninis tinklas (31 ir 32 pav.).



Šaltinis: (MatLab, 2016).

31 pav. DNT diagrama su atviru ciklu





Šaltinis: (MatLab, 2016).

32 pav. DNT diagrama su uždaru ciklu

Brėžiamas efektyvumo grafikas, kuris gali parodyti, kad reikia atlikti tinklo permokymą:

```
figure, plotperform(tr)
```

Visas mokymas yra atliekamas naudojantis atviru ciklu (dar vadinama nuosekli-lygiagreti architektūra (angl. *series-parallel architecture*)). Standartinė eiga yra vykdoma siekiant sukurti tinklą atviru ciklu ir tik po apmokymo (įskaitant validavimą ir testavimą) uždaryti ciklą, kad prognozę galima būtų vykdyti daugelį žingsnių į ateitį (angl. *multistep-ahead prediction*).

Pateiktame kode uždaromas ciklas NAR tinkle. Jeigu ciklas neuždaromas, galima prognozuoti tik vieną žingsnį į priekį. Prognozuojama kita reikšmė sekai  $y(t)$  iš ankstesnių  $y(t)$  reikšmių. Jeigu ciklas uždaromas, prognozė gali būti panaudota prognozuoti daugiau žingsnių, nes naujos  $y(t)$  reikmės bus naudojamos vietoje tikrų ateities reikšmių.

```
netc = closeloop(net);
netc.name = [net.name ' - Closed Loop'];
view(netc)
[xc,xic,aic,tc] = preparets(netc,inputSeries,{},targetSeries);
yc = netc(xc,xic,aic);
perfc = perform(netc,tc,yc)
```

Nuimamas delsimas, kad prognozės rezultatas būtų gautas vienu žingsniu anksčiau.

```
nets = removedelay(net);
nets.name = [net.name ' - Predict One Step Ahead'];
view(nets)
```

```
[xs,xis,ais,ts] = preparets(nets,inputSeries,{},targetSeries);  
ys = nets(xs,xis,ais);  
earlyPredictPerformance = perform(nets,ts,ys)
```

Neuroninis tinklas turės mažesnes delsimo linijas po delsimo ištrynimo. Tinklo išėjimas tokiu atveju bus  $y(t + 1)$  vietoje  $y(t)$ .

### **3.6 Daugiamačių masyvų ir požymių sudarymas iš nestructūrizuotos informacijos**

Kai paslaugos tiekimo aplinkoje nagrinėjamų parametrų daug ir reikia jų sugrupavimo arba kategorizavimo, galima remtis daugiamačiams duomenims būdingais algoritmais. Darbo metu buvo atliktas eksperimentas, siekiami panaudoti duomenis išgautus iš duomenų bazės, naudojant nestructūrizuotus aplinkos parametrų duomenis (panašus eksperimentas buvo atliktas ir su tekstiniais duomenimis). Išgauti iš duomenų bazės daugiamačius duomenis sudėtinga, nes kiekvienas duomenų vektorius buvo vertinamas kaip atsitiktinis parametras, nestructūrizuoti duomenys.

Norint iš laisvai surinktų parametrų gauti daugiamatį vektorių, reikia išfiltruoti duomenis, turinčius pakankamai informacijos ir išsisaugoti įvertinimą - klasifikatorių.

Pirminis duomenų filtravimas atliekamas pašalinant mažiausią įtaką turinčias reikšmes iš visų nagrinėjamų parametrų. Filtravimo algoritmas turi įvertinti, kad parametrų eilės numeris gali skirtis. Siekiant supaprastinti daugiamačių duomenų išgavimo algoritmą, daroma prielaida, kad parametrų momentinės reikšmės yra teisingos.

Kiekvienas vektorius (eilutė) interpretuojama kaip daugiamatis objektas. Stulpeliuose nagrinėjamų objektų kategorijos – požymiai (Kugelevičius ir kt., 2003). Eksperimentų metu buvo sukurtas bandomasis algoritmas, kuriame buvo galima įvesti taisykles priklausymo kategorijai (požymių reikšmėms nustatyti). Sukurtos kategorijos turi būti dinaminės ir lengvai papildomos, nes jos išskiriamos iš laisvai parenkamų parametrų.

Paprasciausio priklausymo kategorijai pavyzdys (Metodas „Ar priklauso kategorijai?“):

Jeigu kategorijos savybė yra atpažinta gražinti 1, priešingu atveju - 0.

Galimi ir sudėtingesni metodai, kurių rezultatas įvertinamas ne tik „1“ ir „0“ reikšmėmis, bet gali būti diferencijuotas platesniame reikšmių intervale.

Aplinkos parametrų duomenų rinkinį būtų galima patogiausiai analizuoti, jeigu būtų iš anksto numatytos kategorijos (laukai arba atributai). Šiuo atveju kategorijas-požymius reikia sudaryti prieš atliekant eksperimentą ir paruošti kategorijų sąrašą.

Pavyzdžiui aplinkos parametrus įvertina paslaugų vartotojas. Vertinimas gali neturėti apibrėžtos skalės: vertintojai vertina savo nuožiūra. Galimi įvairūs kelių sistemų vertinimo būdai, 1 iš 5, 1 iš 8, 1 iš 10, nuo 0 iki 100, intervalinis vertinimas (pavyzdžiui, 82 – 86).

Siekiant vertinimo balą panaudoti kaip daugiamačių duomenų klasifikatorių, reikia normalizuoti ir apdoroti visas skirtingas vertinimo sistemas (jeigu tokių yra). Normalizuojant turi būti pasirinkta viena skalė, pavyzdžiui, dešimties balų vertinimo sistema (sveikieji skaičiai nuo 0 iki 10).

Prieš kategorijų sudarymą ir prieš paverčiant duomenis daugiamačiu duomenų masyvu, reikia atrinkti neįvertintus arba neišsamius vektorius. Neišsamiu vektoriumi laikomas daugiamatis objektas, kuris neatitinka nei vienos iš sudarytų kategorijų arba jo parametrų reikšmės visada lygios numatytai reikšmei.

Kategorijas - požymius daugiamačiams duomenims buvo nuspręsta sudaryti rankiniu būdu nagrinėjant vertinimo aprašymus.

Gali kilti situacijų, kai vartotojas nenustato, kurie parametrai yra svarbesni ir neįvertina jų svoriais. Gali būti nagrinėjama situacija, kai visi parametrai yra lygiaverčiai.

Duomenų matricos padengimas įvertinamas ieškant nenulinių reikšmių kol padengimas pakankamas:

```
double coverage = ((double)totalNotZeros * 100 / (totalNotZeros + totalZeros));
```

```
IF coverage is sufficient
THEN GOTO DSS
ELSE GetNewFeatures()
```

čia coverage – matricos padengimas reikšmėmis, totalNotZeros – bendras užpildytų reikšmių skaičius, totalZeros – bendras nulių skaičius, sufficient – pakankamo užpildymo riba, GetNewFeatures – išgauti naujų požymių.

Jeigu padengimas pakankamas, galima priimti analizės sprendimą. Priešingu atveju ieškoma papildomų parametrų, kurie aprašo didžiausią kiekį nenulinių reikšmių tarp neįtrauktų elementų.

Elektros energijos išteklių valdymo sistemoje dažnai naudojami įvairių tipų jutikliai, kurių duomenys gali būti išgauti kaip daugiamatis masyvas, kai viena eilutė atitinka vieną laiko momentą. Aprašant aukščiau apibrėžtą algoritmą ir sudarius reikšmių kategorijų nustatymą, kiekvieną laiko momentą galima palyginti su kitais prieš tai buvusiais ir etalono duomenimis situacijai įvertinti. Šio algoritmo paskirtis sprendimų priėmimo sistemoje gali būti reikšmių palyginimas, kad būtų galima įvertinti, kokį sprendimą priimti. Taip pat, gaunant atsaką iš išmaniosios aplinkos parametrų, galima įvertinti ar įvyko kokia nors klaida įrenginiui veikiant autonomiškai.

Dažnai tenka sulyginti tokius parametrus, kaip simbolių eilutes, kuriose simbolių tvarka atsitiktinė. Norint įvertinti panašumą tarp šių eilučių, vienas iš plačiai paplitusių metodų yra skaičiuoti Levenšteino atstumą. Darbo metu buvo pasirinkta naudoti C kalbų grupei priklausančios programavimo kalbos C# atstumo skaičiavimo realizacija. Ši realizacija su mažais pakeitimais gali būti pritaikyta ir įterptinėms sistemoms. Algoritmas leidžia atsakyti į klausimą, kiek simbolių (parametrų) reikia pakeisti vietomis arba panaikinti, norint suvienodinti rezultatus. Toks atsakymas pateikia rezultatą skaičių nulį „0“, jeigu parametrų eilutės yra vienodos, kai jų išdėstymo tvarka svarbi. Rezultatas, kuris nelygus nuliui, rodo reikiamų pakeitimų skaičių.

Levenšteino atstumo algoritmo antraštė gali būti užrašyta metodu:

```
public static unsigned int LevenshteinDistance(string string1, string string2);
```

čia string1 ir string2 – lyginamų simbolių eilučių reikšmės.

Normalizavus algoritmo pateikiamą atsakymą, rezultatą galima išreikšti procentais.

Levenšteino atstumo panašumo įvertį galima naudoti kaip papildymą, kai naudojamos atstumo metrikos, pritaikomos skaičiams, pavyzdžiui kartu su Euklido atstumu.

### **3.7 Išmanaus būsto elektros energijos valdymo posistemės projektavimo sprendimai**

Energijos išteklių valdymo sistemos architektūroje svarbu nustatyti, kaip bus valdomas duomenų persiuntimas ir kaip bus atliekamas įrenginio valdymo sprendimas bei koks atsakas gaunamas iš sistemos valdymo sprendimams patvirtinti. Šiam tikslui siūlomi užduočių, valdymo ir analizės moduliai.

#### **3.7.1 Užduočių valdymo modulis**

Atsižvelgiant į duomenų surinkimo užduotį (duomenų rinkimo greitis, kiekis) ir matavimo duomenų tipą, modulis vykdo paslaugos surenkamų duomenų nukreipimą į DB ir duomenų analizės serverius. Duomenų priėmimo prioritetą nustatomas, siekiant pirmiausia išsaugoti svarbiausius duomenis. Perduodant žinutes į paslaugų serverį, kategorizuojamos užduotys, pagal siunčiamų duomenų kiekius ir dažnumą. Energijos išteklių valdymo sistemoje geriausia rinktis specializuotą programinę įrangą (sukurtą konkrečiai užduočiai), kuri leistų lanksčiai išskirstyti duomenis ir sprendžiamas užduotis tinkle, atsižvelgiant į skirtingas užduočių kategorijas, duomenų paketų prioritetus bei duomenų apimtį. Duomenų nukreipimas vykdomas atsižvelgiant į tai, kokias analizės paslaugas gali teikti konkretus paslaugų serveris.

#### **3.7.2 Valdymo analizės modulis**

Valdymo analizės modulio paskirtis analizuoti sistemos atsaką į elektros energijos valdymo sprendimus. Sistema, priimdama sprendimą, pateikia ir siektiną rezultatą. Jeigu rezultatą galima pasiekti keliais būdais su esama paslaugų teikimo sistema, tai galima rinktis alternatyvų būdą ir vėl tikrinti grįžtamąjį ryšį. Analizės modulio pateikiamas rezultatas: koreguotas sprendimas

realiu laiku ir tarnybinės informacijos grąžinimas į paslaugų serverio DB. Tarnybinės informacijos paskirtis, atliekant prognozę ir priimant valdymo sprendimą, patikslinti sprendimų priėmimo sistemos algoritmą ir pasiekti efektyvesnį valdymo rezultatą. Siektino rezultato nesutapimas su realiu yra galimas, kai aplinkoje yra nenumatytų veiksnių arba elektros energijos prietaiso galios valdymas ir prietaiso darbinė apkrova yra netiesiškai priklausantys dydžiai. Pavyzdžiui, analizuojant prietaisą ir nustačius 50% apkrovą, stebimas didesnis negu 50% galios sunaudojimas.

### **3.7.3 Komandų valdymo modulis**

Komandų valdymo modulio paskirtis valdymo sprendimą interpretuoti ir pritaikyti prie esamos sistemos įrangos. Šiame modulyje realizuotas komandų valdiklis, kuriame sukuriama ryšys su kiekvienu iš sistemos valdomu arba konfiguruojamu prietaisu. Komunikacija realizuojama priklausomai nuo valdiklio arba reguliatoriaus tipo. Jeigu sistema yra pakankamai didelė, gali neužtekti ryšio sąsajų arba jungčių, kuriomis būtų galima valdyti visus sistemoje esančius įrenginius. Tokiu atveju komandų valdymo modulį sudaro keli mazgai, kurie priskiriami valdyti vieną ar kitą aplinkos prietaisų grupę. Komandų vykdiklio ir valdomų įrenginių duomenų perdavimo tinklo taikymo sluoksnis aprašytas 2.3 skyriuje.

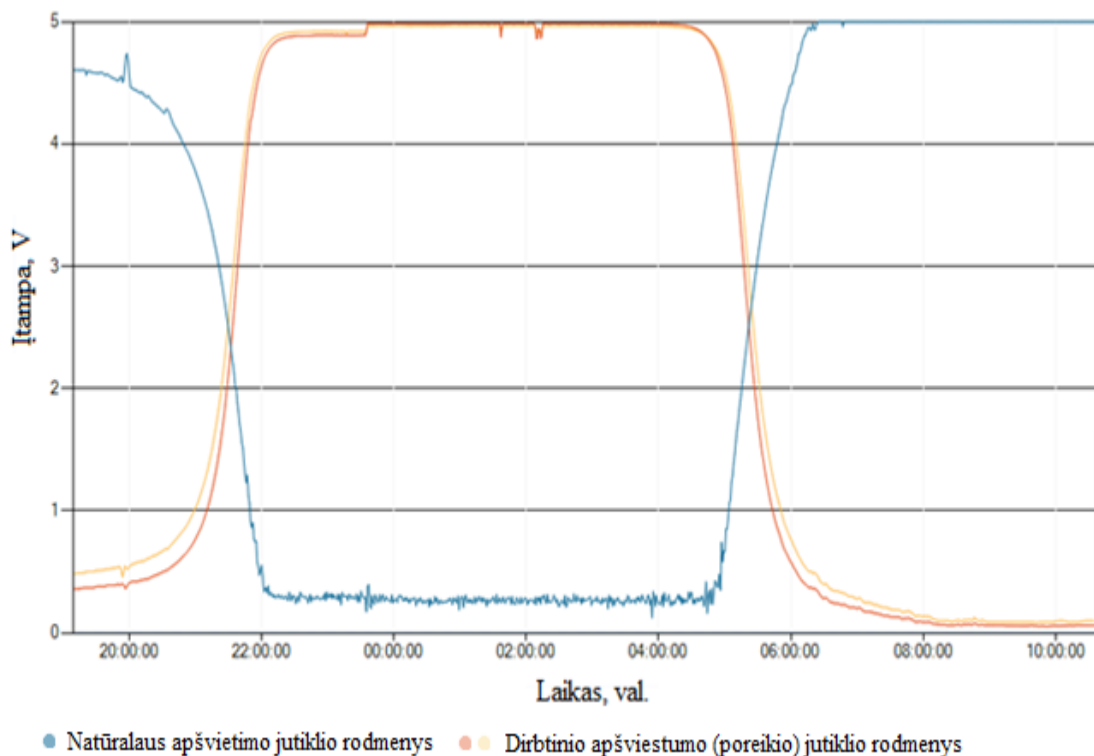
### **3.7.4 Dirbtinio apšviestumo valdymo posistemė**

Apšviestumas žmogaus aplinkoje turi atitikti nustatytą normą. Priešingu atveju susiduriama su komforto problemomis, pavyzdžiui akių nuovargiu arba akies dirginimu (Azmoon ir kt., 2013; Bielskis ir kt. 2013; Quarto ir kt., 2011; Zanolis ir kt. 2012). Išmanioji elektroninė paslaugų sistema turi turėti apšviestumo kontrolės posistemę, galinčią teikti apšviestumo valdymo paslaugas, suteikiant komforto mažiausiomis energijos sąnaudomis. Žmogaus aplinkoje apšviestumas gali būti aprašomas įvairiais modeliais. Galima nagrinėti atvejį, kai žmogaus aplinka yra ribota, pavyzdžiui vienas kambarys, tokiu atveju apšviestumas priklausys ne tik nuo dirbtinio šviesos šaltinio, tačiau ir nuo natūralios patalpos apšviestumo konkrečiame erdvės taške  $E_a(P)$ . Modeliui

(Zanoli ir kt., 2012) tirti buvo sukurta programinė įranga, galinti fiksuoti apšvietumą nurodytuose aplinkos taškuose, atlikti apšvietumo matavimą bei koreguoti dirbtinio šviesos šaltinio apšvietumą.

$$E_a(P) = \sum_{j=1}^2 \left[ \left| C_{c_j} \cdot E_{(ND_{gl})_j} + C_{r_j} \cdot E_{(NR_{gl})_j} \right| + \frac{\tau_j + V_j \cdot A_{gl_j} \cdot \sigma_{weighted}}{sum_{AREA} \cdot (1 - \sigma_{weighted})} \cdot E_{NAT_{gl_j}} \right] + \frac{I_L \frac{Lumen}{1000} \cos(\gamma)^3}{d^2} + \frac{Lumen \cdot \eta \cdot M \cdot P}{Sum_{AREA} \cdot (1 - \sigma_{weighted})}$$

Čia  $E_a(P)$  – aplinkos apšvietimas nagrinėjamame taške  $P(x,y,z)$  ( $lx$ ),  $E(ND_{gl})_j$  – natūralus difuzinis apšvietimas per langą ( $lx$ ),  $E(NR_{gl})_j$  – natūralus lange atspindėtas apšvietimas lange ( $lx$ ),  $E(NAT_{gl})_j$  – natūralus tiesioginis apšvietimas per langą ( $lx$ ),  $C_{mc}/C_{mr}$  – difuzijos ir refleksijos apšvietimas nagrinėjamame taške  $P(x,y,z)$  ( $lx$ ),  $I_L$  – dirbtinio apšvietimo šaltinis ( $cd/klm$ ),  $Lumen$  – šviesos srautas ( $lm$ ),  $\gamma$  – šviesos spinduliavimo nuolydžio kampas  $P(x,y,z)$  ( $^\circ C$ ),  $d$  – atstumas tarp apšvietimo šaltinio ir nagrinėjamo taško ( $m$ ),  $\sigma_{weighted}$  – sienų atspindžio koeficientas,  $sum_{area}$  – bendras atspindinčių sienų plotas ( $m^2$ ),  $\eta$  – šviesos šaltinio efektyvumas,  $M$  – aplinkos išlaikymo faktorius.

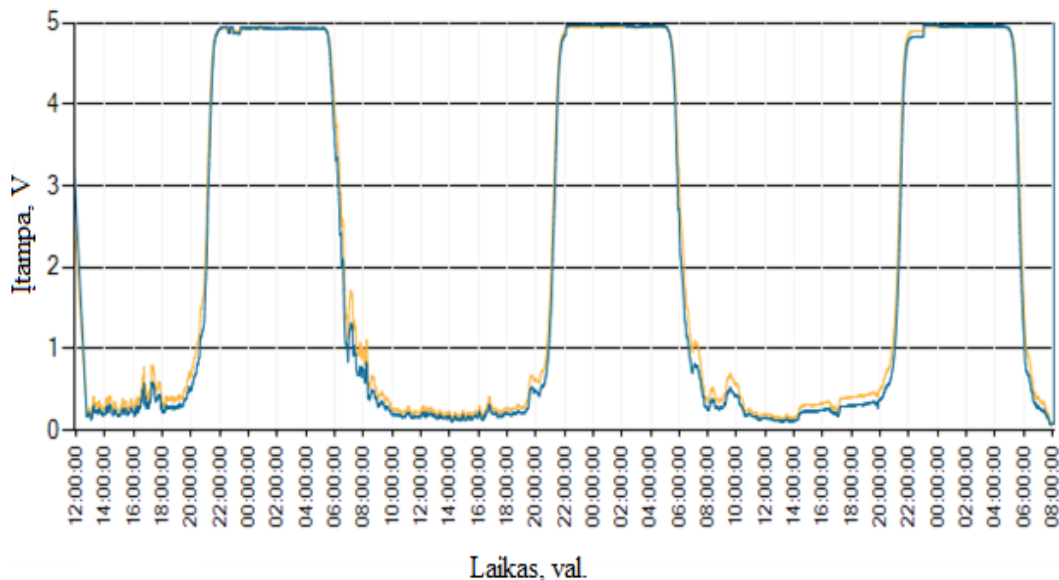


Šaltinis: sukurta autoriaus.

33 pav. Paros dirbtinio apšvietumo duomenys

Apšvietimas modeliuojamas pagal formulę  $E_a(P)$  atsižvelgiant į istorinius stebėjimų duomenis. Pastarieji duomenys gaunami surenkant duomenis koncentravimo sistemoje iš išmaniųjų jutiklių tinklo.

33-ame paveiksle pavaizduotas dirbtinio apšvietumo šaltinių poreikis. Y ašyje matavimo vienetai išreikšti įtampa, nes jutiklio gaunamo reikšmės buvo normalizuotos 0-5V intervale, kai 5V atitinka maksimalų apšvietumą, 0V – mažiausią. Iš grafiko matoma, kad dirbtinis apšvietumas, vertinant tik kiekybinius parametrus, visada yra atvirkščiai proporcingas natūraliajam apšvietumui. Dirbtinio apšvietumo poreikis gali keistis, priklausomai nuo aplinkos, kurioje jis panaudotas: skirtingas apšvietumas bus reikalingas gyvenamose patalpose, negu aplink gyvenamąją aplinką, kur šviesa gali būti naudojama kaip apsaugos priemonė arba kitais tikslais. Grafikas rodo, kad apšvietumo pasikeitimas iš dirbtinio į natūralųjį, atsižvelgiant vien tik į apšvietumo parametro reikšmes yra momentinis ir priklausomai nuo siektino funkcionalumo gali būti aprašomas apšvietumo modeliu, bei pritaikytas ateities duomenų prognozei atlikti.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

34 pav. Apšvietumo istoriniai duomenys

Stebint aplinkos natūralųjį apšvietumą be dirbtinio apšvietumo (34 pav.) galima įvertinti tikslias galimybes apšviesti aplinką nenaudojant dirbtinio



apšvietumo (galima nagrinėti kaip laiko eilutę). Duomenys gali būti panaudoti kai atliekamas automatinis dirbtinio apšvietimo valdymas, natūralaus apšvietimo atžvilgiu.

Aplinkos natūralaus apšvietumo jutikliai turi būti sumontuoti taip, kad dirbtinis apšvietimas nedarytų įtakos jutiklių duomenims, tačiau atspindėtų konkrečią situaciją ir šviesos panaudojimo galimybes. Šiuo atveju eksperimentuose naudojami du jutikliai, sumontuoti langų kairėje ir dešinėje kraštinėje per centrą (stebimoje patalpoje langai yra tik vienoje iš sienų).

Naudojant nagrinėjamos patalpos parametrus, apšvietumo modelio simuliacija buvo realizuota MatLab aplinkoje. Žemiau pateiktas kodo fragmentas:

```

    module = abs(Ccj * End_glj + Crj * Enr_glj);koef3 = I_L *
(Lumen/1000)*power(cos(gamma), 3);koef4 = Lumen*niu*M*P;divisor = sumArea *
(1 - sigma_weighted);
    if divisor == 0
    divisor = 1;
    end
    if distance == 0
    distance = 1;
    end
    X = [1, 2, 3, 5,7, 10,12.5, 15,20,25,30,35,40, 45, 50, 55, 60];[m,n]
= size(X);
    Y = zeros(n, 2);disp(Y);j = 0;illuminationRequired = 300;
    artificialLightCapability = koef4;
    for variableNaturalIllumination=1:n,
    j = j+1;
    Enat_glj = X(variableNaturalIllumination);
    koef2 = tau_j * Vj * Aglj * sigma_weighted * Enat_glj;
    natural = module + koef2/divisor;
    artificial = koef3/power(distance, 2) + koef4/divisor;
    Eap = module + koef2/divisor + koef3/power(distance, 2) +
koef4/divisor;
    Y(j, 1) = natural;
    %Y(j, 2) = artificial;
        lightNeeded = (illuminationRequired - natural);
    value = 0;

```

```

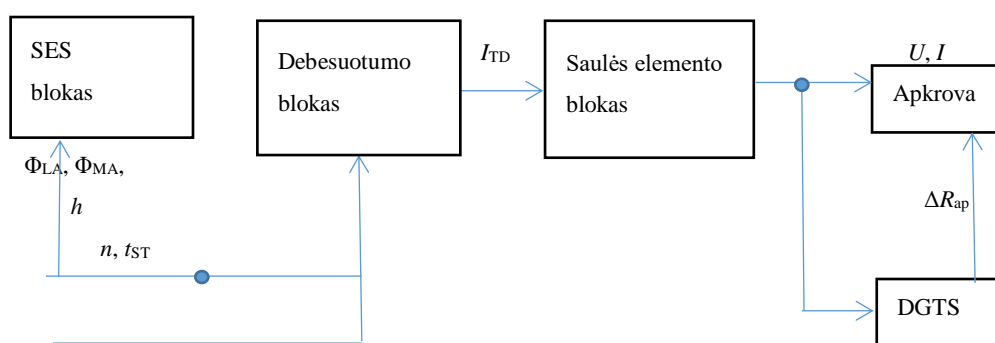
demand = lightNeeded*100/artificialLightCapability;
if demand > 100
    demand = 100;
end
if demand < 0
    demand = 0;
end
(Yj, 2) = demand;
End

```

čia algoritmo naudojami kintamieji atitinka kintamuosius iš formulės  $E_a(P)$ .

Programinė apšvietumo el. paslaugos posistemė gali stebėti aplinkos dirbtinio apšvietumo poreikį. Šis poreikis priklauso nuo natūralaus apšvietumo galimybių tuo laiko momentu.

Natūralaus apšvietumo momentiniuose duomenyse gali būti nagrinėjamas debesuotumas. Pavyzdžiui, sekant didžiausią galios tašką saulės elementuose (sutrumpintai DGTS) debesuotumo įvertinimas padeda atrasti maksimaliai efektyvų galios panaudojimą tuo laiko momentu.

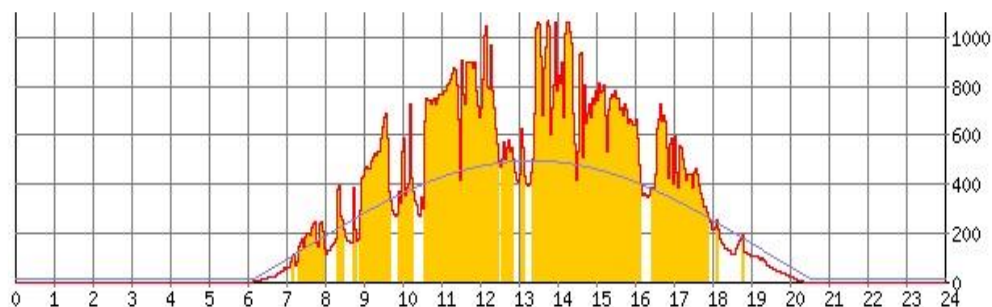


Šaltinis: (Vasarevičius ir kt., 2012).

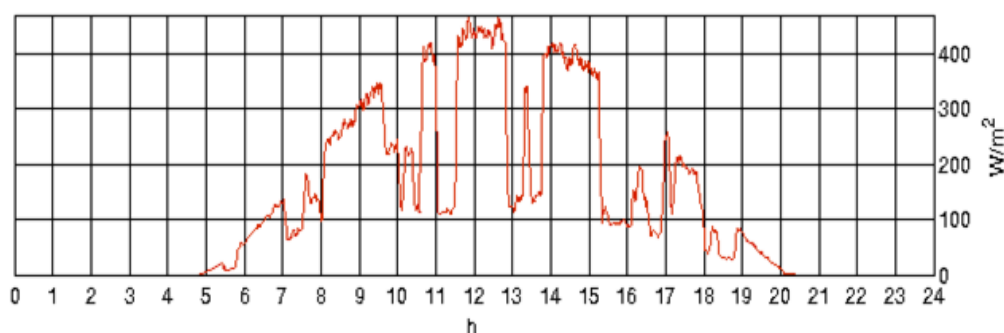
35 pav. Matematinio modelio, skirto DGTS algoritmų tyrimui struktūrinė schema

Čia vietovės geografinės ilgumos ir platumos koordinatėmis  $\Phi_{LA}, \Phi_{MA}$ ,  $h$  – aukštis virš jūros lygio,  $n$  - dienos eilės numeris metuose,  $t_{ST}$  – paros laikas ir  $v_m$  - debesų slinkimo greitis. Dangaus debesuotumas imituojamas debesuotumo bloke slopinant signalą  $I_T$  – saulės srautą. Debesuotumo bloko išėjimo signalas  $I_{TD}$  siunčiamas į saulės elemento bloką.  $U$  – įtampa,  $I$  – srovė,  $I_{TD}$  – debesų

poveikis sistemai, dgts - didžiausios galios taško sekimas.  $R_{ap}$  – saulės elemento apkrovos varža. (Vasarevičius ir kt., 2012). Siūlomas matematinis didžiausio saulės energijos srauto galios taško saulės elementuose modelis (35 pav.) ir atliekami stebėjimai, kaip galios srauto duomenys pasiskirsto per tam tikrą laikotarpį (36 pav.).



a)



b)

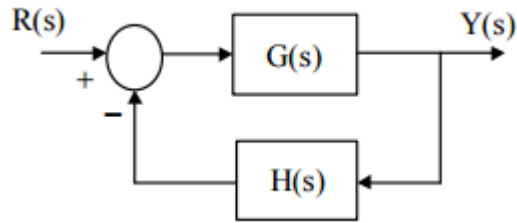
Šaltinis: (Vasarevičius ir kt., 2012).

36 pav. SES kitimas paroje debesuotą dieną

36-ame paveiksle pavaizduotas saulės energijos srautas: a) kitimas išmatuotas piranometru ir b) gautas modelio išėjime. Remiantis šiuo modeliu galima įvertinti, kokio efektyvumo saulės panaudojimas įmanomas konkrečioje situacijoje tam tikru laiko momentu.

### 3.7.5 Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio užtikrinimo struktūra

Įprastas grįžtamojo ryšio sprendimas (37 pav.) susideda iš įėjimo  $R(s)$ , tiesioginio kelio  $G(s)$ , grįžtamojo ryšio kelio  $H(s)$  ir išėjimo  $Y(s)$  (MatLab, 2016).

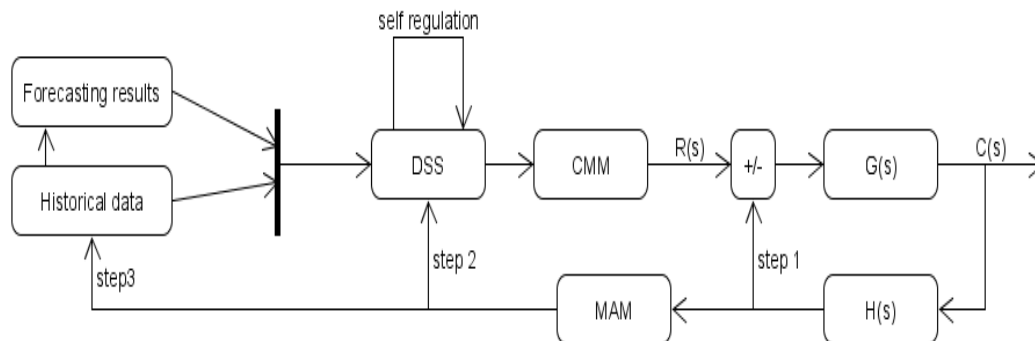


Šaltinis: (Mustafa M. A., 2013).

37 pav. Uždaro ciklo grįžtamojo ryšio sistema

Tikslesnis valdymas bus atliekamas, kai įėjimas yra kiek galima panašesnis į išėjimą:

$R(s) - Y(s) < \varepsilon$ . Čia  $\varepsilon$  – paklaidos įvertis. Pritaikius sprendimą, skirtą įrangai valdyti prie energijos valdymo sistemos, atsiranda duomenų perdavimo ryšys tarp komandų valdymo modulio (CMM) ir įprastinio grįžtamojo mechanizmo įėjimo  $R(s)$ , MAM – valdymo analizės modulis.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

38 pav. Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio struktūra

Pritaikius grįžtamojo ryšio valdymo principą (38 pav.) galima koreguoti sprendimo priėmimo sistemos parametrus, kurie leistų nustatyti tikslesnį sprendinį. Trečiame žingsnyje perduodamos korekcijų reikšmės į paslaugų serverių duomenų bazę ir įrašomos prie atitinkamų istorinių duomenų įrašų. 2 ir 3 žingsniai yra valdomi per valdymo analizės modulį (MAM), kuris skirtas analizuoti priimto sprendimo rezultatą.

### 3.7.6 Galios stebėsenos ir valdymo sistemos moduliai

Jeigu išmanaus būsto valdymo architektūra nagrinėjama abstrakčiai, neatsižvelgiant į programinę ir aparatinę sistemos struktūrą, stebėsenos ir

valdymo daiktų internete sistemos yra tarpusavyje panašios. Holistinis požiūris į išmanaus būsto stebėsenos ir valdymo sistemą pavaizduotas 39-ame paveiksle.

Sistemos pagrindinis dėmesys sukauptas į vartotoją. Tai žmogus, esantis išmaniojoje aplinkoje ir gaunantis paslaugas, siekiantis gauti komforto, efektyvių elektros energijos sąnaudų išteklių. Renkami aplinkos būsto parametrai – tai aplinkos techninės charakteristikos, kurias apima išmanūs, poveikį sistemos rezultatams turintys daiktai su integruotais jutikliais bei valdikliais. Taip pat žinių bazėje naudojami išmaniųjų daiktų išdėstymo, būsto matmenų ir kiti parametrai, kurie gali būti įtraukti tikslesniam sprendimui priimti. Aplinkos, t.y. išmanaus būsto stebėjimai, tai iš aplinkos kas tam tikrą numatytą laiko intervalą gaunami matavimai, vykdomi realiu laiku. Aplinkos vartotojas gali sudaryti prietaisų panaudojimo prioritetus, skiriamo biudžeto ribojimus ir nurodyti siekiamą komforto lygmenį.

Vartotojo taisyklės sudaromos įvertinant kiekvieną vykdomą stebėjimą. Įvertinant stebėjimus remiamasi neraiškia logika. Išmaniaja elektronine aplinka vadinama vieta, kurioje vykdomi stebėjimai, matavimai ir gaunamas sistemos parinktas atsakymas pagal realaus laiko aplinkos parametrus (situaciją). Stebėsenos užduotis vykdoma naudojantis jutiklių tinklais – mažo našumo įterptinėmis sistemomis, skirtomis atlikti matavimą arba momentinius stebėjimus ir yra sujungtos pagal poziciją erdvėje, fizinį tinklo mazgo adresą, pagal loginę struktūrą. Jų duomenis renka tinklo mazgų valdiklis, koordinatorius – skirtas užtikrinti, kad jutiklių tinklas būtų veiksnus: šis įrenginys stebi jutiklių tinklą, valdo duomenų srautus. Jutiklių duomenų koncentratorius – tarpinė pirminių duomenų saugojimo stotelė tarp tinklo mazgų valdiklio ir ryšio sąsajos. Jo paskirtis – užtikrinti duomenų saugojimą iki išsiuntimo į paslaugų serverius. Kai duomenys sukonzentruoti, juos reikia persiųsti per ryšio sąsają – įterptinių sistemų tinklo ir debesies technologijų paslaugų vartus, (maršrutizatorių). Iš jutiklių duomenų koncentratoriaus duomenys keliauja į paslaugų serverį – debesų kompiuterijos technologijomis realizuotą paslaugų sistemą, skirtą aptarnauti el. energijos valdymo sistemos paslaugų klientus. Siekiant užtikrinti pakankamą duomenų pralaidumą tinkle,

gali būti naudojamas užduočių valdymo modulis. Tai srauto valdiklis, tinklo užduočių koordinatorius. Jis prioretizuoja ir sudaro užduočių eilę nepertraukiamam kliento duomenų perdavimui užtikrinti.

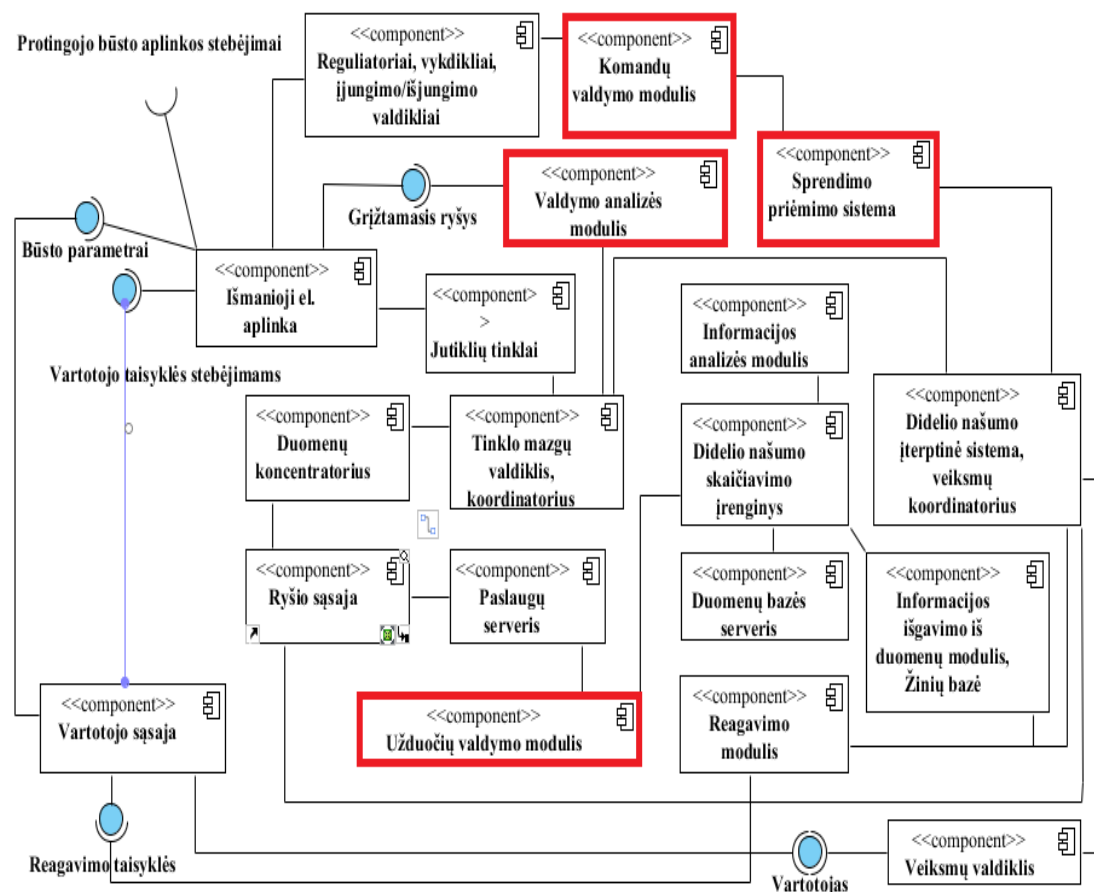
Esant dideliame duomenų kiekiui iš jutiklių tinklų ir naudojantis prognozės algoritmais, reikalingas didelio našumo skaičiavimo įrenginys – kompiuteris, kuris turi galimybę naudoti informacijos analizės programinę įrangą: statistinius įrankius, matematinės aplinkas ir kitą skaičiavimams reikalingą įrangą (DB serveris, atpažinimo algoritmai). Informacija analizuojama modulyje, kuris naudoja statistinius įrankius, matematinės skaičiavimo aplinkas ir kitą skaičiavimams reikalingą įrangą. Informacijos išgavimo iš duomenų modulis, žinių bazė naudojama elektros energijos sąnaudų valdymo posistemėje ir išgauna reikiamą informaciją, kurią įvertinus galima priimti sprendimus efektyvesniam el. energijos panaudojimui.

Pagrindinė duomenų kaupykla - duomenų bazės serveris, kuriame saugoma paslaugų duomenų bazė. Duomenų bazėje laikomi ne tik jutiklių tinklų sukaupti duomenys, bet ir ateities prognozės rezultatai.

Reagavimo modulis skirtas nustatyti reagavimo sąlygoms į el. energijos sąnaudų analizės rezultatus, su galimybe pasirinkti reagavimo būdą. Reagavimo modulis atsakingas ir už išgautos informacijos iš duomenų persiuntimą automatiniam el. energijos sąnaudų valdymui. Reagavimo modulyje nagrinėjamos (angl. *parse*) vartotojo apibrėžtos reagavimo taisyklės. Taisyklėse būtina aprašyti, į kokias sąlygas ir kokių veiksmu reaguoti. El. paslaugų valdymo architektūroje reikalinga didelio našumo įterptinė sistema, veiksmų koordinatorius – komunikacinis ir informacijos surinkimo iš reagavimo modulio mazgas, skirtas koordinuoti veiksmus (iš reagavimo modulio, veiksmų valdiklio). Siekiant autonomiškai priimti prietaiso valdymo sprendimą, naudojama žiniomis remiama sprendimo priėmimo sistema. Tai sistema, kurios parametrai ir elektros energijos sąnaudų rezultatų informacija leidžia programiškai svarstyti konkretų momentinį prietaiso ir energijos sąnaudų valdymo scenarijų. Prietaisų valdymas atliekamas komandų valdymo modulyje – įterptinėje sistemoje, kai modulis gauna sprendimo priėmimo sistemos rezultatą – komandą, kurioje nurodyta,

koku būdu ir kokiomis priemonėmis pasiekti reikiamą sąnaudų reguliavimą. Prie išmanaus būsto prietaisų prijungiami reguliatoriai, skaitmeniniai valdikliai, įjungimo/išjungimo valdikliai – techninė įranga, gaunanti technines interpretuojamas komandas iš komandų valdymo modulio, skirta efektyviam išmaniųjų daiktų valdymui (Song ir kt., 2008). Valdant aplinkos parametrus, gaunamas grįžtamasis ryšys - daiktų valdymo stebėjimas, kuris perduodamas valdymo analizės moduliui.

Valdymo analizės modulis skirtas užtikrinti greitą (nenaudojant paslaugų serverio bei didelio našumo analizės serverių) atsaką į grįžtamąjį ryšį. Naudojant šį modulį galima išvengti nenumatytų situacijų. Esant nenumatytoms situacijoms, informacija apie scenarijų gali būti perduota didelio našumo įterptinei sistemai, veiksmų koordinatoriui su tikslu patikslinti analizės ir prognozavimo algoritmus.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

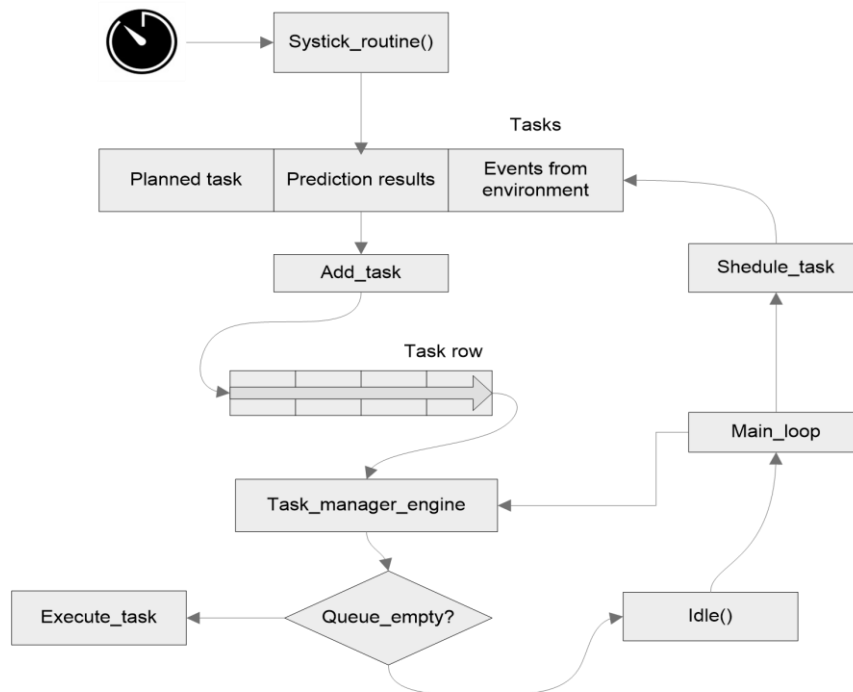
39 pav. Elektros energijos išteklių stebėsenos ir sprendimų priėmimo sistema

Siūloma architektūra apima visus sistemos komponentus - nuo išmaniojo būsto aplinkos parametrų surinkimo, būsto parametrų įvertinimo ir vartotojo taisyklių pritaikymo iki galios prietaisų valdymo pagal sistemos priimamus sprendimus. 39-ame pav. vaizduojami visi komponentai, kurie turėtų būti panaudoti, kuriant išmanaus elektros energijos išteklių valdymo ir stebėsenos sistemą. Paryškinti stačiakampiai rodo šio darbo autoriaus siūlomos architektūros komponentus, kurie leidžia pasiekti automatinį sprendimo priėmimą ir užtikrina užduočių išskirstymą tarp paslaugų serverių.

### **3.7.7 Užduočių dispečerizavimas**

Užduočių eilės sudarymas vykdomas mikrovaldiklio branduolyje yra nuoseklus procesas kiekvienam branduoliui (40 pav.). Užduotys, kurias įmanoma išskaidyti, padalinamos atskirais fragmentais į atomines užduotis. Valdiklyje laikmačiais skaičiuojant laiką sudaromas mechanizmas, kurio metu valdiklis arba vykdo užduotį, arba atėjus numatytam laiko intervalui, užtikrina, kad bus pradėta tolimesnė užduotis. Pagrindinis mechanizmo branduolys - `Systick_routine()` funkcija, kuri iškviečiama sinchroniškai, kas numatytą laiko intervalą. Funkcijos vykdymo metu galima panaudoti papildomus parametrus, pavyzdžiui duomenų prognozės rezultatus (angl. *prediction results*), ir galima įvertinti įvykių iš sistemos būsenas (angl. *events from environment*). Šių duomenų pritaikymas disperečerizuojant užduotis, leidžia greitai reaguoti į pasikeičiančią sistemos būseną ir panaikinti nebereikalingas užduotis, jeigu aplinkos parametrų įvertinimas parodė, kad šių užduočių nebereikia. Bet kuriuo atveju sudaroma nuosekli užduočių vykdymo eilė, o jų vykdymas atliekamas paprogramėje `Task_manager_engine()`. Elementu *Main\_loop* apibrėžiamas mikrovaldiklyje veikiantis begalinis kodo vykdymo ciklas. Realizacijos ypatybės yra susijusios su konkrečiais naudojamais valdikliais, todėl šiame darbe paprogramių branduolys neapibrėžtas ir aprašomas tik principinis užduočių dispečerizavimo vykdymas.





Šaltinis: sukurta autoriaus.

40 pav. Užduočių dispečerizavimas įterptinėje sistemoje

### 3 skyriaus išvados

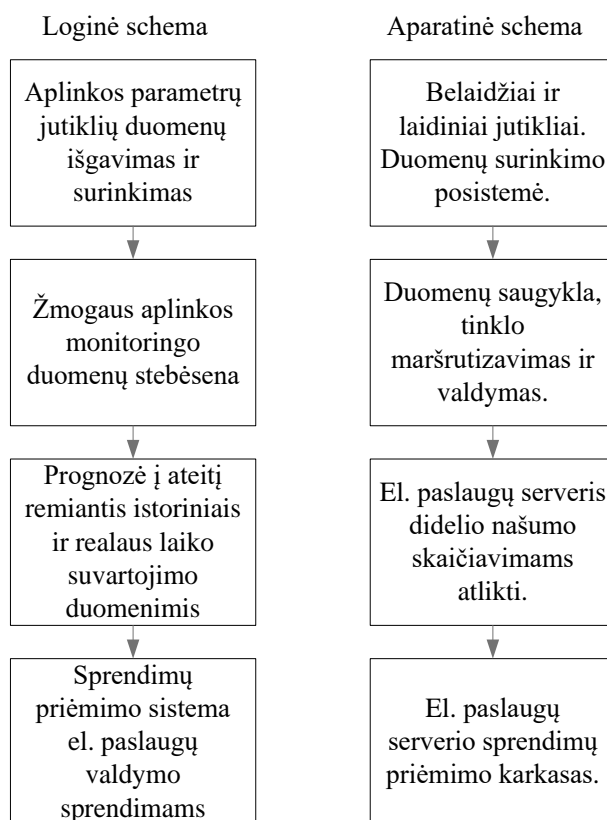
- 1) Kai aplinkos parametrų duomenims reikia priskirti kategorijas, kurios iš anksto neapibrėžtos, galima naudoti algoritmus pritaikytus daugiamačiams masyvams. Kategorijos nustatymas gali būti panaudotas kaimyniniams būstams sulyginti, elektros energijos išteklių sprendimams priimti. Išmanaus valdymo architektūra sudaryta iš modulių, kurie apibrėžti apžvelgus kitų autorių siūlomus sprendimus paslaugų sistemoms kurti, bei šiame darbe siūloma naudoti kelis modulius, skirtus prognozei su užduočių planui įgyvendinti, bei sprendimų priėmimo sistemos veikimui užtikrinti. Išskiriami komandų valdymo ir valdymo analizės modeliai, nes jų naudojimas būtinas išsiaiškinti, kaip sprendimas valdyti el. paslaugos prietaisą pasiteisino ir ar buvo pasiekta norimų rezultatų.
- 2) Trijų žingsnių grįžtamojo ryšio struktūra leidžia pasiekti, kad sistemos atsakas būtų gautas į tris sistemos dalis: atliekant įrenginio valdymą realiu laiku, korekcija perduodama į sprendimų priėmimo sistemą ir į duomenų bazės serverį tolimesnei analizei.
- 3) Sprendimų priėmimo sistemos realizacija veikia remiantis baigtinių būsenų automatu, kuriame apibrėžtas dinamiškas būsto aplinkoje esančių prietaisų valdymas ir atsižvelgiama į energijos suvartojimo prognozės rezultatus. El. energijos valdymo sistemos architektūra, kurioje apibrėžti valdymo analizės, komandų valdymo ir sprendimo priėmimo moduliai, sudaro galimybę kurti autonomiškai veikiančią sistemą.

## 4 AUTONOMINĖS ELEKTROS ENERGIJOS VALDYMO SISTEMOS EKSPERIMENTINIO TYRIMO REZULTATAI

Šiame skyriuje nagrinėjami prognozės algoritmai, naudojant energijos išteklių valdymo sistemos stebėsenos duomenis. Prognozės į ateitį duomenims patikslinti siūlomas užduočių vykdymo planas Kalmano filtro ir ARMA modelio algoritmų papildymui. Atliekami išmanaus būsto energijos valdymo sistemos bandymai ir pateikiami prognozės bei autonominio valdymo rezultatai.

### 4.1 Elektros energijos valdymo sistemos eksperimentinio tyrimo metodika

Elektros energijos išteklių kaupimo, stebėsenos ir valdymo sistemoje, siekiant užtikrinti autonomiškumą, reikia remtis prognozės rezultatais. Prognozės algoritmų į ateitį pritaikymas išmaniojo būsto architektūroje leidžia išskirstyti numanomas energijos sąnaudas ir įvertinti realaus laiko momentinį panaudojimą.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

41 pav. Loginė ir aparatinė energijos valdymo sistemos struktūra

Eksperimentas skirtas išsiaiškinti matematinių modelių ir netiesinių algoritmų prognozės pritaikymą įterptinėse sistemose, siekiant gauti grįžtamąjį ryšį valdymo sprendimams patikslinti. Eksperimento metu nagrinėjamas ARMA modelio ir Kalmano filtro algoritmų rezultatas elektros energijos sąnaudų prognozei atlikti. Siekiama patikslinti naudojamą prognozės algoritmą atliekant pirminį duomenų apdorojimą remiantis užduočių vykdymo planu. Eksperimente naudojami ARMA modelio, Kalmano filtro ir šio filtro atnaujinimo prognozės algoritmai.

Eksperimento metu stebėta sistemos prototipo elgsena, kai sistema atsižvelgia į dirbtinį ir natūralųjį apšviestumą nagrinėjamoje aplinkoje. Sistema turi stabilizuoti įrenginio valdymą pagal poreikį, esant aplinkos parametrų pokyčiams. Siekiant užtikrinti sistemos autonomišką darbą, jautikliai turi veikti dinaminės topologijos mobiliajame tinkle, kai prietaisų paskirtį ar veikimo metu vykdomą konfigūraciją galima atlikti dinamiškai.

Siekiant atlikti jautiklių duomenų surinkimą ir atlikti elektros energijos sąnaudų prognozę, jautiklių duomenų surinkimo duomenų bazė (11 pav.) buvo papildyta prognozės rezultato (ForecastingData) išsaugojimu, įvertinant grįžtamojo ryšio rezultatą (42 pav.).

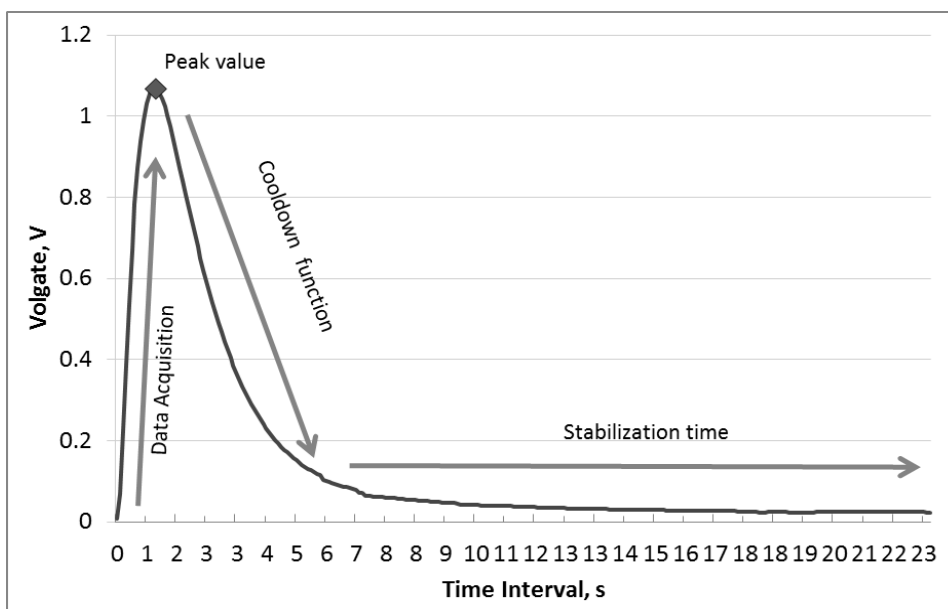


Šaltinis: sukurta autoriaus.

42 pav. Elektros sąnaudų prognozės rezultatas duomenų bazėje

## 4.2 Aplinkos oro kokybės jutiklių duomenų nuskaitymas

Aplinkos kokybės parametrų duomenys yra svarbūs elektros energijos valdymui, nes atsižvelgiant į juos galima valdyti šildymo ir vėdinimo sistemas, tuo pačiu užtikrinti apsaugą nuo kenksmingų aplinkoje išsiskyrusių dujų. Šiame darbe tiriant aplinkos kokybės parametrus siekiama išsiaiškinti kaip jutikliai jungiami į masyvus ir kaip apdorojamos momentinės bei pikinės reikšmės. Platus asortimentas aplinkos kokybei tirti skirtų jutiklių didina naudojamų technologijų įvairovę. Aplinkos kokybės jutikliai dažnai turi pakaitinimo elementą, todėl reikia nagrinėti ir to kaitinimo elemento charakteristikas, darančias įtaką duomenų nuskaitymo būdui panaudojant mikrovaldiklius. Temperatūros ir drėgmės jutikliai dažnai būna kombinuojami viename korpuse, kuriame duomenų surinkimui bus naudojamos atskiros kojelės arba naudojami duomenų perdavimo protokolai. Surinkti vieno jutiklio rodmenis nepraktiška, tai naudojama tiriant konkretaus parametro vertėms nustatyti laboratorinėmis sąlygomis. Renkant kelių jutiklių rodmenis, būtinas oro kokybės ir kitų jutiklių kombinavimas į masyvus. Kuriant aparatinį sprendimą, reikia vengti parazitinės įtakos tarp jutiklių. Pavyzdžiui, nesukurti aukštesnės temperatūros įvertinimo aplinkoje temperatūros jutikliui, šildant dujų ar kitos paskirties jutiklio kaitinimo elementą. Darbe buvo tiriami MQ serijos dujų jutikliai. Sugrupuojant charakteristikas galima išskirti pagrindinius bruožus, kurie nurodo duomenų nuskaitymo ir panaudojimo principus. Kiekvienas jutiklis turi šildymo elementą, kuris naudoja galią, didesnę nei 350mW. Rekomenduojama jutiklių darbinė temperatūra turėtų siekti 20°C, aplinkos temperatūrai esant -20 - 50°C ribose. Tiksliausi duomenys gaunami, kai ore yra 21% deguonies, drėgmės lygis turi būti 65 – 95%. Pagal rekomendacijas, dujų jutikliai stabilizuoja savo rodmenis įkaitus pakaitinimo elementui ir nusistovėjus jo darbinei temperatūrai (43 pav.) Pirmojo jutiklio pirminio pakaitinimo laikas yra numatomas ne mažiau kaip para ir gali siekti 48 valandas, atsižvelgiant į aplinkos savybes. Vėliau jutikliai gali stabilizuotis per kelias minutes. Šios šildymo procedūros yra reikalingos norint sukalibruoti konkretų jutiklį užduočiai, kurioje būtina atsakyti į klausimą, kokia tiksli dujų koncentracija yra nagrinėjamoje aplinkoje.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

43 pav. Momentinės reikšmės stabilizavimosi laikotarpis stebėsenos sistemoje

Nagrinėjant įterptinės paslaugos aplinkos kokybės duomenų surinkimo principą (Madisetti ir kt., 2009), duomenų kalibravimas nebuvo atliekamas, todėl oro kokybės įvertinimas gali turėti sistemine paklaidą, kuri bus tiesiogiai proporcinga nuskaitytų reikšmių dydžiui, todėl duomenys po normalizavimo atsižvelgiant į kitų jutiklių rodmenis, tinka gauti pirminius duomenis išmanaus matuoklio prototipui kurti. Darbe nagrinėtų dujų jutiklių rodmenys išgaunami per A arba B išvadus, tarp kurių kinta varža pagal dujų koncentraciją aplinkoje. Darbe kiekvienas jutiklis jungiamas nuosekliai su derinamu rezistoriumi, kad būtų galima atrasti platesnį matuojamų analoginių reikšmių intervalą, kuriame reikšmių tikslumas didžiausias. Atskiros sistemos komponentės analizuojamos naudojantis STM32F103 mikrovaldikliu, kuris turi 2 12bit 1uS analoginius/skaitmeninius keitiklius, kuriuos galima naudoti per 16 kanalų. Atsižvelgiant į pasirinktą valdiklį ir poreikį, galima ieškoti mikrovaldiklio, turinčio multiplekserinius analoginius keitiklius, pavyzdžiui, kaip Atmega šeimos valdikliuose, arba rinktis greitesnius, kelis keitiklius turinčius valdiklius.

Aplinkos kokybės jutikliams nebūtina matuoti pastovaus analoginės reikšmės rezultato, kol jis nepasiekia slenkstinės reikšmės. Siekiant gauti tik piko (peak) reikšmę, reikia aktyvuoti programinį trigerį ir laukti aukščiausio

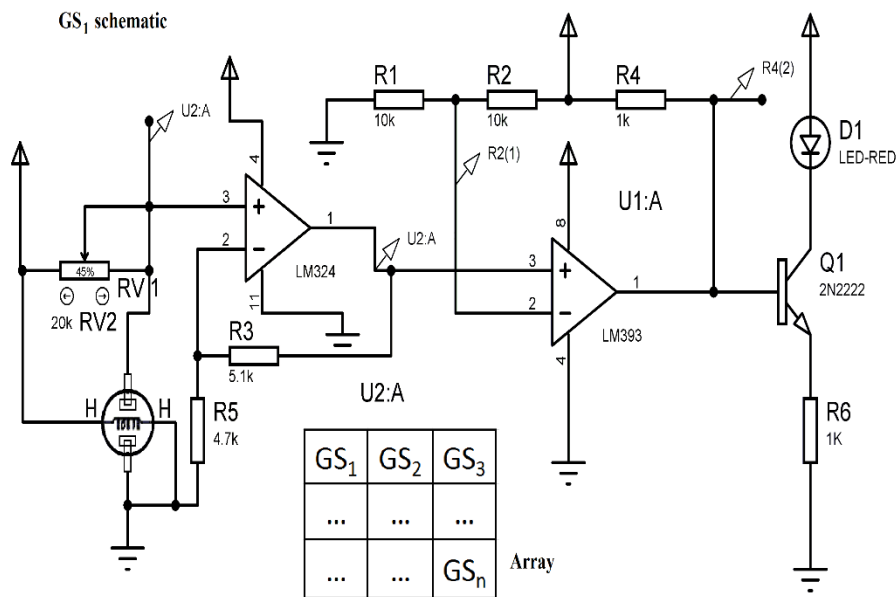
keleto reikšmių vidurkio. Dujos aplinkoje išsisklaido ne iš karto. Jų išsisklaidymas matomas ir analoginiame kanale, su kuriuo registruojama momentinė reikšmė. Renkant momentines reikšmes po pikinės reikšmės, gaunama stabilizavimo (cooldown) funkcija (4 pav.), kuri parodo priklausomybę tarp laiko ir momentinės įtampos tarp jutiklio ir paderinamo rezistoriaus. Buvo atliekami bandymai kelis kartus kas minutę purškiant atsitiktinį dujų kiekį, renkamos momentinės matavimų reikšmės ir kaupiamos MatLab aplinkoje. Atlikus interpoliavimą buvo ieškotos konkrečių matavimų stabilizavimo funkcijos. Pastebėta, kad nors ir koks būtų fiksuojamas dujų kiekis, išsisklaidymas vyksta sparčiai, kol galiausiai pamažu stabilizuojantis įsivyrėja pirminė aplinkoje fiksuota reikšmė.

Nuo programinio trigerio aktyvavimo stadijos iki pirminės aplinkoje fiksuotos reikšmės grįžimo buvo stebėtas programiškai matuojamas praėjęs laiko tarpas, kuris buvo tarp 10 – 30 sekundžių. Reikia atkreipti dėmesį, kad į pirminę būseną momentinė reikšmė gali ir negrįžti, todėl programiškai reikia aprašyti algoritmą, kuris įvertina momentą, kada grįžtama prie stabilios pirminės būsenos. Įvertinus ilgą dujų koncentracijos reikšmės matavimo trukmę, reikia duomenis rinkti tik kas 1 – 5 minučių intervalą. Galima kaupti ir tarpinius momentinius duomenis, tačiau tuo atveju būtinas žmogaus įsikišimas, duomenų įvertinimas ir antrinis apdorojimas.

Tačiau naudojant sukurtą matavimo prototipą jutiklių tinkle, reikia įvertinti, kad temperatūra, atmosferos slėgis ir kiti reikiami aplinkos parametrai būtų matuojami ir duomenys renkami visa laiką. Temperatūros jutikliai, atsižvelgiant į duomenų apsikeitimo technologiją, gali būti analoginiai ir naudoti dar vieną analoginį kanalą, tačiau įvertinus, kad el. paslaugų tiekimo sistema gali būti naudojama su įvairių gamintojų įranga, galima naudoti skaitmeninius jutiklius. 1-wire 18B20 jutiklis turi puikias charakteristikas ir tinka oro kokybės matavimui atlikti, nes jo aukštas tikslumas ir platus matuojamų reikšmių intervalas. Siekiant užtikrinti matuoklio ir dujų jutiklių kaitinimo elementų mažesnę temperatūros įtaką temperatūros jutiklio matavimui, jis buvo pagal

galimybes atskirtas kuo toliau nuo paties aparato. Visi jutikliai buvo išoriškai matomi (angl. *external*) ir tiesiogiai kontaktuojantys su aplinka.

Oro kokybės matavimo prototipo spausdintinė plokštė buvo panaudota sudaryti dujų jutiklio masyvui iš trijų MQ serijos jutiklių (5 pav.) Joje naudojami įtampos lygintuvai (angl. *comparator*), siekiant stebėti įtampos pasikeitimus ir tiksliau įvertinti aplinkos savybes. Pavaizduota schema (44 pav.) buvo išbandyta simulatoriuje. Ji parodo vieno dujų jutiklio prijungimą prie bendros dujų jutiklio masyvo plokštės. Apšvietumo jutikliai integruoti išmaniajame būste dirbtiniam ir natūraliam apšvietimui matuoti, kiekvienas turėjo atskirą realizaciją, kad būtų galima užtikrinti mobilumą eksperimentų metu.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

44 pav. Jutiklio GS1 integravimo į masyvą pavyzdys

Atsižvelgiant į gamintoją ir modelį, jutikliai valdomi skirtingais duomenų perdavimo būdais (ADC, SPI, I2C ir kt.). Nagrinėjamos sistemos atveju, šie duomenys renkami mikrovaldikliu. Momentiniai matavimų duomenys kaupiami koncentravimo įrenginio mikrovaldiklio viduje (SRAM) ir esant poreikiui perduodami į derinimo terminalą per USART kanalą. Esant tam tikram duomenų kiekiui, duomenys iš laikino buferio perkeliama į SPI Flash atmintinę (SST25VF040B), į kurią telpa 4 mbit informacijos. Koncentratoriuje bandymo metu buvo numatytos dvi pagrindinės duomenų išsiuntimo į duomenų bazės



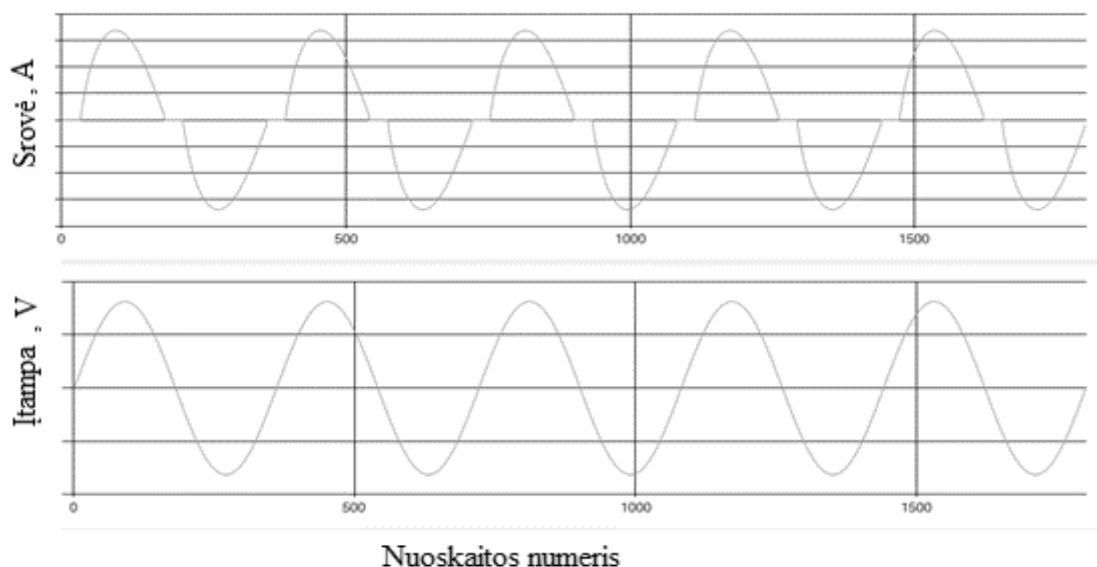
serverį sąsajos. Tokia dviejų ryšio sudarymo būdų realizacija suteikia papildomo ryšio su duomenų baze serveryje pertekliškumo. Kai koncentratorius veiktavo be ryšio su duomenų bazės serveriu, jo mikrovaldiklis išorinėje atmintinėje galėjo kaupti iki 2 savaičių eksperimentinės aplinkos matavimų, kurie renkami vieną kartą per minutę. Tai sudaro iki 20000 duomenų taškų. Duomenų bazės serverio paslauga, skirta saugoti oro kokybės matavimo duomenis, pritaikyta duomenų priėmimui iš nRF24L01 ir NM7010B+ modulių per programiškai realizuotą tarpinį komunikacinį imtuvą. Ši paslauga pritaikyta vienu metu priimti daugelio matuoklių surinktus duomenis ir toliau darbe naudojama apšviestumo duomenims kaupti. Jeigu naudojamas bevielis duomenų perdavimo standartas palaiko tik vieną siųstuvą ir vieną imtuvą, vienu metu galima gauti duomenis tik iš vieno siųstuvo, todėl platesniam sistemos panaudojimui, šią posistemę reikėtų prijungti prie globalaus interneto tinklo naudojantis daiktų interneto galimybėmis arba kiekvienam jutiklių masyvui sukurti po atskirą kombinuotą jutiklių duomenų surinkimo prietaisą. Prototipo duomenų persiuntimas veikia šiuo principu: siųstuvai siunčia tarnybinį paketą su jutiklio identifikacija, ir prašo leidimo siųsti duomenis. Gavęs patvirtinimą iš serverio, siųstuvai pradeda duomenų siuntimą. Kai visi duomenys persiunčiami, jutiklis informuoja serverį apie duomenų siuntimo pabaigą ir el. paslaugų serveryje užfiksuojamas sėkmingas šio prietaiso duomenų priėmimas – serveris laukia kitų prietaisų prisijungimo. Ethernet paketais siunčiami duomenys gali būti priimami lygiagrečiai iš kelių elektroninės paslaugos koncentravimo įrenginių, kadangi kiekvieno jutiklio identifikacija vyksta naudojant unikalų adresą.

### **4.3 Elektrinio įrenginio valdymo integracija į energijos valdymo sistemą**

Nagrinėjant galios elektronikos energijos sąnaudas ir renkant suvartojimo duomenis realiu laiku buvo įvertinta, kaip atliekamas galios reguliavimas. Norint valdyti kintamą galią naudojantį prietaisą, renkami momentiniai srovės ir įtampos duomenys ir jie analizuojami. Iš momentinių reikšmių nustatomas galios koeficientas ir kreivių taškai, kai reikšmė lygi nuliui, taip pat apskaičiuojama galia:

$$P = UI \cos\varphi$$

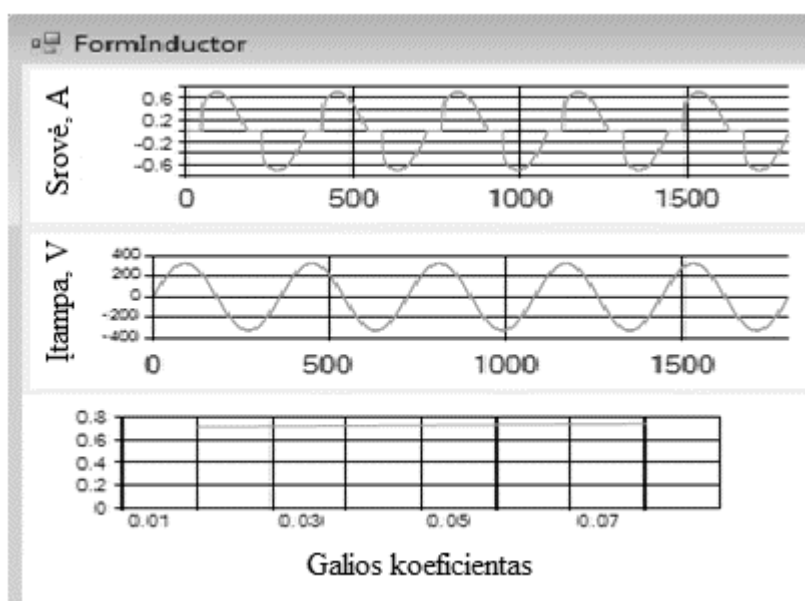
čia P aktyvioji galia, U įtampa, I srovė,  $\varphi$  – galios koeficientas.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

45 pav. Galios koregavimas naudojant induktyviąją ritę

Įtampos kreivė pavaizduota 45 paveikslo apatinėje kreivėje šalia reguliuojamos srovės viršutinėje kreivėje. Srovės sinusoidė atliekant valdymą nėra taisyklinga. Joje yra atkarpos, kuriose srovės reikšmė yra nulis. Šie iškreipymai neleidžia pasiekti optimalaus galios panaudojimo.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

46 pav. Galios koeficiento didinimas

Vienas iš reguliavimo būdų yra į valdymo grandinę įtraukti induktyvumą, kurio parinkimas priklauso nuo naudojamos galios. Siekiant atlikti eksperimentą su ritės parinkimu, buvo realizuotas simulatorius valdyti el. energijos prietaisus, parenkant skirtingas induktyvias rites. Simulatoriaus lange vaizduojamas induktyviosios ritės parinkimas reguliavimo grandinėje, keičia srovės sinusoidę (46 pav).

Atitinkamos induktyvumo reikšmės keičia ir srovės kreivę, taip sumažinant atkarpas, kai srovė lygi nuliui. Tokiu atveju didėja ir galios koeficientas (46 pav. apatinė kreivė). Galios koeficiento reikšmės normalizuotos tarp 0 ir 1.

Galios prietaiso valdymas naudojant induktyvumą  $L$  gali būti simuliuojamas naudojant elektronikos simulavimo ir modeliavimo programines priemones. Bet tiriant valdymo procesą ir jo automatizavimą, lanksčiai kiekvieno požymio bei parametro kontrolei įvertinti, reikia sukurti modeliavimo priemonę. Šiame darbe naudojama autoriaus sukurta programinė simulavimo ir modeliavimo priemonė, skirta galios regulatoriaus srovės ir įtampos kreivių stebėjimams ir modelio analizei realiaje laike (46 pav.). Simulatorius veikia naudodamas du pagrindinius scenarijus, keičiant du pagrindinius parametrus:  $L$  – induktyvumą,  $\alpha$  – reguliavimo kampą. Vienas iš parametrų turi kisti per tam tikrą laiką, kai tuo metu antrasis parametras lieka konstanta ir atvirkščiai. Pirmojo scenarijaus atveju, kai simuliuojamas galios valdymas naudojant laiko momentu kintantį induktyvumą, o reguliavimo kampas išlieka pastovus. Simulatoriaus lange matomi tam tikru laiko momentu besikeičiantys srovės, įtampos grafikai, skaičiuojamas galios koeficientas. Kai nustatomi proceso parametrai, reguliavimas keisis kiekviename iteracijos žingsnyje. Kai pasiekiamas maksimalus teorinis reguliavimo kampas, šis kampas  $\alpha$  bus mažinamas iki pradinės nereguliuojamos kreivės padėties. Kitas modeliuojamas scenarijus naudojamas, kai ieškomas didžiausias galios koeficientas atsižvelgiant į induktyvumą  $L$ . Induktyvumas kinta laike kiekvienoje iteracijoje didinant jo reikšmę. Per didelis induktyvumas gali pakenkti srovės kreivei ir ją iškraipyti taip, kad ji neužsibaigtų per reikiamą laiko intervalą. Validavimui

naudojamos taisyklės, užtikrinančios matematinį srovės kreivės taisyklingumą. Pirmas srovės sinusoidės pusperiodis turi užsibaigti (kirsti nulį) per 10ms laiko intervalą, po to ši taisyklė taikoma antrajam pusperiodžiui. Nagrinėjami simuliacijos algoritmo žingsniai pateikti pseudo-kodu. Simulatorius geba pateikti keletą atskirų reguliavimo atvejų viename grafike.

```

while (Srovės kreivė taisyklinga)
begin
    keisti iteracijos parametrus // didinti induktyvumą, keisti kampą
alpha
    suskaičiuoti fi reikšmę
    rasti reguliuojamos kreivės taškus // reguliuojama srovės kreivė
    skaičiuojamas galios koeficientas PF1 // reikšmė pagal kreives
    skaičiuojamas galios koeficientas PF2 // reikšmė pagal alpha kampą
    patikrinti galios koeficiento reikšmę // ieškomas kylantis ir
besileidžiantis frontas
end

išspausdinti reguliuojamą srovės kreivę
išspausdinti galios koeficientą pagal iteracijos parametrus

```

Algoritmas, skaičiuojantis konkretų kintančios, reguliuojamos srovės (naudojant induktyvumą) tašką laiku t:

```

double dividant = 230 * Math.Sqrt(2);
double divisor = Math.Sqrt(Math.Pow(omega * L, 2) + Math.Pow(R, 2));

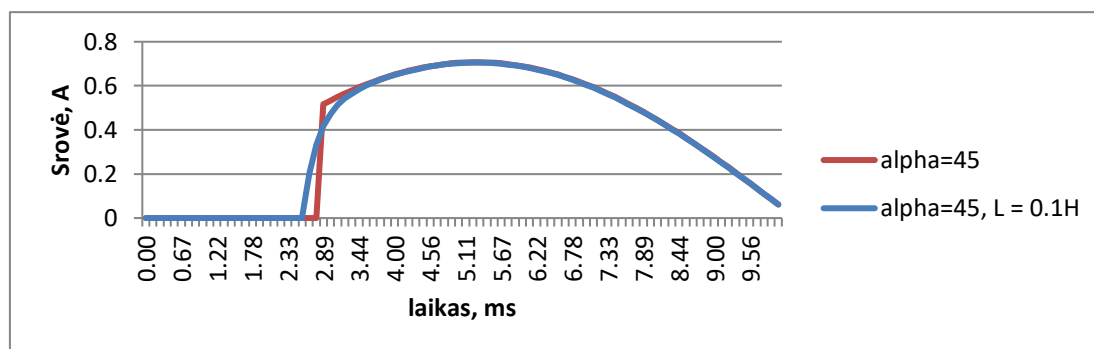
double time = ((double)1 / 50) * (t / 360);
double sinWaveTypical = Math.Sin(omega * time + alphaInRads - fi);
double sinWaveRegulated = Math.Sin(alphaInRads - fi) * Math.Pow(Math.E,
-1 * (R / L) * time);
double dimmedWavePoint = (divident / divisor) * Math.Abs(sinWaveTypical
- sinWaveRegulated) * (n == 1 ? -1 : 1);

```

Algoritmu gaunamos modeliuojamos kreivės: įprasta (sinWaveTypical) ir reguliuojama (sinWaveRegulated) srovė laiko momentu.

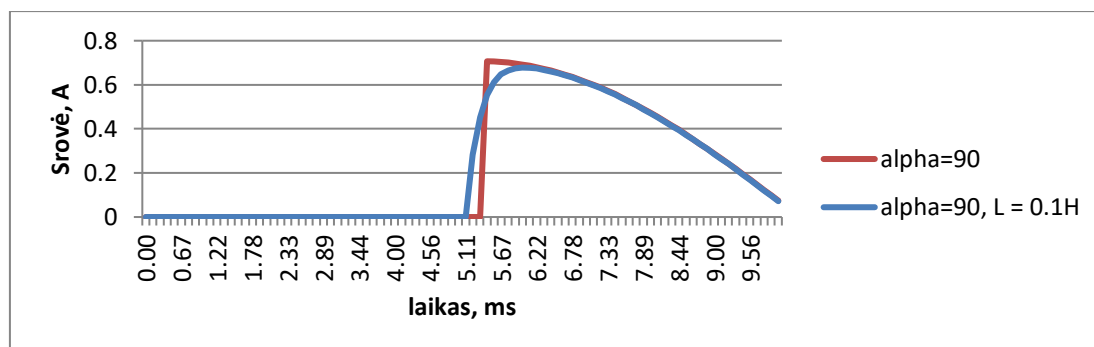
Jeigu simistoriaus tipo galios reguliatorius naudojamas aktyvios galios kontrolei, pavyzdžiui kaitrinės lempos arba elektrinio šildytuvo valdymui, šios

apkrovos tampa panašios į talpinio tipo apkrovą. Tokiu atveju reikia panaudoti induktyvųjį filtrą nuosekliai apkrovai. Filtras atlieka apkrovos galios koeficiento korekcijas. Oscilogramos vaizduoja srovę per 460 omų apkrovą vienfazės įtampos 230V 50 Hz tinkle (47 – 50 pav.). Kreivės 51 ir 52 paveiksluose vaizduoja induktyvumo L henriais ir galios koeficiento priklausomybę, kai reguliavimo kampas atitinkamai yra  $30^{\circ}$  ir  $90^{\circ}$ .



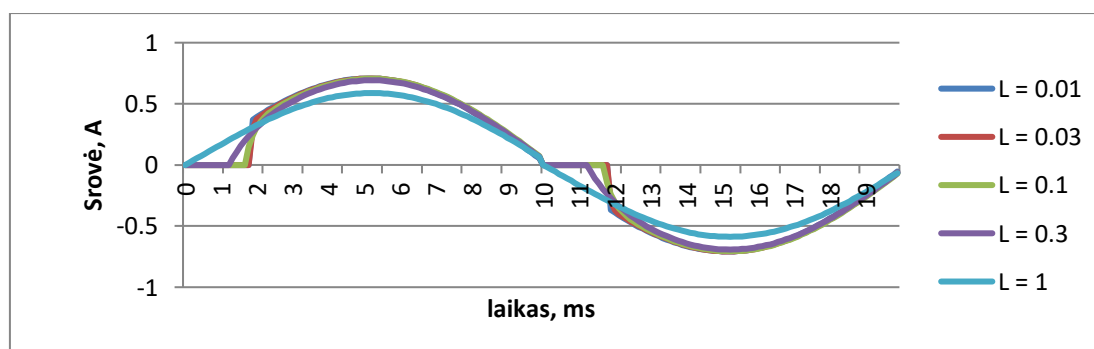
Šaltinis: sukurta autoriaus.

47 pav. Srovės oscilograma, reguliavimo kampas  $\alpha = 45^{\circ}$ ,  $L = 0$  ir  $0,1H$



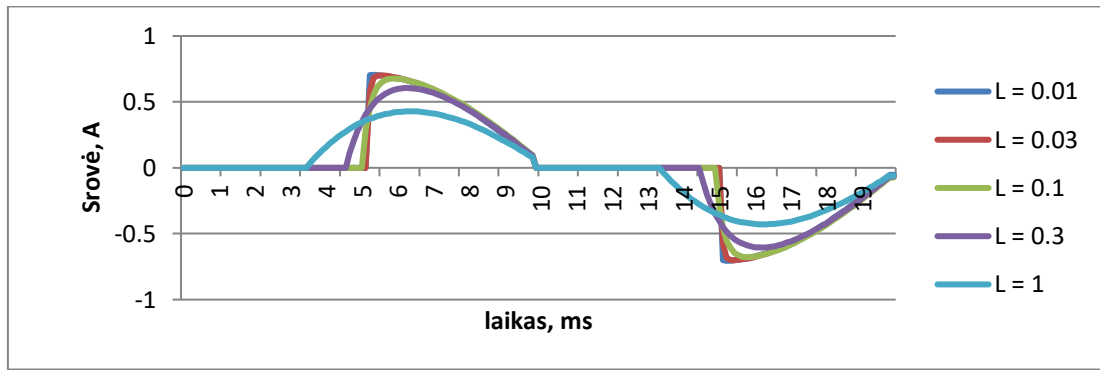
Šaltinis: sukurta autoriaus.

48 pav. Srovės oscilograma, reguliavimo kampas  $\alpha = 90^{\circ}$ ,  $L = 0$  ir  $0,1H$



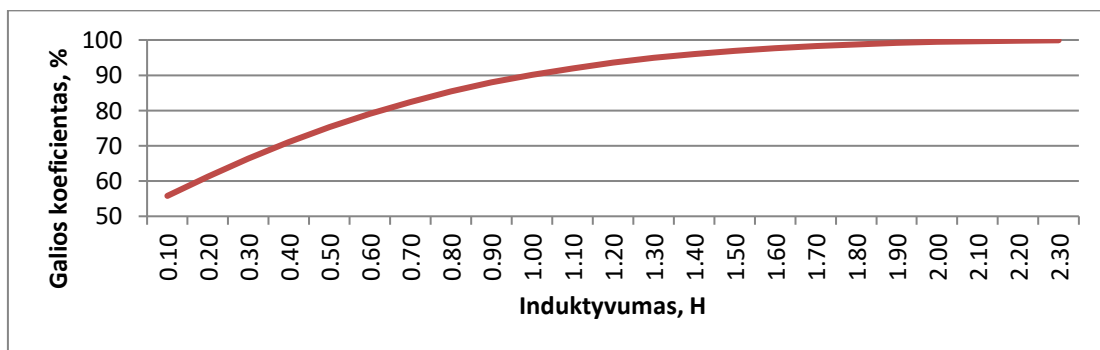
Šaltinis: sukurta autoriaus.

49 pav. Srovės oscilograma, reguliavimo kampas  $\alpha = 30^{\circ}$ ,  $L = 0,01 - 1 H$



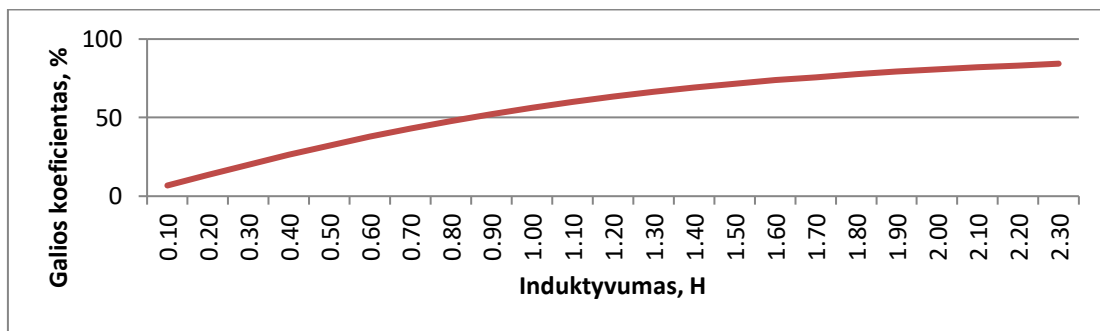
Šaltinis: sukurta autoriaus.

50 pav. Srovės oscilograma, reguliavimo kampas  $\alpha = 90^\circ$ ,  $L = 0,01 - 1 \text{ H}$



Šaltinis: sukurta autoriaus.

51 pav. Galios koeficientas, reguliavimo kampas  $\alpha = 30^\circ$



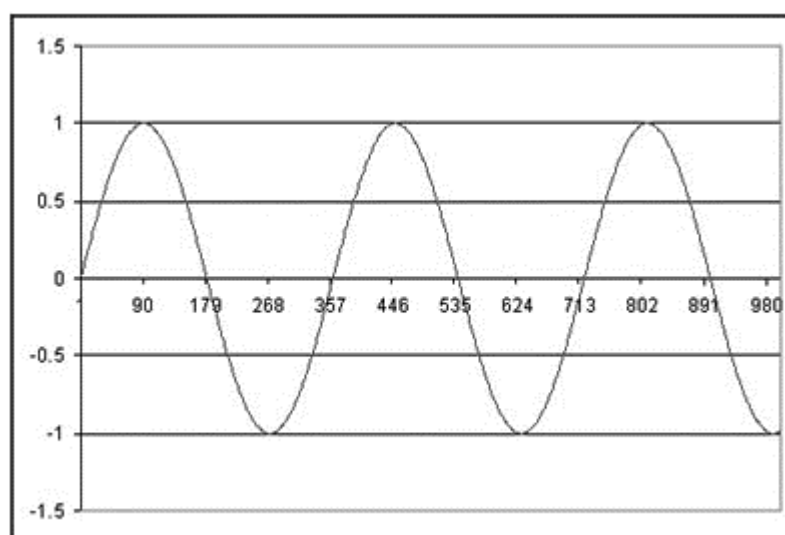
Šaltinis: sukurta autoriaus.

52 pav. Galios koeficientas, reguliavimo kampas  $\alpha = 90^\circ$

#### 4.4 Prognozavimo algoritmai laiko eilutėms

Žmogų supančios aplinkos parametrus dažnai gauname iš elektrinio signalo, pakeisdami jį skaitmeniniu ir atlikdami reikiamas duomenų transformacijas. Iš aplinkos gaunamus duomenis galime įvertinti kaip laiko eilutę bei pritaikyti standartinius statistinius modelius (Rekašius T., 2012). Darbe yra nagrinėjami statistiniai modeliai, leidžiantys geriau suprasti

duomenis, rasti dėsningumą, bei prognozuoti į ateitį (Kugelevičius ir kt., 2003; Lukoševičiūtė, 2012). Siūlomos sistemos ypatybė suderinti vykdomų užduočių eiliškumą priklausomai nuo laiko eilutės analizės rezultatų. T.y. pereinant iš vienos būsenos į kitą, įvertinti ne tik buvusios ir esamos būsenos duomenis, tačiau ir norimą gauti būseną. Laiko eilučių analizėje plačiai taikomi ARMA, ARIMA regresiniai slenkančio vidurkio modeliai – kai duomenims būdingos tiesiškos priklausomybės (Huang ir kt. 2012; Rekašius T., 2012). Priešingu atveju galima taikyti netiesinius algoritmus, pavyzdžiui, dirbtinius neuroninius tinklus (DNT).



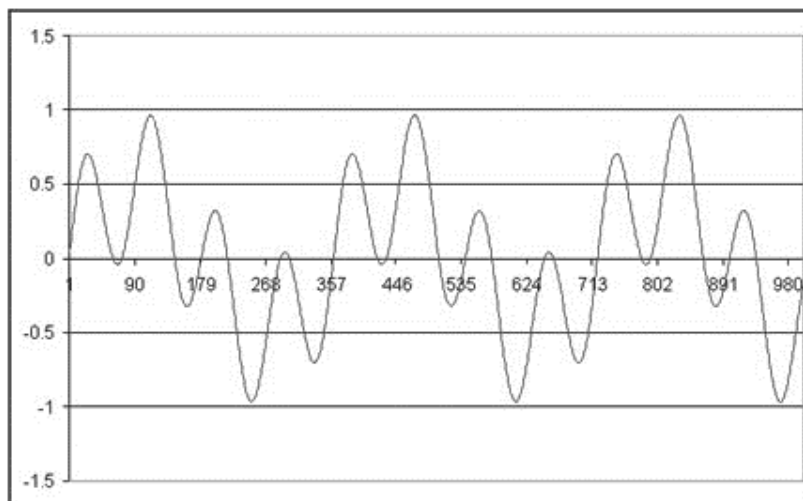
Šaltinis: (Greaves C., 2016).

53 pav. Laiko eilutės pavyzdys  $\sin(x)$ .

Norint autonomiškai sistemos veikimo metu įvertinti, kuris metodas turi būti taikomas, reikia atlikti pirminę duomenų analizę, įvertinti eilutės stacionarumą, atlikti integruotumo eilės testus, pavyzdžiui pritaikyti Dickey — Fuller testą. Eilutės stacionarumą galima įvertinti suskaidžius stebėjimus į atskiras grupes, tarp jų skaičiuojant vidurkį, kovariaciją, dispersiją. Laiko eilutės skirstomos į griežto, silpno stacionarumo ir nestacionarias eilutes. Laiko eilutės, būdingos energijos momentinių nuoskaitų duomenims pavyzdys pateiktas 53 paveiksle.

Po sudėties arba atimties veiksmų laiko eilutėms, rezultatas bus laiko eilutė, tačiau jeigu jų periodas skirsis, duomenų dažnis bus didesnis (54 pav.).

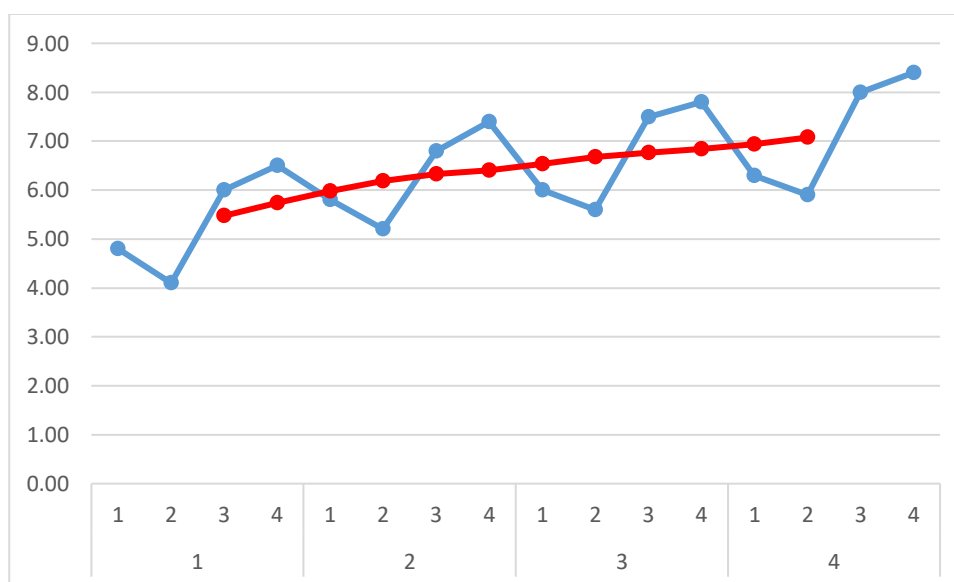
Abu signalai (53-54 pav.) yra deterministiniai, be triukšmo ir apibrėžtoje aplinkoje.



Šaltinis: (Greaves C., 2016).

54 pav. Sudėtinės laiko eilutės pavyzdys.

Laiko eilutės sezoniškumo ir krypties komponentės suteikia pagrindinę informaciją ARMA modeliui sudaryti. Šiame pavyzdyje kylanti raudona kreivė parodo duomenų reikšmės judėjimo kryptį, o mėlyna osciliuojanti kreivė parodo sezoniškumą (55 pav.).



Šaltinis: sukurta autoriaus.

55 pav. Sezoniškumo ir krypties komponentės laiko eilutėje

Čia x ašyje periodas suskaidytas į keturis dalis. Laiko eilučių analizei plačiai naudojami ARMA – autoregresiniai judančio vidurkio modeliai ir



diskretusis Kalmano filtras, kai duomenys yra tiesiškai priklausomi. Dirbtiniai neuroninių tinklų netiesiniai modeliai yra taip pat sėkmingai pritaikomi. Metodai skiriasi savo pritaikymu ir gali būti taikomi ne bet kokio pobūdžio duomenims. Prieš pritaikant algoritmą, reikia patikrinti laiko eilutės stacionarumą, atlikti integracijos eilės testus. Eilutės stacionarumas gali būti patikrintas matavimo duomenų imtį padalinant į atskiras grupes. Po to paskaičiuojamas vidurkis, kovariacija ir standartinis nuokrypis. Laiko eilutės skirstomos į griežto, silpno stacionarumo ir nestacionarias laiko eilutes.

Dinaminių procesų stebėjimo duomenų momentinės reikšmės gali būti gaunamos skirtingu laiku arba skirtingoje vietoje. Laiko eilučių analizei ir duomenų prognozei gali būti pritaikyti ARMA modeliai. ARMA modelį sudaro dvi dalys: pagrindinis principas yra sukombinuoti autoregresinį ir judančio vidurkio modelius. Autoregresinis procesas paaiškina naujus stebėjimus remiantis ankstesnių stebėjimų duomenimis:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

$Y_t$  – laiko eilutės stebėjimai,  $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ , – autoregresinio modelio parametrai,  $\varepsilon_t$  – stochastinės klaidos,  $p$  – autoregresinio proceso laipsnis (angl. *rank*). Judančio vidurkio procesas paaiškina laiko eilutės stebėjimus naudojantis  $Y_t$  modelio klaidas:

$$Y_t = \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

ARMA ( $p, q$ ) modelis:

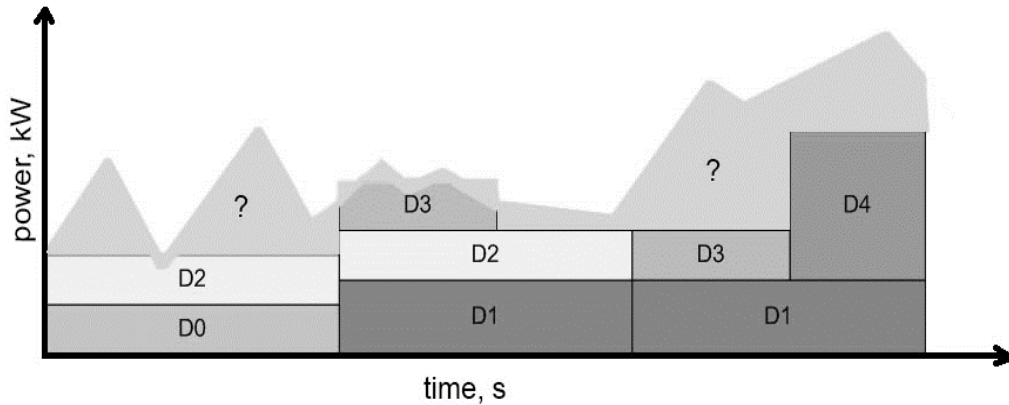
$$Y_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

ARMA modelis gali būti pritaikytas tik stacionarioms ir silpnai stacionarioms laiko eilutėms. Stacionarumas gali būti patikrintas naudojantis statistiniais metodais. Sukurtas modelis turi apibrėžti laiko eilutę ne tik žinomiems duomenims, tačiau taip pat suteikti galimybę nuspėti ateities stebėjimų reikšmes naudojantis ankstesniais duomenimis. ARMA modeliai yra plačiai naudojami, nes modelio apskaičiavimo metodas yra sąlyginai paprastas

bei galima greitai gauti reikiamus rezultatus. Prieš pritaikant modelį, reikia įsitikinti ar laiko eilutė stacionari. Kuo stipresnis laiko eilutės stacionarumas, tuo didesnė tikimybė, kad modelis bus efektyviau pritaikytas nagrinėjamai laiko eilutei.

Kalmano filtras yra galingas įrankis valdyti triukšmingas sistemas ir plačiai naudojamas objekto trajektorijai nuspėti, kontroliuoti, sekti; įspėti apie kolizijas, apdorojant vaizdus, apjungiant jutiklius (angl. *sensor fusion*) bei kitose srityse. Kalmano filtras taip pat naudojamas prognozavimo užduotims įvairiose srityse (Long J. ir kt., 2012; Xie Y. ir kt., 2007).

Atsižvelgiant į duomenis, gali būti sudaromas įrenginių naudojimo planas (56 pav.), kurį įmanoma pritaikyti prie prognozės algoritmų ne tik elektros energijos duomenims, tačiau ir kitokio tipo užduotims spręsti (eismo paskaičiavimas, kuro sąnaudų skaičiavimas). Algoritmus galima panaudoti energijos naudojimo ir generavimo prognozei ne tik iš elektros tinklo gaunamos energijos analizei, bet ir iš skirtingų alternatyvios energijos šaltinių: saulės, vėjo, geoterminės energijos. Nagrinėjant elektros energijos prietaisų valdymą el. energijos išteklių valdymo sistemoje būtina įvertinti tai, kad ne visų prietaisų panaudojimas yra nuspėjamas ir sąnaudos žinomos iš anksto. Tokiu atveju galima resursų panaudojimą skirstyti į deterministinį  $D[n]$  ir nedeterministinį, pažymėtą “?”. Stebint energijos prietaisus būtina identifikuoti kiekvieno prietaiso sąnaudas atskirai. Šiame darbe atliekant eksperimentus, kiekvienas prietaisas buvo jungiamas į atskirą el. energijos lizdą su dedikuotu energijos matuokliu, siekiant supaprastinti eksperimentus matuojant galią. Moksliniuose darbuose nagrinėjami algoritmai (Brunelli ir kt., 2008; Chen ir kt., 2012) gali būti panaudoti siūlomoje išteklių valdymo sistemos architektūroje. Duomenys apie konkretų įrenginį turi būti pateikti duomenų pakete iš jutiklio į duomenų surinkimo įrenginį, arba prie paketo pridedami jau transportuojant duomenis, kai žinomas siųstuvo adresas.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

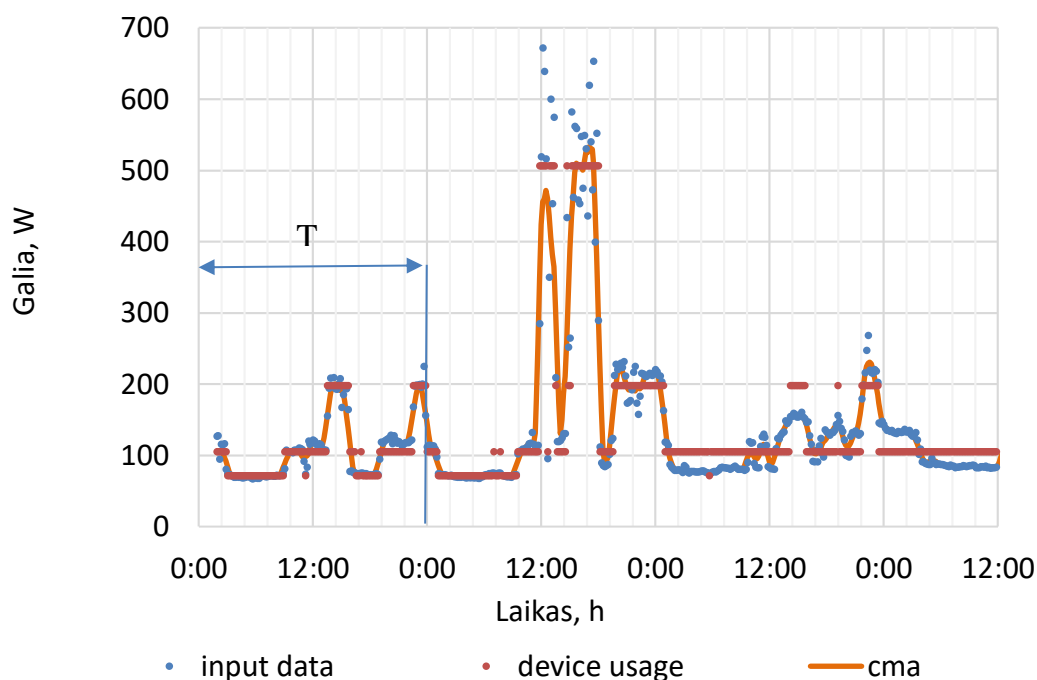
56 pav. Nedeterministinės sąnaudos

Naudojant darbe aprašytus algoritmus galima sukurti energijos suvartojimo ir duomenų apdorojimo sistemą, užtikrinančią energijos poreikio ir resursų naudojimo prognozę (Žulkas ir kt., 2015).

Elektros energijos sunaudojimo stebėseną atliekama su specializuota galios matavimo ir sukauptų duomenų persiuntimo standartizuotais duomenų perdavimo protokolais į duomenų bazę sistema. Duomenims saugoti buvo naudojama autoriaus paruošta SQL duomenų bazė (42 pav.). Duomenų bazė buvo pritaikyta daugelio tinklo mazgų duomenų kaupimui. Kiekvienas tinklo mazgas turi būti atsakingas už pateiktų duomenų vientisumą ir persiuntimą tinklo sąsajos įrenginiui (angl. *gateway device*). Koncentravimo įrenginys turi užtikrinti duomenų vientisumą, kol nepasiekiamas el. paslauga.

Surinkti duomenys turi būti panaudoti energijos sąnaudų analizei ir prognozei atlikti. Dideli persiunčiamų ir saugomų duomenų kiekiai papildomi realiu laiku eksperimento metu, todėl svarbu paruošti tinkamą reliacinės duomenų bazės struktūrą, pritaikytą didelių duomenų masyvų analizei. Energijos sąnaudų analizė rodo dėsningumą ir koreliaciją tarp duomenų stebėjimų. Prognozės algoritmo tikslas yra užtikrinti mažiausią skaičiavimų ir prognozės paklaidą. Jutiklių tinklo mazgai užtikrina pirminių duomenų surinkimą bendrai el. paslaugų sistemai, tolesnį duomenų persiuntimą ir integravimą į centralizuotą duomenų kaupimo sistemą.

Pagrindinis žmogaus aplinkos el. paslaugų valdymas yra realizuotas valdančiajame mikrovaldiklyje. Jeigu žinomi įrenginio ir paskaitų tvarkaraščiai, pagal žmogaus poreikius, apibrėžtus taisyklėse, ir siunčiamas užklausa, užduočių dispečerizavimo eilė gali būti paruošta pagrindiniame mikrovaldiklyje, pritaikant realaus laiko operacijoms. Pagrindiniame sistemos branduolyje turi būti realizuoti specializuoti užduočių valdymo algoritmai. Kai užduotis turi būti įvykdyta realiu laiku, turi būti pritaikytas vienas iš užduočių dispečerizavimo būdų: kooperatyvus užduočių valdymas, išstumiantis užduočių valdymas, kooperatyvus užduočių valdymas su galimybe pristabdyti užduotį. Realaus laiko operacinės sistemos taip pat gali būti panaudotos energijos stebėsenos užduočiai. Kuriamai sistemai svarbus užduočių dispečerizavimo lankstumas, todėl buvo sukurta paprasta kooperatyvaus užduočių valdymo posistemė.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

57 pav. Įrenginių naudojimo planas ir realios energijos sąnaudos

Čia Input data – sąnaudų duomenys, device usage – įrenginių naudojimo planas, cma – centruotas vidurkis.

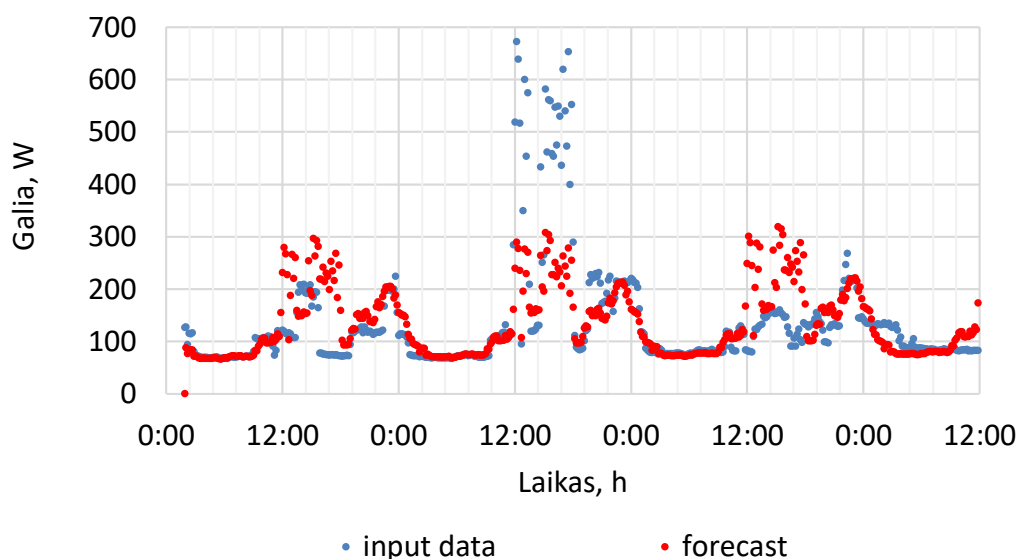
Atliekant duomenų surinkimą buvo kaupiami duomenys kas 1s. Tačiau analizėje naudojamos reikšmės yra 10 minučių vidurkiai. Buvo pasirinktas

kvantavimo periodas – 1 diena. Viename periode 144 reikšmių vidurkiai dėl 10-ies minučių intervalų ( $\Delta t = 10$ ). Kiekvieną valandą gaunami 6 vidurkiai. Įvertinus duomenų stebėjimo skalę, prognozę reikėtų atlikti ne toliau negu 1 periodą į priekį – T. Stebėsenos atveju laiko eilutės reikšmės bus sudarytos iš deterministinės ir stochastinių dalių. Įrenginių naudojimo planas ir realiu laiku išmatuotos energijos sąnaudos (57 pav.).

Energijos sąnaudų stebėsenos duomenis sudaro realiu metu rinkti duomenys kas 1s. Principo paaiškinimui pasirinkti laiko periodai (kelios iš eilės einančios dienos). Kiekvienam įrengimui buvo nustatytos vidutinės energijos sąnaudos ir apibrėžtas bendras įrenginių naudojimo planas. Dėl bandymų paprastumo, panaudoti tik keli įrenginiai automatiniam naudojimo plano sudarymui. Kiekvienam įrenginiui panaudotas atskiras dedikuotas elektros lizdas, kad būtų galima žinoti, kur šis įrengimas prijungtas. Šiame darbe įrenginių panaudojimo planas buvo panaudotas dėl dviejų priežasčių:

grafiškai pavaizduoti įrenginių panaudojimo planą, kai y ašis rodo vidutinės energijos sąnaudas

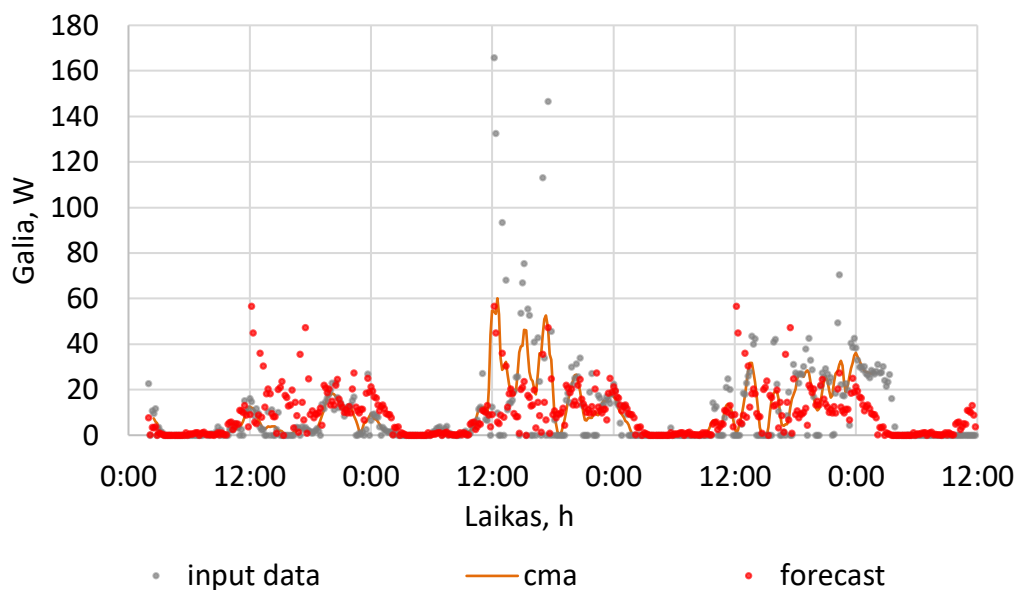
ARMA modelį papildyti deterministiniais energijos sąnaudų duomenimis.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

58 pav. Prognozė naudojant ARMA modelį

Su ARMA modeliu buvo atlikti du skirtingi bandymai: 58 pav. - prognozė, naudojantis tik energijos sąnaudų duomenimis; 59 pav. - prognozė, kuri priklauso nuo įrenginių naudojimo plano.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

59 pav. Prognozė naudojant ARMA modelį, pritaikant įrenginių naudojimo planą

Input data – sąnaudų duomenys, cma – centruotas vidurkis, forecast - prognozė.

Stebėjimų duomenys yra normalizuojami, kai pritaikomas įrenginių panaudojimo planas. Naudojamos reikšmės didesnės negu vidutinės įrenginio sąnaudos, su prielaida, kad elektros energijos sąnaudos per laiką sieks arba bus didesnės už vidutines išmatuotas. Naujai gautos reikšmės yra lygios realių stebėjimo duomenų verčių ir vidutinių įrenginio sąnaudų skirtumas.

Kalmano filtras (KF) yra rekursyvus algoritmas ir šiuo atveju gali būti pritaikymas surinktiems energijos sąnaudų stebėjimo duomenims apdoroti. KF sudaro prognozės (proceso modelis) (1-2) ir atnaujinimo (matavimų modelis) (3-5) žingsniai:

Būsenos prognozė  $\hat{x}_k$ :

$$\hat{x}_k = A\bar{x}_{k-1} + w_k \text{ (1 žingsnis)}$$

Būsenos kovariacinė  $\hat{P}_k$  prognozė:

$$\hat{P}_k = A\bar{P}_{k-1}A^T + Q \text{ (2 žingsnis)}$$

Prieaugio (angl. *gain*)  $K_k$  skaičiavimai pataisyti būsenos reikšmėms  $\hat{x}_k$ :

$$K_k = \hat{P}_k H^T (H\hat{P}_k H^T + R)^{-1} \text{ (3 žingsnis)}$$

Būsenų reikšmių  $\bar{x}_k$  atnaujinimas naudojant matavimus  $z_k$ :

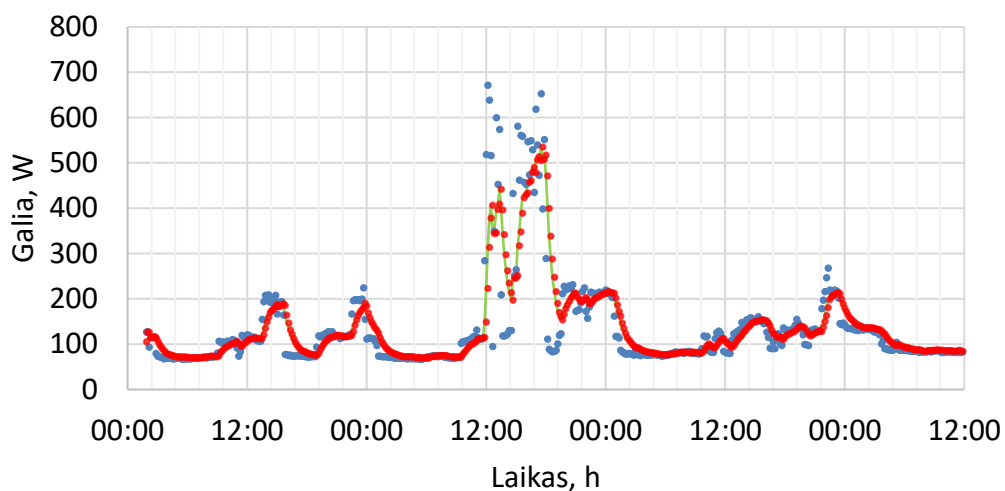
$$\bar{x}_k = \hat{x}_k + K_k(z_k - H\hat{x}_k) \text{ (4 žingsnis)}$$

Kovariacijos  $\bar{P}_k$  atnaujinimas:

$$\bar{P}_k = (I - K_k H)\hat{P}_k \text{ (5 žingsnis)}$$

kur  $\hat{x}_k$  – būsenų vektorius paveiktas triukšmo  $w_k$ ;  $\bar{x}_k$  – atnaujinimo vektorius;  $z_k = Hx_k + v_k$  – matavimų vektorius paveiktas triukšmo  $v_k$ ;  $w_k \sim N(0, Q)$ ,  $v_k \sim N(0, R)$  – atitinkamai, procesų prognozės ir matavimo atnaujinimo nepriklausomi Gauso triukšmai:  $Q = E[w_k w_k^T]$ ,  $R = E[v_k v_k^T]$  – atitinkamai nepriklausomos proceso ir matavimo triukšmų kovariacinės matricos;  $A$  – būsenų perėjimų (angl. *transition*) matrica;  $\hat{P}_k$ ,  $\bar{P}_k$  – atitinkamai prognozės ir atnaujinimo būsenos kovariacinė matrica  $H$  – matavimų matrica;  $I$  – tapatybių (angl. *identity*) matrica.

Atnaujinimo žingsnyje skirtumas tarp matavimo ir prognozės duomenų yra kompensuojamas ir tokiu būdu apibrėžiamos naujos reikšmės. Kalmano filtro konvergavimo greitis priklauso nuo  $Q$  ir  $R$  matricų. Sumažėjusios  $Q$  ir  $R$  reikšmės rodo pasiklovimo lygį proceso ir matavimų žingsniuose. Energijos sąnaudų scenarijaus atveju stebima tik viena būsena. Naudojami Kalman filter koeficientai:  $A = 1$ ,  $H = 1$ ,  $Q = 0.005$ ,  $R = 0.1$ ,  $\bar{P}_{k-1} = 0.025$ . Pradinė kovariacinė matrica  $\bar{P}_{k-1}$  apskaičiuojama empiriškai, nes ji konverguoja laike. Pradinė būsena  $\bar{x}_0$  prognozės lygtyje yra nustatoma pagal plano pirmąją reikšmę. Jeigu Kalmano filtro efektyvumas mažas, galima keisti laiko delsimą konverguojant, modelio parametrai  $A$ ,  $H$ ,  $Q$  ir  $R$  turi būti pakoreguoti, kiti vidiniai kintamieji  $\bar{x}_k$ ,  $\hat{x}_k$ ,  $\bar{P}_k$ ,  $\hat{P}_k$ ,  $K_k$  perskaičiuojami arba išgaunami kaip  $z_k$  matavimai. Kalmano filtro eksperimentų rezultatai yra pavaizduoti 60 ir 61 pav.

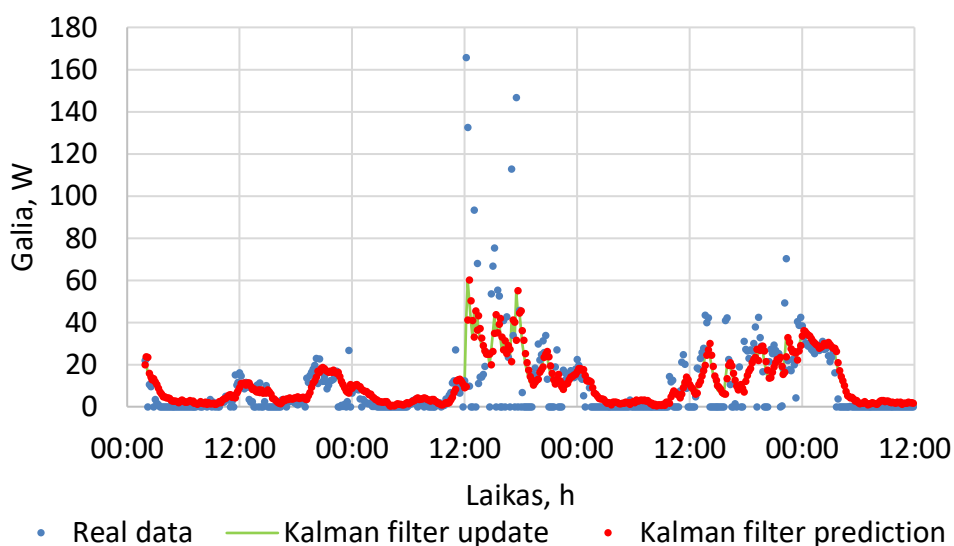


- Acquired data
- Kalman filter update
- Kalman filter prediction

Šaltinis: sukurta autoriaus.

60 pav. Prognozė naudojant Kalmano filtrą

61-ame paveiksle vaizduojama prognozė naudojant skirtumus tarp energijos sąnaudų ir įrenginių panaudojimo plano. Acquired data – surinkti duomenys, Kalman filter update – KF atnaujinimas, Kalman filter prediction – prognozė.



- Real data
- Kalman filter update
- Kalman filter prediction

Šaltinis: sukurta autoriaus.

61 pav. Prognozė su Kalmano filtru naudojant įrenginių panaudojimo planą.

Prognozės rezultatams apibendrinti naudojamas vidutinio kvadratinio nuokrypio (angl. *RMS*) reikšmė.



RMS reikšmė energijos sąnaudų duomenims laiko erdvėje yra kvadratinė šaknis iš visų stebėjimų atstumo nuo prognozės kvadratų sumos. Jeigu yra  $n$  stebėjimų, RMS formulė stebėjimams  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  gali būti išreikšta:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$$

Buvo apskaičiuotas papildomas įvertis, kad būtų galima gauti vidutinį procentinį atstumą tarp realių taškų  $x_i$  ir įrenginių naudojimo plano reikšmių  $p_i$  tuo pačiu laiko momentu:

$$E_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - p_i|}{\max(x_i, p_i)}$$

#### 4.5 Kalmano filtro ir ARMA modelio rezultatai

Gauti rezultatai naudojantis skirtingais prognozavimo algoritmais pateikti 2-oje lentelėje:

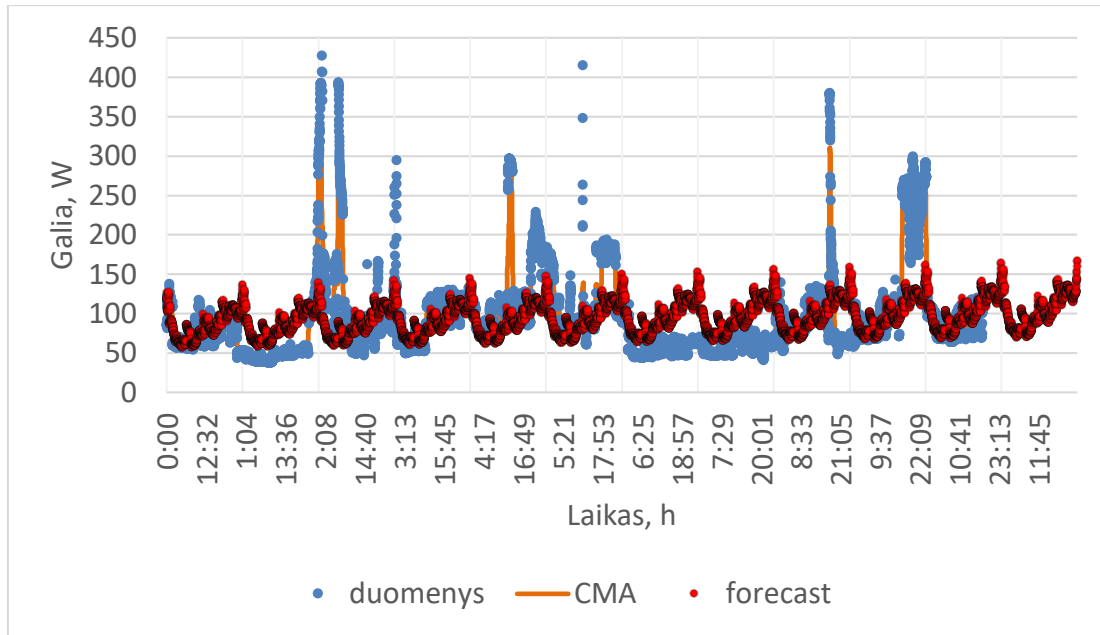
**2 lentelė:** Energijos sąnaudų prognozės rezultatų palyginimas.

	ARMA	ARMA + planas	Kalmano filtras		Kalmano filtras + planas	
			Prognozė	Atnaujinimas	Prognozė	Atnaujinimas
RMS	84,534	29,251	62,115	49,681	31,537	29,267
$E_d$	0,203	0,120	0,031	0,113	0,114	0,106

Kuo aukštesnė RMS reikšmė arba didesnis procentinis atstumas  $E_d$ , tuo mažesnis prognozės tikslumas.

Kalmano filtras ir ARMA modelis prognozavimo užduotims gali būti pritaikyti skirtingose situacijose, nes algoritmai turi skirtingus privalumus ir trūkumus. Kalmano filtras geriau tinka modeliuoti esamus duomenis, tačiau prognozė ribojama viena nuoskaita į ateitį ( $\Delta t$ ). ARMA modelyje atsispindi regresinės kreivės ypatybės ir sezoniškumas, taip pat prognozę galima atlikti per vieną periodą  $T$  į priekį (priešingai, negu prognozės Kalmano filtru atveju). Tačiau ARMA modelis turi griežtesnius reikalavimus laiko eilutei (stacionarumo reikalavimas), todėl ribojamas algoritmo pritaikymas.

ARMA modelis buvo išbandytas ir su platesniu laiko intervalu (10 dienų, prognozuojama 1 para į priekį). Prognozė pavaizduota 62 pav:



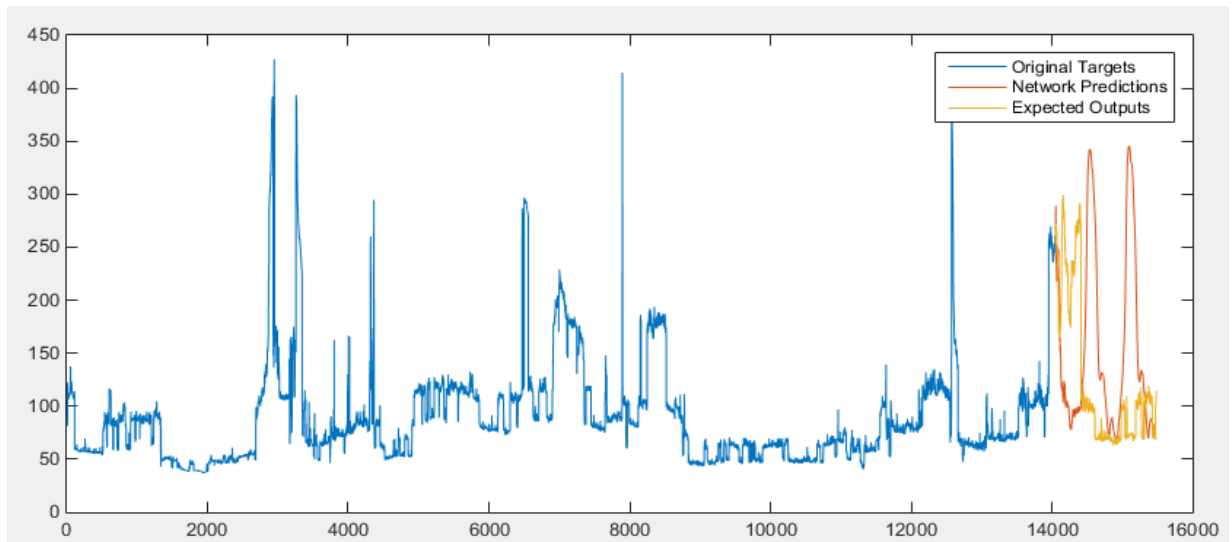
Šaltinis: sukurta autoriaus.

62 pav. Prognozė ARMA modeliu naudojant 10 dienų duomenis

Kuo ilgesnis laiko intervalas, tuo mažiau jaučiama ARMA modelio krypties komponentė. Todėl grafike aiškiai matoma sezoniškumo dalis. Prognozei naudojant platų duomenų intervalą, susiduriama su problema, kad visiškai išfiltruojami neatitikimai duomenyse, pavyzdžiui pikinės reikšmės. Vaizduojamo grafiko RMS reikšmė: 337,51.

#### 4.6 Sistemos mokymosi bei neuroninių tinklų apibendrinimas

Remiantis 4.3 skyriuje naudojamais energijos sąnaudų duomenimis ir MatLab generuojamu neuroninio tinklo mechanizmu, neatliekant pirminio duomenų apdorojimo, buvo gautas prognozės į ateitį grafikas. 63 paveikslo grafike vaizduojama energijos sąnaudų prognozė laiko eilutei, kai naudojamas Bajeso reguliarizacijos mokymo algoritmas.



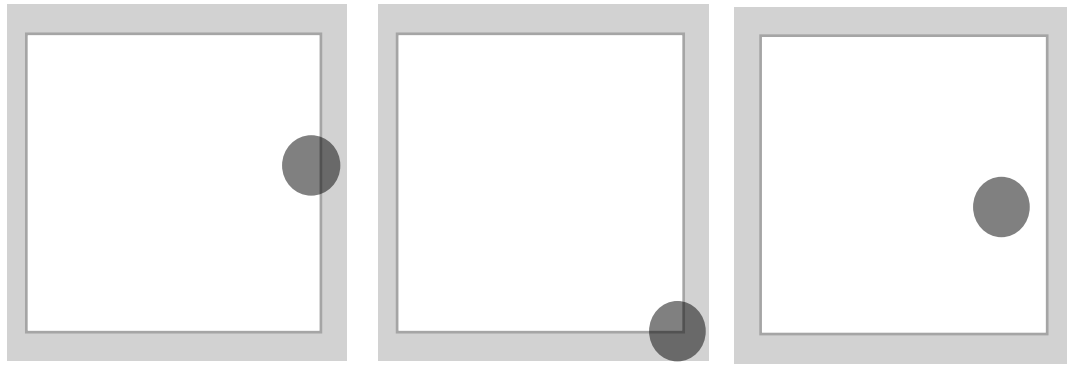
Šaltinis: sukurta autoriaus.

63 pav. Neuroninio tinklo laiko eilutės prognozė

Priešingai negu ARMA ir Kalmano filtro atvejais, neuroniniai tinklai remiasi netiesiniais algoritmais ir dirbtinio intelekto galimybėmis. Priklausomai nuo pasirinktų neuroninio tinklo ir duomenų dažnio charakteristikų generuojamas atitinkamas prognozės rezultatas gali būti skirtingas, todėl griežtą paklaidos įvertį gauti sunku. Kiekvieną kartą apmokytas tinklas turi naujus svorius bei poslinkius. Neuroniniais tinklais ir ARMA modeliu įvertinti energijos sąnaudas ir įvykdyti prognozę į ateitį leidžia sistemos architektūroje numatomas istorinių duomenų saugojimas ir informacijos išgavimo iš duomenų modulis, kuriam būtina didelio našumo aparatinė skaičiavimo įranga. Priešingu atveju ribojami apdorojamų duomenų kiekiai. Siekiant panaudoti neuroninius tinklus su nagrinėjamu duomenų masyvu, reikia rinktis mažesnę prognozės reikšmių intervalą. Siekiant išlaikyti intervalą, reikia mažinti duomenų dažnį, pritaikant skaitmeninius duomenų apdorojimo filtrus.

#### 4.7 Saulės apšviestumo įvertinimas energijos valdymo sistemoje

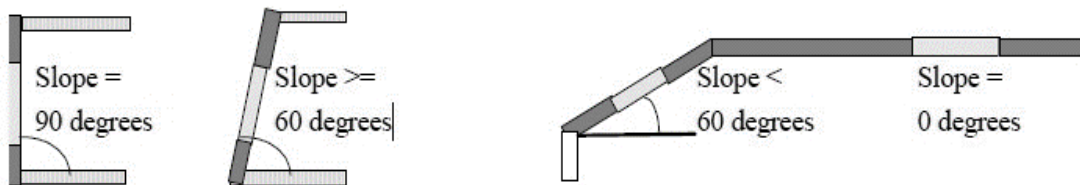
Saulės pozicija už lango įvertinama kaip dvimatėje erdvėje matomas rutulys, tačiau pats lango pakreipimas daro įtaką sistemos konfigūracijai, saulės pozicijos duomenims gauti. Apšviestumo modelis taip pat gali įvertinti lango difuzijos bei sienų refleksijos parametrus. Erdvėje saulės buvimo vieta pavaizduota 64-ame paveiksle.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

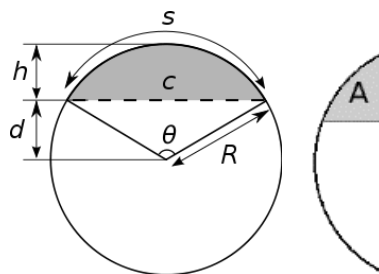
64 pav. Saulės matomumas ir pozicija per langą

Jeigu langas pakreiptas (angl. *slope*), būtina sureguliuoti sistemą ir įvertinti šio lango pakreipimą laipsniais patalpos grindų atžvilgiu (65 pav.). Taip pat reikia įvertinti koks kampas yra tarp nagrinėjamo aplinkos taško ir natūralaus apšvietumo šaltinio. Galimas variantas, kad aplinkoje yra keli langai. Tokiu atveju gaunami saulės matomumo rezultatai sudedami.



Šaltinis: (Varkie C. ir kt., 2016).

65 pav. Sienos ir stogo lango pakreipimas



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal (*Feynman R*).

66 pav. Saulės matomumas per langą (A ploto apskaičiavimas)

Saulės matomumas per langą, pažymėtas A, pavaizduotas 66 pav. Nustatant saulės poziciją į algoritmą įvedamos šios sąlygos:

IF (*directSunlightInAltitude* AND *directSunlightInAzimuth*) - visa saulė matoma per langą,

IF (directSunlightInAltitude AND percentageOfLightInAzimuth) – iš dalies matoma vienoje ašyje,

IF (directSunlightInAzimuth AND percentageOfLightInAltitude) – iš dalies matoma vienoje ašyje,

IF (percentageOfLightInAzimuth AND percentageOfLightInAltitude) – iš dalies matoma abiejose ašyse.

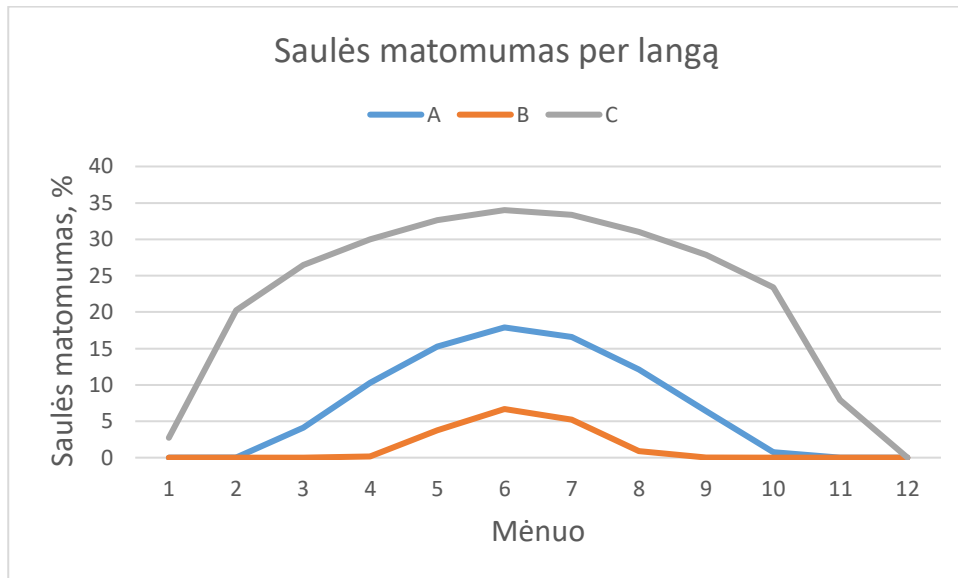
čia naudojami loginiai kintamieji įvertina, ar saulė matoma visiškai ar iš dalies.

Pateikto saulės skaičiavimo algoritmo principas pateiktas c# programavimo kalba:

```
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    for (DateTime date = startDateTime; date <= endDateTime; date =
date.AddMinutes(1))
    {
        Position sunPosition = SunPosition.CalculateSunPosition(date,
55.7000, 21.1306, startOfWindow, endOfWindow);

        result = GetSunPowerForWindow(sunPosition);
    }
}
```

Saulės pozicija skaičiuojama konkrečioms koordinatėms ir konkrečiam taškui aplinkoje. Funkcija CalculateSunPosition turi parametrus: nustatytai datai date, koordinatėse 55.7000 platumos, 21.1306 ilgumos, paskaičiuoti, kai lango zona apibrėžta laipsniais nuo šiaurinės krypties, o vertikaliėje apibrėžta altitute. Kai matomumą užstoja kiti objektai, langu laikoma matoma lango sritis, nurėžiant nematomas sritis vertikaliomis ir horizontaliomis kreivėmis. Vienas iš gautų rezultatų apskaičiuojant saulės matomumą yra, kai matomumą užstoja skirtingo dydžio objektai A, B ir C atvejai (67 pav.).



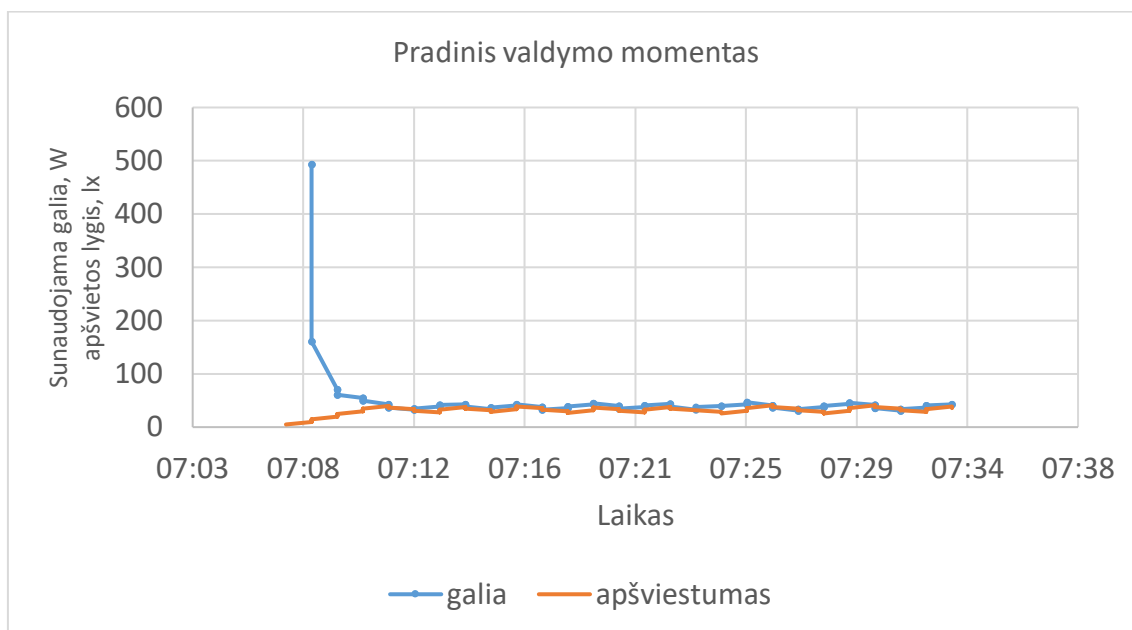
Šaltinis: sukurta autoriaus.

67 pav. Saulės matomumas per langą per mėnesį

Elektros energijos valdymo aplinkos parametrai apšvietimo sistemai, įvertinus saulės pozicijos duomenis:

- metiniai: saulės matomumo grafikas, debesuotumo grafikas (papildyti saulės matomumo duomenis), darbo (buvimo išmaniajame būste) grafikas.
- momentiniai: siektinas maksimalus apšviestumas, siektinas minimalus apšviestumas, siektinas vidutinis apšviestumas, mėnesio sąnaudų riba, dieninis/naktinis tarifas, dirbtinio apšvietimo galia, dirbtinio apšvietimo pajėgumas, ramybės režimas po laiko intervalo, vidutinė sistemos nenaudojimo trukmė.

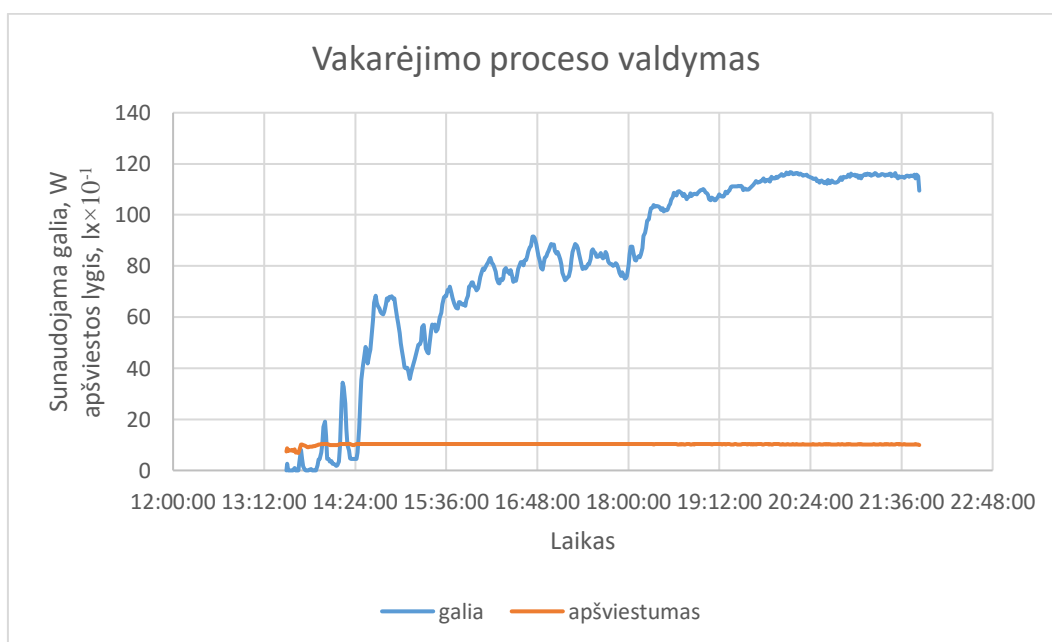
Energijos išteklių valdymo sistemos prototipas buvo išbandytas realiomis sąlygomis. 68-ame paveiksle pateiktas procesas, kai sistema pradeda darbą. Grafike laikas vaizduojamas mm:ss (minutė:sekundė) formatu. Pirmiausia, sistema fiksuoja visiškai tamsią aplinką, tačiau kai tuo pačiu metu stabilizuojasi ir apšviestumas. Jei įjungus apšvietimo posistemę įvertinama, kad tapo per šviesu, tai sistema atlieka automatinį balansą, kol randama minimali galia reikiamam komforto lygiui užtikrinti.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

68 pav. Energijos išteklių sistemos prototipo įjungimas

Vakarėjimo proceso metu matoma, kad sistemos panaudojimo galia palaipsniui didėja. Laikas x ašyje pateiktas HH:mm:ss (valanda: minutė: sekundė) formatu. Sistema fiksuoja keletą šuolių, kurie matomi nagrinėjant duomenų vidutines reikšmes.



Šaltinis: sukurta autoriaus.

69 pav. Vakarėjimo proceso stebėseną ir autonomišką šviestuvo valdymą

Šiame duomenų pjūvyje (69 pav.) buvo pateiktos minutės vidutinės reikšmės. Apšviestumas laikui bėgant yra stabilus, tačiau dideli nuokrypiai galios sistemoje rodo, kad natūralus apšviestumas už lango keičiasi dinamiškai. Todėl kai sistema veikia įvertinant tik užduočių tvarkaraštį, šie šuoliai nebus įvertinti iš anksto. Siekiant juos įvertinti, reikėtų sistemoje realizuoti debesuotumo prognozės algoritmus.

#### 4.8 El. energijos valdymo sistemos architektūros savybės ir galimi tobulinimai

Siūlomos autonominės el. energijos valdymo sistemos architektūra leidžia ne tik surinkti aplinkos parametrų duomenis, atlikti analizę, bet ir valdyti paslaugų prietaisus bei gauti grįžtamąjį ryšį. Šios sistemos savybės apibendrintos 70 paveiksle.

Efektyvumas	Siekiant padidinti suvartojimo prognozės tikslumą, pasiūlytas užduočių vykdymo planas, kuris priderinamas prie statistinių matematinių bei netiesinių prognozės metodų. Sistemoje numatytas grįžtamasis ryšys, įvertinti, kada valdymas neatitinka numatyto suvartojimo. Tokiu atveju sistema gali pakoreguoti valdymo sprendimą.
Valdymas ir automatizacija	Sukurtas interpretatoriaus mechanizmas jutiklių tinklams įgalina apibrėžti įrenginio paskirtį, veikimo metu (angl. runtime). Sprendimų priėmimo sistema prietaisų valdymą tinkle atlieka autonomiškai, remiantis istoriniais ir prognozės rezultatais. Komandų valdymas ir interpretavimas atliekamas įterptinėse sistemose leidžia valdyti elektros prietaisų sąnaudas, įvertinant galios koeficientą.
Komunikacijos	Sukurtas tinklo taikymo sluoksnis, mobiliai ir kintančiai topologijai įgyvendinti. Naudojamas taikymo sluoksnis yra suderintas su įvairaus tipo ir jutiklių duomenimis, todėl viena sistema gali rinkti ir saugoti tiek vienmačių, tiek daugiamačių aplinkos parametrų duomenis.

Šaltinis: sukurta autoriaus.

70 pav. ESVS architektūros savybės

Turint tikslią saulės matomumo prognozę (įvertinant debesuotumą) galima papildyti esamą duomenų bazę ir sprendimų priėmimo sistemą, kad būtų galima įvertinti apšviestumo poreikį, kai saulės pozicijos ir debesuotumo grafikų parametrai prognozuojami ir realiu laiku patikrinami, siekiant patikslinti



vėlesnės prognozės rezultatus. Naudojantis šiais parametrais būtų galima pakoreguoti natūralaus apšviestumo prognozės modelį.

Sistema nebuvo išbandyta, tačiau yra pritaikyta veikti, kai reikalingas greitas atsakas į besikeičiančias dinamiškas aplinkos charakteristikas. Išmaniajame būste tokias sąlygas rasti arba sudaryti yra sunku. Tokią sistemos funkciją būtų galima eksperimentiškai panaudoti ir ištirti elektros energiją arba kitus resursus naudojančiose mobiliose transporto sistemose (pvz.: pilotuojamos ir bepilotės skraidančios bei keliu judančios, transporto priemonės).

El. paslaugų sistemoms taikomi valdymo metodai valdant paslaugose naudojamus prietaisus, atlikus šaltinių analizę bei parinkus tinkamus jutiklius, gali būti panaudoti ne tik taupyti išteklius, bet ir valdyti prietaisus, tačiau būtina sąlyga tokiai sistemai yra gauti tikslų atsaką į sprendimų priėmimo sistemos išėjimus (veiksmus) ir įvertinti valdymo analizės modulio rezultatą.

#### 4 skyriaus išvados

1) Atlikti eksperimentai parodė, kad valdant prietaisus, reikia įvertinti galios koeficientą. Jeigu jis mažas, energija naudojama neefektyviai. Jeigu galios koeficientas mažas atliktus įrenginio valdymą, tai techninėmis priemonėmis efektyvumą galima padidinti.

2) Siekiant išsiaiškinti jutiklių panaudojimą kuriant išmaniojo būsto paslaugų sistemas, buvo apžvelgtas jutiklių duomenų surinkimo principas. Pavyzdžiui, jeigu siekiama pamatuoti oro kokybės parametrus išmaniojoje aplinkoje, reikia įvertinti kada tikslinga rinktis duomenis. Šiame darbe atliktas jutiklių realaus laiko momentinių duomenų išsaugojimo eksperimentinis tyrimas parodė, kad priklausomai nuo naudojamo jutiklio ir aplinkos parametro, duomenų aptikimas ir jų reikšmių stabilizacijos trukmė gali kisti, todėl atliekant duomenų nuskaitymą reikia naudoti nusistovėjimo (stabilizacijos) funkciją, kad tarpinės reikšmės nebūtų naudojamos vietoje galutinių.

3) Energijos išteklių valdymo sistemos duomenis galima nagrinėti kaip stacionarią laiko eilutę ir taikyti matematinius bei statistinius modelius prognozei atlikti (pavyzdžiui ARMA). Jeigu duomenyse sezoniškumo ir krypties (angl. *trend*) komponentės neaiškios, siūloma naudoti neuroninių tinklų algoritmus. Kai reikalinga prognozė viena nuoskaita į ateitį, galima naudoti Kalmano filtro prognozę. Bet kuriuo prognozės atveju galima pritaikyti užduočių planą, kuris prideda tikslumo bet kuriam iš nagrinėjamų algoritmų, nes įvertinamas įrenginių naudojimo planas.

4) Sistemos priimami energijos valdymo sprendimai turi turėti grįžtamąjį ryšį, todėl per sistemos architektūrai numatytą valdymo analizės modulį į sistemą grįžta atsakas, kuris padeda įvertinti ir patikslinti sprendimą realiu laiku.

5) Eksperimentiškai išbandant sistemą buvo stebima, kaip vykdomas dirbtinio apšviestumo valdymas realiu laiku. Sistema užtikrino pastovų numatytą apšviestumą, tačiau buvo pastebėtas galios kreivės kitimas, kai apšviestumas pastovus, o aplinka temsta natūraliai (vakarėjant). Norint, kad

vakarėjimo procesą būtų galima įvertinti prognozės algoritmais, į prognozės modelio duomenis reikia įtraukti klimato sekimo priemonės.

## BENDROSIOS IŠVADOS

1) Apžvelgus kitų autorių siūlomus sprendimus ir technologijas išmanojo būsto energijos išteklių valdymui, buvo susisteminta ir apibrėžta, kokios pagrindinės sistemos komponentės naudojamos kuriant energijos sąnaudų valdymo sistemą.

a) Šiuo metu kuriamos elektros energijos valdymo sistemos neatlieka buitinių prietaisų valdymo pagal elektros energijos sąnaudų prognozę su tikslu autonomiškai valdyti išmanaus būsto aplinką.

b) Daiktų interneto platformos apima tik dalį komponentų, skirtų elektros energijos sąnaudų autonominiam valdymui atlikti: apibrėžiama tik komunikacija tarp prietaisų ir siūlomos grįžtamojo ryšio galimybės po stebėsenos rezultatų apdorojimo.

c) Kuriami sprendimai koncentruojami į elektros energijos naudotojo sąskaitų tvarkymą, tačiau analizės komponentai lieka neautomatizuoti.

2) Kuriant namų automatizacijos valdymo sistemas, nuotolinė prieiga, duomenų analizė ir reagavimas aplinkoje į įvykius turi būti užtikrinama panaudojant daiktų interneto technologines galimybes ir mobiliąją kintančios topologijos infrastruktūrą. Darbe siūloma elektros energijos valdymo sistemose naudoti tinklelio topologijos komunikacijos tinklą, prisitaikant prie įterptinių sistemų tinklo mobilumo savybių.

3) Siūlomas tinklo taikymo sluoksnis leidžia neapibrėžiant įrenginio paskirties, sukurti aparatinį sprendimą ir įdiegti prietaisą su jutikliais bei valdikliais į išmaniają aplinką. Autoriaus siūlomo jutiklių tinklo prietaisai, konfigūruojami įrenginio veikimo metu (angl. *runtime*). Tai užtikrina ne tik mobilią, bet ir realiu metu kintančią tinklo topologiją.

4) Energijos išteklių valdymo sistemos duomenis galima nagrinėti kaip stacionarią laiko eilutę ir taikyti matematinius bei statistinius modelius prognozei atlikti (pavyzdžiui ARMA). Jeigu duomenyse sezoniškumo ir krypties (angl. *trend*) komponentės neaiškios, siūloma naudoti neuroninių tinklų algoritmus. Kai reikalinga prognozė viena nuoskaita į ateitį, galima naudoti Kalmano filtro prognozę. Bet kuriuo sąnaudų prognozės atveju galima pritaikyti

užduočių vykdymo planą, kuris tikslina bet kurį iš nagrinėjamų algoritmų, nes įvertinamas įrenginių naudojimo tvarkaraštis. Eksperimento metu buvo pastebėta, kad prognozę galima patikslinti iki 7%.

5) Elektros energijos valdymo sistemas siūloma papildyti sprendimų priėmimo sistema, kuri priimdama valdymo sprendimą remiasi Mili (angl. *Mealy*) baigtiniu būsenų automatu įtraukiant aplinkos parametrų prognozės rezultatus. Autonominis valdymo sprendimas koreguojamas autoriaus pasiūlyta 3 žingsnių grįžtamojo ryšio struktūra. Praktiškai išbandant sistemą buvo stebima, kaip vykdomas dirbtinio apšviestumo valdymas realiu laiku. Sistema užtikrino pastovų numatytą apšviestumą, tačiau buvo pastebėtas galios kreivės kitimas, kai apšviestumas pastovus, o aplinka temsta natūraliai (vakarėjant).

## Literatūra

- 1) Adinya O. J., Daoliang L. Transceiver energy consumption models for the design of Low power wireless sensor networks. Research and Development (SCORed), 2012, p. 193 – 197.
- 2) Al Shamisi M. H., Assi A. H., Hejase H. A. N. Using MATLAB to Develop Artificial Neural Network Models for Predicting Global Solar Radiation in Al Ain City – UAE. Engineering Education and Research Using MATLAB, 2011.
- 3) Alberolal J., Pelegril J., Lajaral R., Juan Perez J. Solar Inexhaustible Power Source for Wireless Sensor Node, 2008, p. 657 – 662.
- 4) Alipp C., Galperti C. An Adaptive Maximum Power Point Tracker for Maximising Solar Cell Efficiency in Wireless Sensor Nodes. Circuits and Systems, 2006, p. 3722 – 3725.
- 5) Amir A. Sayegh and Terence D. Todd. Energy Management in Solar Powered WLAN Mesh Nodes Using Online Meteorological Data. Communications, 2007, p 3811 – 3816.
- 6) Andziulis A., Bielskis A. A., Denisovas V., Ramašauskas O., Bielskienė J., Bielskis P., Guseinovicė E. An Approach of Creating of an Intelligent Mobile Tutoring Eco-social Laboratory for Assisted Recreation. Electronics and Electrical Engineering (ISSN 1392–1215), Nr. 3(91). – K.: Technologija, 2009, p. 61–66.
- 7) Azmoon H., Dehghan H., Akbari J., Souri S. The Relationship between Thermal Comfort and Light Intensity with Sleep Quality and Eye Tiredness in Shift Work Nurses. Journal of Environmental and Public Health, vol. 2013. 2013, p. 1 – 5. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/639184>
- 8) Baig F., Mahmood A., Javaid N., Razzaq S., Khan N., Saleem Z. Smart Home Energy Management System for Monitoring and scheduling of Home Appliances Using ZigBee. Journal of Basic and Applied Scientific Research, vol. 3, issue 5. 2013. P. 880 – 891. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/profile/Anzar\\_Mahmood/publication/263243964\\_Smart\\_Home\\_Energy\\_Management\\_System\\_for\\_Monitoring\\_and\\_Scheduling\\_of\\_Home\\_Appliances\\_Using\\_Zigbee/links/0a85e53a419e6725e8000000/Smart-Home-Energy-Management-System-for-Monitoring-and-Scheduling-of-Home-Appliances-Using-Zigbee.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anzar_Mahmood/publication/263243964_Smart_Home_Energy_Management_System_for_Monitoring_and_Scheduling_of_Home_Appliances_Using_Zigbee/links/0a85e53a419e6725e8000000/Smart-Home-Energy-Management-System-for-Monitoring-and-Scheduling-of-Home-Appliances-Using-Zigbee.pdf)

- 9) Baldoni R. Distributed Event Routing in Publish/Subscribe Systems. [Interaktyvus], 2009, atverta 2016-12-20, prieiga per internetą: <https://de.slideshare.net/RobertoBaldoni/distributed-event-routing-in-publishsubscribe-systems>.
- 10) Banafa A. Securing the Internet of Things (IoT) with Blockchain. 2016. [Interaktyvus], atverta 2017-03-22. Prieiga per internetą: <https://ahmedbanafa.blogspot.lt/2016/08/securing-internet-of-things-iot-with.html>.
- 11) Barnawi Y. A., Keshta M. I. Energy Management in Wireless Sensor Networks Based on Naive Bayes, MLP, and SVM Classifications: A Comparative Study. Journal of Sensors (vol. 2016), 2016, p. 1 – 12, prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6250319>
- 12) Bidgely. Consumer Engagement, Gain an Edge through Energy Disaggregation. 2017. [Interaktyvus], atverta 2017-05-22. Prieiga per internetą: [http://www.bidgely.com/wp-content/uploads/2017/04/Bidgely-Customer-Engagement-Playbook\\_EU.pdf](http://www.bidgely.com/wp-content/uploads/2017/04/Bidgely-Customer-Engagement-Playbook_EU.pdf)
- 13) Bielskis A. A., Grecevičius P., Ramašauskas O. Development of an intelligent eco-social environment for assisted living. Vadyba, ISSN 1648-7974 Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla, 2009, Nr.1 (14), p.89-98 (Index Copernicus (IC) DB <http://www.indexcopernicus.com>).
- 14) Bielskis A.A., Dzemydienė D., Denisov D., Andziulis A., Drungilas D. An approach of multi-agent control of bio-robots using intelligent recognition diagnosis of persons with moving disabilities. Technological and economic development of economy. Vilnius: Technika, 2009, Vol. 15, No. 3, p. 377-394.
- 15) Brunelli, D., Benini, L., Moser, C., Thiele, L., An Efficient Solar Energy Harvester for Wireless Sensor Nodes. Design, Automation and Test in Europe, 2008, p. 104 – 109.
- 16) Greaves C. E. L. Time series prediction with feed-forward neural networks. [Interaktyvus], atverta 2016-03-15, prieiga per internetą: <http://neuroph.sourceforge.net/TimeSeriesPredictionTutorial.html>
- 17) <http://neuroph.sourceforge.net/TimeSeriesPredictionTutorial.html>
- 18) Chen S., Yao J., Wu Y. Analysis of the Power Consumption for Wireless Sensor Network Node Based on Zigbee. Procedia Engineering (29), 2012, p. 1994 – 1998.
- 19) Chen Y., Chuah C. N., Zhao Q. Network configuration for optimal utilization efficiency of wireless sensor networks. Ad Hoc Networks (6), 2008, p. 92 – 107.

- 20) Daniela R., Anna B., Paolo C. S., Alena T. Energy Consumption and Thermal Comfort Assessment in Retail Stores: Monitoring and Dynamic Simulation Applied to a Case Study in Turin. *Energy Procedia* (vol. 78), 6th International Building Physics Conference, 2015, p. 1015-1020, prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.049>.
- 21) Davoli L., Belli L., Cilfone A., Ferrari G. Integration of Wi-Fi mobile nodes in Web Of Things. *ICT Express*, vol. 2 (3), 2016, p. 96-99, prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ict.2016.07.001>.
- 22) De D., Tang S., Song W.Z., Cook D., Das S. K. ActiSen: Activity-aware sensor network in smart environments. *Pervasive and Mobile Computing* (8), 2012, p. 730 – 750.
- 23) Deshpande S. V., Vibhute S. A., Choure K. A., Smitha P. Home automation using PLC and SCADA. 2014. *Multidisciplinary Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 1, issue 1, p. 111-118. Prieiga per internetą: <http://www.mjret.in/V1I1/M20-1-1-4-2014.pdf>.
- 24) De Silva C. L., Morikawa C., Petra M. I. State of the art of smart homes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (25), 2012, p. 1313 – 1321.
- 25) Ding D., Cooper A. R., Pasquina F. P., Pasquina F. L. Sensor technology for smart homes. *Maturitas* (69), 2011, p. 131 – 136.
- 26) Duch W., Jankowski N. Transfer functions: hidden possibilities for better neural networks. *ESANN'2001 proceedings – European Symposium on Artificial Neural Networks*. 2001, p. 81-94.
- 27) Dzemydienė D., Guseinovicė E., Žulkas E. „An approach of designing of decision support system in smart human closed environment.“ *International Conference Social Innovations for Global Growth*, 2015.
- 28) Elgama Sistemas. Elektros energijos apskaita. [Interaktyvus], atverta 2017-03-20, prieiga per internetą: <http://www.elgsis.lt/index.php?id=101>
- 29) EnergyCurb. Curb Installation Guide. 2016. [Interaktyvus], atverta 2017-05-20. Prieiga per internetą: <http://energycurb.com/wp-content/uploads/2016/01/CURB-Installation-Guide-201511.d14.pdf>
- 30) EnergyDetective. Ways to use TED in your Home or Office to Save. 2016. [Interaktyvus], atverta 2017-04-11. Prieiga per internetą: [www.theenergydetective.com/uses](http://www.theenergydetective.com/uses).



- 31) Engerati. BEAD Energy Analysis at Commercial Buildings. [Interaktyvus], atverta 2016-08-25, prieiga per internetą: <https://www.engerati.com/eua/best-international-project/bead-energy-analysis-commercial-buildings>
- 32) Eriksson N. Predicting demand in district heating systems – A neural network approach. Uppsala University, 2012.
- 33) Fatafta I. Publish-Subscribe Model Overview. [Interaktyvus], 2012, atverta 2016-12-20, prieiga per internetą: <https://de.slideshare.net/ishraqabd/publish-subscribe-model-overview-13368808>.
- 34) Farahani S. Zigbee Wireless Networks and Transceivers. [Intektaktyvus], 2008, atverta 2017-01-17, prieiga per internetą: <http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf>.
- 35) Feinberg E. Smart Grid Optimization. Energy 2012. Department of Applied Mathematics & Statistics. Stony Brook University. 2012. [Interaktyvus], atverta 2017-04-10, prieiga per internetą: <http://studylib.net/doc/18633313/smart-grid-optimization>.
- 36) Feynman R. An analysis of partial reflection (II). [Interaktyvus], atverta 2017-01-10, prieiga per internetą: <https://readingfeynman.org/tag/richard-feynman/>.
- 37) Flammini A., Ferrari P., Sisinni E., Marioli D., Taroni A. Sensor integration in industrial environment- from fieldbus to web sensors. Computer Standards & Interfaces (25), 2003, p. 183 – 194.
- 38) Fusco F., Fischer U., Lonij V., Pompey P., Fiot J.B., chen B., Gkoufas Y., Sinn M. Data management system for energy analytics and its application to forecasting. EDBT/ICDT Workshops. 2016. Prieiga per internetą: [ceur-ws.org/Vol-1558/paper16.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1558/paper16.pdf)
- 39) Gakkestad J., Hanssen L. Powering Wireless Sensor Networks Nodes in Northern Europe Using Solar Cell Panel for Energy Harvesting. New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2011, p. 1 – 5.
- 40) Galvao J., Leitao S., Malheiro S., Gaio T. Model of Decentralized Energy on Improving the Efficiency in Building Services. Energetics (IYCE), 2011, p. 1 – 8.
- 41) Gintalas A. Metodologijos ir metodo samprata. 2011. [Interaktyvus], atverta 2016-04-15. Prieiga per internetą: [https://www.mruni.eu/upload/iblock/104/12\\_Gintalas.pdf](https://www.mruni.eu/upload/iblock/104/12_Gintalas.pdf)
- 42) GE Industrial, Energy management systems. Introduction. 2011 [Interaktyvus], atverta 2017-04-10. Prieiga per internetą:

- 43) [http://web.stanford.edu/class/archive/ee/ee392n/ee392n.1116/Lectures/EE392n\\_Lecture5GE.pdf](http://web.stanford.edu/class/archive/ee/ee392n/ee392n.1116/Lectures/EE392n_Lecture5GE.pdf)
- 44) Hassan M., Bermak A. Solar Harvested Energy Prediction Algorithm for Wireless Sensors. *Quality Electronic Design (ASQED)*, 2012, p. 178 – 181.
- 45) Heile B., Dvorak J., Oien E. G., Naevve M. IEEE 802.15.4 and ZigBee. University of Kentucky. 2015. [Interaktyvus], atverta 2016-08-08. Prieiga per internetą:  
[http://voip.netlab.uky.edu/~fei/teaching/cs687\\_smartgrid/slides/3.zigbee.pdf](http://voip.netlab.uky.edu/~fei/teaching/cs687_smartgrid/slides/3.zigbee.pdf)
- 46) Helal S., Mann W., El-Zabadani H., Jansen E. The Gator Tech Smart House: A Programmable Pervasive Space. *Innovative Technology for Computing Professionals. Computer* 38 (vol. 3), 2005, p. 50 – 60. Prieiga per internetą:  
<https://doi.org/10.1109/MC.2005.107>.
- 47) Huang R., Huang T., Gadh R., Li N.. Solar Generation Prediction using the ARMA Model in a Laboratory-level Micro-grid. *Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2012, p. 528 – 533.
- 48) Huang X., Wang J., Fang Y. Achieving maximum flow in interference-aware wireless sensor networks with smart antennas. *Ad Hoc Networks* (5), 2007, p. 885 – 896.
- 49) Jadhav U., Shetty A. Effect of varying neurons in the hidden layer of neural network for simple character recognition. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication* (vol. 4, issue 6). 2016, p. 266 – 269. Prieiga per internetą:  
[http://www.ijritcc.org/download/browse/Volume\\_4\\_Issues/June\\_16\\_Volume\\_4\\_Issue\\_6/1466658910\\_23-06-2016.pdf](http://www.ijritcc.org/download/browse/Volume_4_Issues/June_16_Volume_4_Issue_6/1466658910_23-06-2016.pdf)
- 50) Jankovic A. S., Maksimovic M. D. Network configuration for optimal utilization efficiency of wireless sensor networks. *Microelectronics Reliability* (43), 2003, p. 319 – 326.
- 51) Jiang N., Chen Z. Model-Driven Data Cleaning for Signal Processing System in Sensor Networks. *Signal Processing Systems (ICSPS)*, 2010, p. 237 – 242.
- 52) Jiang X. A High-Fidelity Energy Monitoring and Feedback Architecture for Reducing
- 53) Electrical Consumption in Buildings. [Interaktyvus], 2010, atverta 2016-12-20, prieiga per internetą: <http://fredjiang.com/papers/JiangDissertationSigned.pdf>.

- 54) Jiang X., Taneja J., Ortiz J., Tavakoli A., Dutta P., Jeong J., Culler D., Levis P., Shenker S. An Architecture for energy management in wireless sensor networks. ACM SIGBED Review - Special issue on the workshop on wireless sensor network architecture (vol. 4, issue 3), 2007, p. 31 – 36.
- 55) John A., Martinez E. K. Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs. ACEEE 30 Years of Energizing Efficiency. [Interaktyvus], atverta 2017-05-22. Prieiga per internetą: <https://www.bluelineinnovations.com/files/ACEEE-Energy-Feedback-Perspectives-Sep-14-2010.pdf>
- 56) John A. Using ZigBee Wireless Networking to Develop Commercial Products. Freescale semiconductors. [Interaktyvus], atverta 2016-09-20, prieiga per internetą: <http://rtcmagazine.com/articles/view/100656>
- 57) Kaklauskas, A.; Zavadskas, E.K.; Cerkauskas, J.; Ubarte, I.; Banaitis, A.; Krutinis, M.; Naimaviciene, J. 2015. Housing Health and Safety. Decision Support System with Augmented Reality. Procedia Engineering, 122 ( 2015 ): 143 – 150.
- 58) Kaklauskas, A. Rute, J.; Zavadskas, E.K.; Daniunas A.; Pruskus V.; Bivainis J.; Gudauskas R.; Plakys V. 2015. Passive House Model for Quantitative and Qualitative Analyses and Its Intelligent System. Intelligent Systems Reference Library. 81: 87-112 · December 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-13659-2\_3.
- 59) Kanda, ZigBee Wireless Interfaces and Modules. [Interaktyvus], atverta 2016-08-12, prieiga per internetą: <https://www.kanda.com/zigbee-wireless.html>
- 60) Klaus S. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. [Interaktyvus], atverta 2017-04-15. Prieiga per internetą: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- 61) Koponen P. Short-Term Load Forecasting Model Based on Smart Metering Data. Daily energy prediction using physically based component model structure. Smart Grid Technology, Economics and Policies (SG-TEP), 2012, p. 1 – 4.
- 62) Krawer L. K., Guthaus R. M., Strong D. T., Bird L. P., Cha S. G., Hold W., Brown B. R. A mixed-signal sensor interface microinstrument, Sensors and Actuators (A 91), 2001, p. 266 – 277.
- 63) Kugelevičius J. A., Kuprys A. Stochastinių energijos sunaudojimo procesų identifikacija. Energetika (4), 2003, p 42 – 48.
- 64) Lapinskas R. Ekonometrija su kompiuteriu II. Laikinės sekos. 2008, Vilnius.

- 65) Li H., Wang H., Yin W., Li Y., Qian Y., Hu F., Development of a Remote Monitoring System for Henhouse Environment Based on IoT Technology. *Future Internet* (vol. 7). 2015, p. 329 – 341. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.3390/fi7030329>.
- 66) Li J., Zhang W., Xia X. Scalable Publish/Subscribe Service in Wireless Mesh Networks. *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)*. 2010, p. 1 – 5. Prieiga per internetą: <http://docplayer.net/27261348-Scalable-publish-subscribe-service-in-wireless-mesh-networks.html>.
- 67) Libelium. New Smart Metering sensor board for Waspote. 2010, [interaktyvus], (peržiūrėta 2016-06-06), prieiga per internetą: <http://www.libelium.com/102932933528/>
- 68) Long J., Plant G. N. Extended Kalman filter framework for forecasting shoreline evolution. *Geophysical research Letters*, vol. 39, issue 13. 2012. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1029/2012GL052180>
- 69) Lukoševičiūtė K. Chaotinių procesų rekonstravimo bei algebrinių sekų modeliai laiko eilučių prognozavime. Kauno technologijos universitetas, 2012.
- 70) Madiseti V., Williams D. B. *The Digital Signal Processing Handbook*. Second Edition - 3 Volume Set. IEEE Press. 2009.
- 71) Mahmoud Lurwan S., Mariun N. B., Mohd Radzi M. A., Hizam H. Solar Radiation Prediction Model for Solar Panel and Thermal Collectors in Malaysia, *International Journal of Electrical Components & Sustainable Energy* (vol 1, 2), 2013.
- 72) Makinwa K. A. A., Smart Temperature sensors in Standard CMOS. *Procedia Engineering* (5), 2010, p. 930 – 939.
- 73) MatLab, Introduction: Frequency Domain Methods for Controller Design, 2015. [Interaktyvus], atverta 2016-03-10, prieiga per internetą: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction&section=ControlFrequency>
- 74) <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction&section=ControlFrequency>
- 75) MatLab, Nonlinear autoregressive neural network with external input. 2017. [Interaktyvus], atverta 2017-01-16, prieiga per internetą: Nonlinear autoregressive neural network with external input.
- 76) MatLab, Neural Network Time-Series Prediction and Modeling. [Interaktyvus], atverta 2016-04-07, prieiga per internetą:

<https://se.mathworks.com/help/nnet/gs/neural-network-time-series-prediction-and-modeling.html?requestedDomain=www.mathworks.com>

77) Merrett V. G., Harris R. N., Al-Hashimi M. B., White M. N. Energy managed reporting for wireless sensor networks. *Sensors and Actuators (A 142)*, 2008, p. 379 – 389.

78) Mitsubishi Electric Corporation. Energy Measuring Unit Energy Measuring Standard Model, Energy Measuring Unit Energy Measuring High Performance Model, 2015.

79) Minerva R., Biru A., Rotondi D. Towards a definition of the Internet of Things. 2015. IEEE Internet of Things. [Interaktyvus], atverta 2017-01-20, prieiga per internetą:

[http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Revision1\\_27MAY15.pdf](http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf)

80) Mokhtar Z. K., Saleh M. J. An Oil Fraction Neural Sensor Developed Using Electrical Capacitance Tomography Sensor Data. *Sensors* 13 (9), 2013. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.3390/s130911385>.

81) Murtaza, M.A., Tahir, M. Optimal Data Transmission and Battery Charging Policies for Solar Powered Sensor Networks using Markov Decision Process. *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2013, p. 992 – 997.

82) Mustafa M. A. Feedback control systems. *ECM2105 – Control Engineering*. 2013. [Interaktyvus], atverta 2017-04-11. Prieiga per internetą:

83) <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=53365cddd5a3f2df358b45d8&assetKey=AS%3A273621048594445%401442247749929>

84) National Instruments. *Wireless Sensor Network Topologies and Mesh Networking*. 2010, [interaktyvus], atverta 2017-01-11. Prieiga per internetą: <http://www.ni.com/white-paper/11211/en/>

85) Neur IO. *Neurio Sensor W1 Overview*. [Interaktyvus], atverta 2017-06-05. Prieiga per internetą: [https://www.neur.io/wp-content/uploads/2017/05/Neurio\\_Sensor\\_W1\\_Overview\\_280416C.pdf](https://www.neur.io/wp-content/uploads/2017/05/Neurio_Sensor_W1_Overview_280416C.pdf)

86) Niyato D., Hossain E., Rashid M. M., Bhargava V. K. *Wireless Sensor Networks With Energy Harvesting Technologies: A Game-Theoretic Approach To Optimal Energy Management*. *IEEE Wireless Communications*, 2007, p. 90 – 96.

- 87) Niyato, D., Hossain, E., Fallahi, A. Sleep and Wakeup Strategies in Solar-Powered Wireless Sensor/Mesh Networks: Performance Analysis and Optimization. *Mobile Computing* (vol. 6, 2), 2007, p. 221 – 236.
- 88) NL Agency. Power Matching City II. Experimenting With Intelligent Networks. 2013. [Interaktyvus], atverta 2017-04-05, prieiga per internetą:
- 89) <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Power%20matching%20city%20II.pdf>
- 90) Oberhouse D. This Is What the Fourth Industrial Revolution Looks Like. 2015. [Interaktyvus], atverta 2017-05-01. Prieiga per internetą:  
[https://motherboard.vice.com/en\\_us/article/life-after-the-fourth-industrial-revolution](https://motherboard.vice.com/en_us/article/life-after-the-fourth-industrial-revolution)
- 91) On Semiconductor. Power Factor Correction (PFC) Handbook. Choosing the Right Power Factor Controller Solution. *Energy Efficient Innovations*, 2014. [Interaktyvus], atverta 2017-01-20, prieiga per internetą:  
<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/HBD853-D.PDF>.
- 92) OpenEnergyMonitor, Measuring AC Voltage with an AC to AC power adapter. [interaktyvus], atverta 2016-12-05. Prieiga per internetą:
- 93) <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/voltage-sensing/measuring-voltage-with-an-acac-power-adapter>.
- 94) Paramanathan A., Rasmussen U. W., Hundeboll M, Rein S. A., Fitzek F. H. P., Ertli G., Energy consumption model and measurement results for network coding-enabled IEEE 802.11 meshed wireless networks. *Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, 2012, 286 – 291.
- 95) Patrick Kinney. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works. 2003 [interaktyvus], atverta 2010-04-29. Prieiga per internetą:  
[http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop\\_download.asp?contentID=5162](http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162).
- 96) A. Quarto, V. Di Lecce, R. Dario, J. Uva, “Personal dosimeter for the measurement of artificial optical radiation (AOR) exposure”, In *Conf. IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications (CIMSA)*, Ottawa, 2011, p. 47–52.
- 97) Quadralay Corp. How to Create an Application on The LCU. [Interaktyvus], atverta 2017-04-22. Prieiga per internetą: <https://www.eso.org/projects/vlt/sw-dev/wwwdoc/ADD-DOC/VLT-MAN-ESO-17210-0667/Output/createAppLCU.html>

- 98) Raza S., Misra P., He Z., Voigt T. Building the Internet of Things with Bluetooth smart. Ad Hoc Networks. 2016. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.08.012>
- 99) Rainys R. Regionų interneto tinklo infrastruktūros patikimumo tyrimai. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. Technologijos mokslai, Elektros ir Elektronikos Inžinerija (01T), 2011, Vilnius.
- 100) Rekašius T. Ekonometrija. Laiko eilutės ARMA modelio parinkimas ir prognozė. 2012.
- 101) Richard Ch. What is the 4th Industrial Revolution (4IR)? 2016. [Interaktyvus], atverta 2017-04-10. Prieiga per internetą: <https://www.eef.org.uk/campaigning/news-blogs-and-publications/blogs/2016/aug/what-is-the-4th-industrial-revolution>
- 102) Sabit H., Al-Anbuky A., Hosseini H. G. Wireless Sensor Network Based Wildfire Hazard Prediction System Modeling. Procedia Computer Science (5), 2011, p. 106 – 114.
- 103) Satec. Energy Saving by Energy Management. 2015. [Interaktyvus], atverta 2017-04-10. Prieiga per internetą: [http://www.satec-global.com/sites/default/files/Energy-Saving-by-Energy-Management\\_September2015.pdf](http://www.satec-global.com/sites/default/files/Energy-Saving-by-Energy-Management_September2015.pdf)
- 104) Schmid J., Gaedeke T., Scheibe T., Stork W. Improving Energy Efficiency for Small-Scale Solar Energy Harvesting. Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech), 2012, p 1 – 9.
- 105) Sharma N., Singh M. K., Goswami A. A Heuristic Approach for Component Selection of Low Power Micro sensor Nodes based on Simple Energy Model. Electronics Computer Technology (ICECT), 2011, p. 290-295.
- 106) Sicilia A., Costa G., Corrado V., Corno F. A Semantic Decision Support system to optimize the energy use of public buildings. CIB W78 conference. 2015. P. 676 – 686. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14783.30884>
- 107) Siemens, Communication in building automation.[Interaktyvus], atverta 2016-08-10 prieiga per internetą: [http://www.downloads.siemens.com/download-](http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10209534)
- 108) [center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10209534](http://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10209534)
- 109) Sinderen V. M., Warnier M., Shishkov B. Service-oriented architecture for household energy management. 2010, [interaktyvus], atverta 2017-02-02, prieiga per internetą: <http://homepage.tudelft.nl/68x7e/Papers/iwest2010-2.pdf>.

- 110) Sita I. V., Dobra P. KNX Building Automations Interaction with City Resources Management System. *Procedia Technology*, vol. 12, p. 212 – 219, prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.477>.
- 111) SoftNet, Send Http tool, [Interaktyvus], atverta 2016-05-10, prieiga per internetą: <http://soft-net.net/send-http-tool/>.
- 112) Song G., Zhou Y., Wei Z., Song A. A smart node architecture for adding mobility to wireless sensor networks. *Sensors and Actuators (A 147)*, 2008, p. 216 – 221.
- 113) Soparia J., Bhatt N. A Survey on Comparative Study of Wireless Sensor Network Topologies. *International Journal of Computer Applications* (vol. 87, no. 1), 2014, p. 40-43. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/profile/Jolly\\_Soparia/publication/262998099\\_A\\_Survey\\_on\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Wireless\\_Sensor\\_Network\\_Topologies/links/0a85e53b6e3c37e9e5000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jolly_Soparia/publication/262998099_A_Survey_on_Comparative_Study_of_Wireless_Sensor_Network_Topologies/links/0a85e53b6e3c37e9e5000000.pdf).
- 114) Stouffer K., Falco J., Kent K. Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security. NIST Special Publication 800-82. [Interaktyvus], 2006, atverta 2016-12-20, prieiga per internetą: <https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/csd-nist-guidetosupervisoryanddataacquisition-scadaandindustrialcontrolsystemssecurity-2007.pdf>.
- 115) Sun. H. C., Huang. Y. C. Optimization of Power Sheduling for Energy Management in Smart Homes. *Procedia Engineering* (38), 2012, p. 1822 – 1827.
- 116) Sun Q., Li H., Ma Z., Wang C., Campillo J., Zhang Q., Wallin F., Guo J. A Comprehensive Review of Smart Energy Meters in Intelligent Energy Networks. *IEEE Internet of Things Journal* (vol. 3, issue 4), 2016. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2512325>
- 117) Tang Y., Ciuciu I. G. Semantic Decision Support Models for Energy Efficiency in Smart-Metered Homes. *Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, 2012, p. 1777 – 1784.
- 118) ThingWorx, Platforms. [Interaktyvus], atverta 2016-04-13, prieiga per internetą: <https://www.thingworx.com/platforms/>
- 119) ThingWorx, ThingWorx Delivers Advanced Software Platform for Global, Distributed Internet of Things Deployments. [Intekratyvus], atverta 2016-09-25,



- prieiga per internetą:  
<http://www.businesswire.com/news/home/20140616005388/en/ThingWorx-Delivers-Advanced-Software-Platform-Global-Distributed>
- 120) U.S. Department of Energy. Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them. 2006, [Interaktyvus], atverta 2016-09-25, prieiga per internetą:  
[http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE\\_Benefits\\_of\\_Demand\\_Response\\_in\\_Electricity\\_Markets\\_and\\_Recommendations\\_for\\_Achieving\\_Them\\_Report\\_to\\_Congress.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_Benefits_of_Demand_Response_in_Electricity_Markets_and_Recommendations_for_Achieving_Them_Report_to_Congress.pdf)
- 121) Varkie C. Thomas., Azimuth Angles of Building Surfaces. [Interaktyvus], atverta 2016-06-20, prieiga per internetą: <http://energy-models.com/azimuth-angles-building-surfaces>.
- 122) Vasarevičius D., Pikutis M. Matematinis saulės energijos srauto modelis didžiausios galios taško saulės elementuose sekimo algoritmams tirti. Elektronika ir Elektrotechnika, 2012 vol. 4 (1), p. 51 – 55, prieiga per internetą:
- 123) <http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/viewFile/mla.2012.12/pdf>
- 124) Vasseur J. P., Dunkels A. Non-Ip Smart Object Technologies. Interconnecting Smart Objects with IP. The Next Internet. 2010. p. 295-302. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-375165-2.00019-3>
- 125) Vega A. M., Santamaria F., Rivas E. Modeling For Home Electric Energy Management: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015, p. 948-957. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/282792464\\_Modeling\\_for\\_home\\_electric\\_energy\\_management\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/282792464_Modeling_for_home_electric_energy_management_A_review).
- 126) Veleva, S., Davcev, D., Glamocanin, V. Dynamic QoS and QoE balancing model for smart Home Energy Management Systems. Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 2012, p. 1 – 6.
- 127) Walaszczyk J., Batog P. Distributed Ethernet Based System of Measurement and Visualization for Buildings Monitoring. Procedia Engineering (57), 2013, p. 1242 – 1250.
- 128) Xie Y., Zhang Y., Zhirui Y. Short-Term traffic Volume Forecasting Using Kalman Filter with Discrete Wavelet Decomposition. Computer-aided Civil and

Infrastructure Engineering, vol. 22, issue 5. 2007. P. 326-334. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8667.2007.00489.x>

129) Yang H, Zhang Y. Modeling and Analysis of a Solar Powered Wireless Sensor Node. Computing, Networking and Communications (ICNC), 2012, p. 970 – 974.

130) Yamashita K., Suzuki T., Li H., Ao C., Xu Y., Tian J. Architecture Design for the Environmental Monitoring System over the Winter Season. Proceedings of the 14th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access. 2016, p. 27 – 34. Prieiga per internetą: <http://doi.org/10.1145/2989250.2989266>.

131) Yazdanpanah M., Assi C., Shayan Y. Cross-layer optimization for wireless mesh networks with smart antennas. Computer Communications (34), 2011, p. 1894 – 1911.

132) Yongtai H., Lihui L., Yanqiu L. Design of solar photovoltaic micro-power supply for application of wireless sensor nodes in complex illumination environments. Wireless Sensor Systems, IET (vol. 2, 1), 2012, p. 16 – 21.

133) Yuan W., Vincent K.N., Danny H. K. Tsang., Liping Qian., Limin Meng. Optimal Exploitation of Renewable Energy for Residential Smart Grid with Supply-Demand Model, 2012, p. 87 – 92.

134) Zanolli S. M., Barchiesi D. Thermal and Lighting Control System with Energy Saving and Users Comfort Features. In Proc.of 2012 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED) Barcelona, Spain, 2012, IEEE p. 1322-1327.

135) Zheng Y. High Performance Publish/Subscribe Protocols for Wireless Ad Hoc Networks Using Geographic Information. The Hong Kong Polytechnic University. Department Of Computing. 2008, atverta 2016-12-20), prieiga per internetą:

136) [http://ira.lib.polyu.edu.hk/bitstream/10397/3789/2/b23067251\\_ir.pdf](http://ira.lib.polyu.edu.hk/bitstream/10397/3789/2/b23067251_ir.pdf).

137) Zou Z., Li K.J., Li R., Wu S. Smart Home System Based on IPV6 and ZIGBEE Technology. Procedia Engineering (15), 2011, p. 1529 – 1533.

138) Zulkas E., Artemciukas E., Dzemydiene D., Guseinoviene E., Energy consumption prediction methods for embedded systems, Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), p. 1 – 5, 2015.

### **Trumpos žinios apie autorių**

Išsilavinimas:

2012–2017 Vilniaus universitetas (informatikos inžinerijos doktorantūra),

2010–2012 Klaipėdos universitetas (informacijos sistemų magistras),

2006–2010 Klaipėdos universitetas (informatikos bakalauras),

2004–2006 Klaipėdos Vėtrungės gimnazija (vidurinis išsilavinimas),

1994–2004 Klaipėdos Gedminų progimnazija (pagrindinis išsilavinimas).

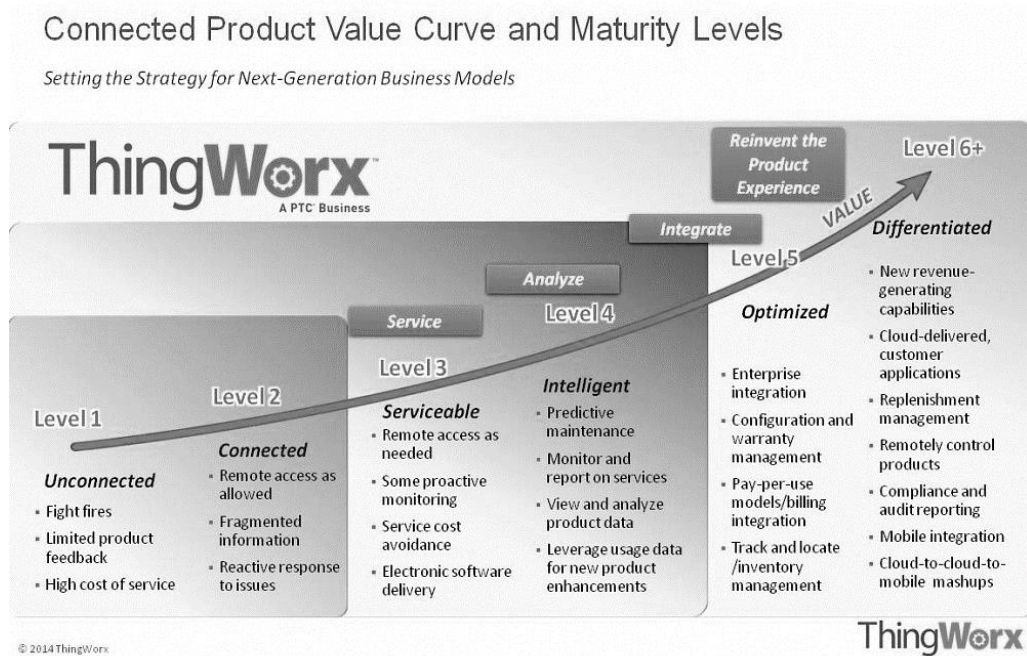
Darbo patirtis:

2011– UAB Koris, Programuotojas.

## 5 Priedai

### 5.1 Daiktų interneto sistemos kūrimo brandos etapai

1 pav. vaizduojami ThingWorx platformos kūrėjų apibrėžti daiktų interneto sistemos kūrimo brandos etapai. Šie etapai parodo sistemos sukurtą produkto vertę, atsižvelgiant į įgalintas komunikacijas, duomenų analizės, paslaugų sistemos priežiūros ir paslaugų apskaitos funkcionalumą.



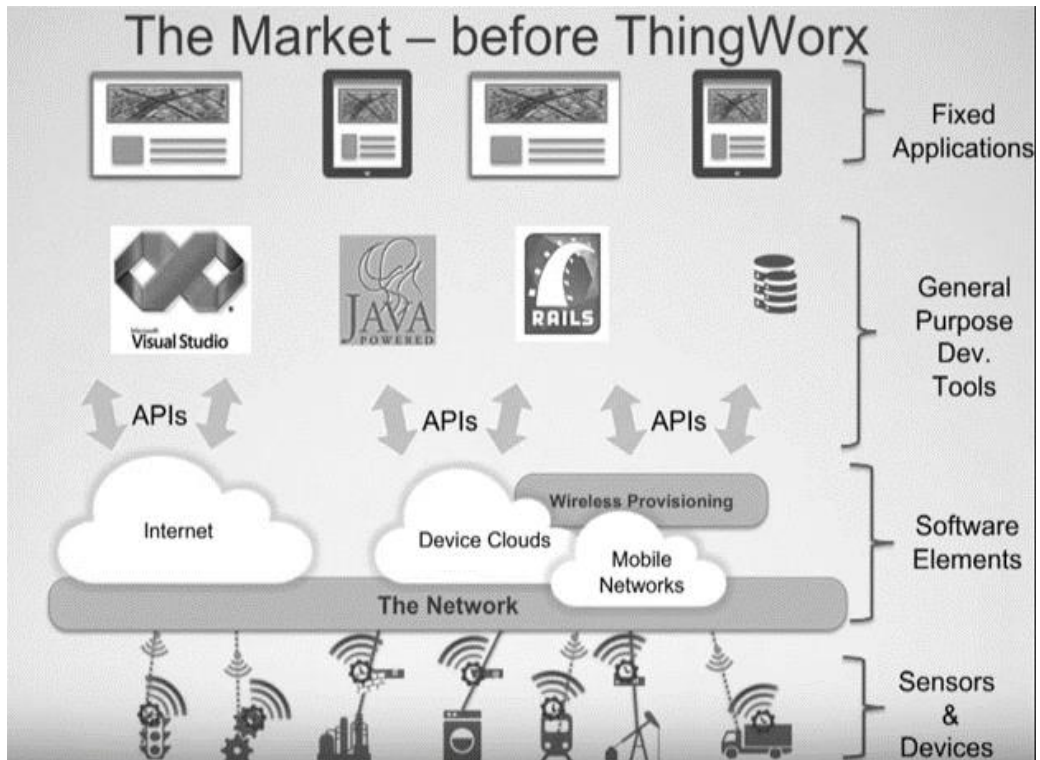
Šaltinis: (Thingworx, 2016)

1 pav. ThingWorx platforma

### 5.2 Įterptinių sistemų kūrimas ir realizacija nenaudojant daiktų interneto

Nenaudojant daiktų interneto tinklo bei rinkoje siūlomų kūrimo platformų, sistemų kūrėjams reikia sukurti produktą, susidedantį iš keturių posistemų (4 pav.), kurios turi būti sujungtos į bendrą sprendimą. Bendrą sprendimą sudaro:

- įterptinės sistemos: jutikliai, valdikliai,
- programinės komunikacinės priemonės,
- bendros paskirties kūrimo įrankiai, atskiroms sistemos dalims kurti,
- taikomosios programos, vartotojo sąsaja.



Šaltinis: (Thingworx, 2016)

2 pav. El. paslaugos tinklo realizacija be daiktų interneto

Evaldas Žulkas

ENERGIJOS SAŃAUDŲ PROGNOZAVIMO IR AUTONOMINIO  
VALDYMO SISTEMOS IŠVYSTYMAS IŠMANIOJO BŪSTO APLINKOJE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai (T000)

Informatikos inžinerija (07 T)

Redaktorė Sandra Čiužienė