



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemos su nuotoline neinvazine kalibravimo funkcija projektavimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Žygimantas Vilkelis

Projekto autorius

doc. Marius Saunoris

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemos su nuotoline neinvazine kalibravimo funkcija projektavimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Elektronikos inžinerija (6211EX012)

Žygimantas Vilkelis

Projekto autorius

doc. Marius Saunoris

Vadovas

doc. Darius Jegelevičius

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos

Žygimantas Vilkelis

Išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemos su nuotoline ir neinvazine kalibravimo funkcija projektavimas ir tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Žygimantas Vilkelis

Patvirtinta elektroniniu būdu

Vilkelis, Žygimantas. Išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemos su nuotoline neinvazine kalibravimo funkcija projektavimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Marius Saunoris; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Elektronikos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: nuotolinis, neinvazinis, paklaida, išmanusis matuoklis, energija.

Kaunas, 2023. 57 p.

Santrauka

Darbe apžvelgiami elektros energijos matavimo skaitikliai, jų sudėtis. Nagrinėjami modernūs elektros matavimo integriniai grandynai naujiems matuokliams ir su jais susiję direktyvų reikalavimai. Apžvelgiami įvairūs elektros matuoklių kalibravimo metodai. Pagal vieno iš nuotolinio neinvazinio metodo reikalavimus suprojektuojama ir pagaminama sinchronizuota elektros energijos matuoklių sistema su nuotoline ir neinvazine kalibravimo funkcija. Atliekamas modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai, kurių metu skaičiuojama, kaip galios šuolių kiekis ir jų dydis keičia tiriamojo matuoklio paklaidos įvertį.

Žygimantas, Vilkelis. Design and Investigation of Smart Energy Meter System with Remote Non-Invasive Calibration. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof., Marius Saunoris; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electronics Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: remote, non-invasive, error, smart meter, energy.

Kaunas, 2023. 57 P.

Summary

The paper reviews electricity meters and their composition. Modern electricity metering integrated circuits for new meters and related directives are reviewed. Various on-site and remote non-invasive calibration methods are reviewed. According to one of the method requirements the remote non-invasive synchronized electricity metering system is produced. An analysis is conducted with simulated and recorded power profiles. During the study, it is calculated how the amount of power steps and their size influence the error evaluation of the test meter.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros analizė.....	12
1.1. Elektros energijos matuoklių sandaros apžvalga ir analizė	12
1.1.1. Elektromechaninis elektros energijos matuoklis	12
1.1.2. Elektroniniai elektros energijos matuokliai	13
1.1.3. Elektros energijos matuoklių integrinių grandynų apžvalga	15
1.2. Elektros energijos matuoklių reikalavimų ir direktyvų analizė.....	19
1.3. Išmaniųjų elektros energijos matuoklių kalibravimo metodų analizė	21
1.4. Apibendrinimai	24
2. Išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemos su nuotoline neinvazine kalibravimo funkcija projektavimas	25
2.1. Sinchronizuotų galios profilių įvertinimo metodo aprašymas.....	25
2.2. Matuoklių sistemos reikalavimai ir įgyvendinimas.....	26
2.2.1. Matuoklių sinchronizavimas	27
2.3. Apibendrinimai.....	30
3. Modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai.....	31
3.1. Galios šuolių modeliavimas	31
3.2. Galios šuolių aptikimas	33
3.3. Modeliuotų galios šuolių analizė.....	35
3.4. Eksperimentinių tyrimų duomenų surinkimas.....	38
3.5. Realų galios šuolių aptikimas profiliuose	42
3.6. Realiai aptiktų galios šuolių analizė	44
3.6.1. Skirtingų dydžių galios šuolių įtaka TM santykinei paklaidai ir vidutiniam standartiniam nuokrypiui.....	47
3.6.2. Skirtingų dydžių galios šuolių įtaka TM santykinei paklaidai ir vidutiniam standartiniam nuokrypiui imant pirmus dešimt galios šuolių	49
3.7. Apibendrinimai.....	51
Išvados	53
Literatūros sąrašas	54
Priedai	58
1 priedas. Matuoklio programos algoritmas	58
2 priedas. Matlab kodai duomenų analizei	59
3 priedas. Konferencijos pažymėjimas	71

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Elektromechaninių ir išmaniųjų elektros energijos matuoklių palyginimas[4].....	15
2 lentelė. Apžvelgtų IG palyginimas.....	19
3 lentelė. 1 ir 2 klasės skaitiklių paklaidos ribos dėl srovės kitimo [29]	20
4 lentelė. 0,2S ir 0,5S klasės skaitiklių paklaidos ribos dėl srovės kitimo [29].....	21

Paveikslų sąrašas

1 pav. Elektromechaninio elektros energijos matuoklio struktūrinė schema [2]	12
2 pav. Funkcinė struktūrinė analoginio energijos matuoklio su AD7750 schema [5]	13
3 pav. Išmanaus elektros energijos matuoklio struktūrinė schema [7]	14
4 pav. Struktūrinė išmanaus energijos matuoklio jungimo schema [8]	15
5 pav. <i>Analog Devices</i> ADE9153B pilnosios galios matavimo schema [11]	16
6 pav. <i>Analog Devices</i> ADE9153B įvertinimo rinkinys [12]	17
7 pav. STPM33 įvertinimo plokštė [16]	17
8 pav. CS5463 bandymų standas [18]	18
9 pav. EVM430-F6736 įvertinimo rinkinys [20]	18
10 pav. Pasiūlyto metodo su apkrovos injekcija nuotolinio nuokrypio įvertinimo schema [34]	22
11 pav. Tipinė metodo jungiančioji schema [36]	22
12 pav. a) sintezuoti galios profiliai, b) suminis galios profilis [40]	23
13 pav. Galios šuolis ir jo parametrai [40]	25
14 pav. Darbe naudojama schema	27
15 pav. NTP veikimo principas [39]	28
16 pav. Laikrodžio atnaujinimo algoritmas	28
17 pav. Maketo struktūrinė schema	29
18 pav. Sukonstruotas matavimo maketas. A – SM vidus ir išorė, B – TM vidus ir išorė	30
19 pav. Profilis 00	31
20 pav. Modeliuotų duomenų schema	31
21 pav. Profilis 01	32
22 pav. Profilis 02	33
23 pav. Profilis 03	33
24 pav. Galios šuolis ir jo aptikimo parametrų atvaizdavimas	34
25 pav. Profilyje 00 aptikti galios šuoliai	34
26 pav. Profilio 00 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	35
27 pav. Profilio 00 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	36
28 pav. Profilio 01 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	36
29 pav. Profilio 01 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	36
30 pav. Profilio 02 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	37
31 pav. Profilio 02 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	37
32 pav. Profilio 03 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	37
33 pav. Profilio 03 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir σP_{max}	38
34 pav. Galios suvartojimo stebėsenos schema	38
35 pav. Matavimai, duomenų surinkimas (A – suminis matuoklis įvade rusyje, B – TM laboratorijoje)	39

36 pav. Laikmačiais jungiamos apkrovos	39
37 pav. Profilis 1	40
38 pav. Profilis 2	41
39 pav. Profilis 3	41
40 pav. Profilis	42
41 pav. Profilyje 3 aptikti sutapę galios šuoliai	43
42 pav. Profilyje 4 aptikti sutapę galios šuoliai	43
43 pav. Profilio 1 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	44
44 pav. Profilio 1 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	44
45 pav. Profilio 2 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	45
46 pav. Profilio 2 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	45
47 pav. Profilio 3 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	45
48 pav. Profilio 3 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	46
49 pav. Profilio 4 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	46
50 pav. Profilio 4 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus tm ir $\sigma Pmax$	46
51 pav. 3-iame profilyje aptiktų sutapusių šuolių dydžiai ir vaizdas profilyje	47
52 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 1	48
53 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 2	48
54 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 01	48
55 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 03	49
56 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) modeliuotame profilyje 01	49
57 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) modeliuotame profilyje 03	50
58 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) stebėsenos profilyje 1. 50	
59 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) stebėsenos profilyje 2. 50	
60 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME kai šuolių skaičius didėja stebėsenos profilyje 1.. 51	
61 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME kai šuolių skaičius didėja stebėsenos profilyje 2.. 51	

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AKK (angl. *ADC analog to digital converter*) – analogas - kodas keitiklis;

IG – integrinis grandynas;

RTC (angl. *real time clock*) – realaus laiko laikrodis;

ES – Europos Sąjunga;

SPI – serijinė duomenų perdavimo sąsaja;

Li-Ion – ličio jonų baterija;

OLED – organinio šviesos diodo technologija;

EEM – elektros energijos matuoklis;

SoC (angl. *system on chip*) – sistema luste;

EM – elektros matuoklis;

NTP (angl. *network time protocol*) – tinklo laiko protokolas;

Wi-Fi – belaidžio ryšio technologija.

Terminai:

Mikrograndynas – glaustos sandaros nuosekliu technologiniu procesu pagamintas lustas, patalpintas korpuse.

Ivadas

Kylantis energijos suvartojimas ir su tuo neretai susijusios krizės lemia kylančias energijos kainas. Kad nebūtų pažeisti vartotojo ir tiekėjo interesai, būtina atlikti energijos matavimo skaitiklių stebėseną. Pagal dabar galiojančius įstatymus Lietuvoje elektros skaitiklių patikra atliekama kas 12 metų. Nėgana to, kad šie patikrinimai atliekami retai, skaitikliui kalibruoti, reikalinga prietaisą iš privačių ar komercinių ūkių išmontuoti ir vežti specializuotai metrologinei patikrai. Paminėtina tai, kad laiku nepastebėtas gedimas gali sukelti didelių nuostolių vartotojui ar tiekėjui. Dar iki dabar plačiai naudojami elektromechaniniai elektros skaitikliai neturi grįžtamojo ryšio apie suvartojamą galią ir dėl savo konstrukcijos pažeidžiami sukčiavimo. Tai yra viena priežasčių, kodėl jie sparčiai keičiami išmaniaisiais elektros matuokliais, turinčiais daugiau galimybių netradiciniams kalibravimo metodams. Pastaruoju metu padaugėjus išmaniųjų elektros energijos matuoklių kiekiui atsirado būtinybė užtikrinti jų tikslumą ir veikimą iki periodinės patikros. Invaziniai vietiniai metodai paprastai yra pagrįsti kiekvienos apkrovos matavimu referenciniu matuokliu ir sumos palyginimu įėjime. Tačiau toks metodas yra nepatogus, sukeliantis papildomą suvartojimą. Dar vienas metodas yra matematiniai modeliai, leidžiantys nuotoliniu būdu atlikti elektros skaitiklių veikimo stebėseną ir spręsti apie jų nuokrypį nuo deklaruotos tikslumo klasės. Todėl šiame darbe daug dėmesio skiriama neinvazinio nuotolinio kalibravimo metodui ištirti ir tobulinti.

Šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas galios profilių analizei ir matuoklių nuokrypių nustatymui.

Darbo tikslas – suprojektuoti ir ištirti išmaniųjų elektros matuoklių sistemą, skirtą nuotoliniam ir neinvaziniam kalibravimui atlikti.

Darbo uždaviniai:

- atlikti literatūros analizę (elektros energijos matuoklių sandara, reikalavimai ir direktyvos, kalibravimo metodai);
- suprojektuoti ir pagaminti išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemą su nuotoline neinvazine kalibravimo funkcija;
- atlikti modeliavimą ir eksperimentinius tyrimus;
- išanalizuoti ir palyginti rezultatus.

1. Literatūros analizė

1.1. Elektros energijos matuoklių sandaros apžvalga ir analizė

Elektros energijai matuoti populiariausi trys pagrindiniai matuoklių tipai: elektromechaninis, elektroninis ir išmanusis [1]. Šiame skyriuje apžvelgiami šių matuoklių veikimo principai. Didesnis dėmesys skiriamas išmaniesiems matuokliams. Išskiriami išmaniųjų matuoklių privalumai, apžvelgiami juose naudojami skaičiavimo elementai.

1.1.1. Elektromechaninis elektros energijos matuoklis

Elektromechaninis elektros energijos matuoklis (1 pav.) turi keturias pagrindines dalis: varančiąją sistemą, judančiąją sistemą, stabdymo sistemą ir registravimo sistemą. Varančioji sistema yra sudaryta iš dviejų elektromagnetų. Įtampos (šunto) ir srovės (nuoseklaus), kurie sužadinami elektros srovės, tekančios per jų apvijas. Prie įtampos elektromagneto yra varinis diskas (PFC). Iš įtampos elektromagneto pratekėjęs elektromagnetinis laukas variniame diske indukuoja srovę, kuri yra pavėlinta 90° . Dėl susidariusios indukcijos tarp srovės ir įtampos ričių judančios sistemos alumininis diskas, įtvirtintas oro tarpe tarp srovės ir įtampos elektromagnetų, dėl jame sukeltos sukūrinės srovės (angl. *Eddy current*), esant apkrovai, pradeda sukintis. Kad diskas chaotiškai be sustojimo nesisuktų, vis greičiau ir greičiau, iki kol pasieks savo mechaninės trinties ribojamą maksimalų sukimosi greitį, yra stabdymo sistema. Stabdymo sistemą sudaro nuolatinis magnetas su reguliavimu. Stabdymo jėga yra proporcinga disko sukimosi greičiui. Suvartotą energiją skaičiuoja registravimo sistema, fiksuojanti apsisukimus. Ši sistema sudaryta iš didelės redukcijos krumpliaračių sistemos atitinkamai dešimčiai registruoti [2].

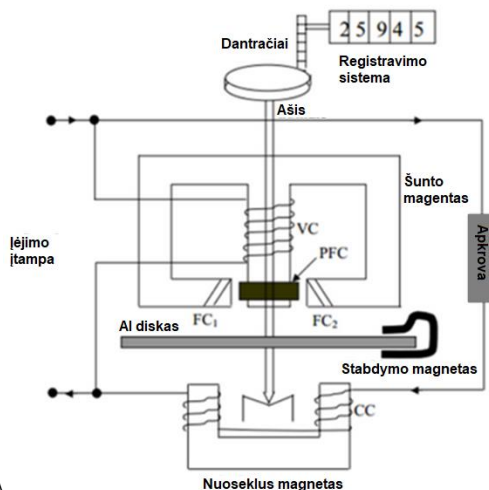
Matuojamos energijos formulė išreiškiama:

$$W = K_h \cdot \text{disko_apsisukimai}; \quad (1)$$

čia W – vatvalandės; K_h vatvalandės konstanta.

Kilovatvalandės atitinkamai [3]:

$$W = \frac{K_h \cdot \text{disko_apsisukimai}}{1000} \quad (2)$$

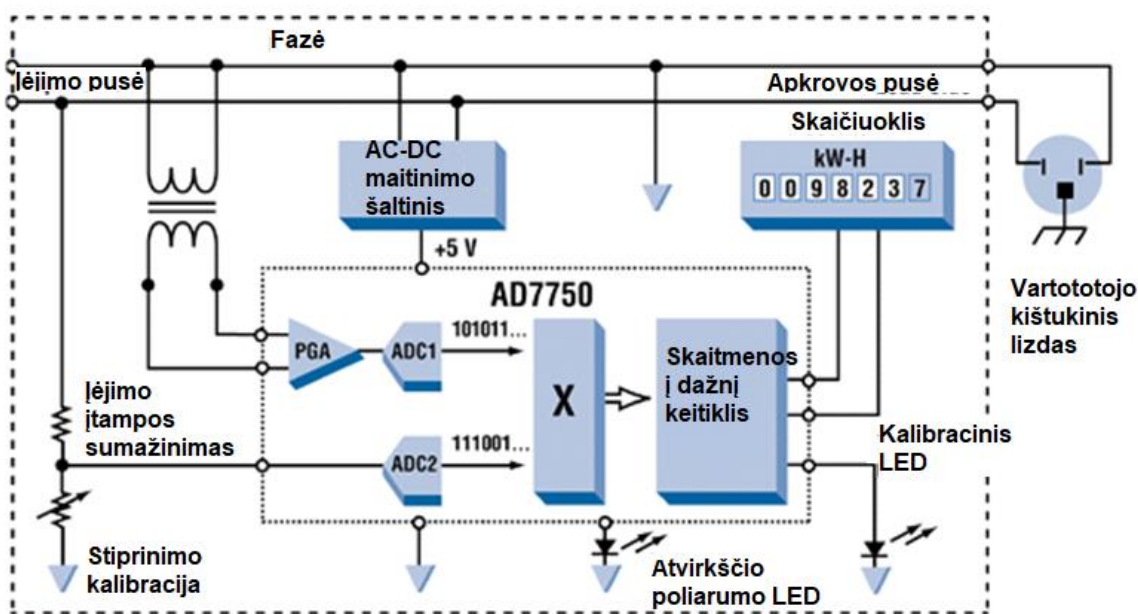


1 pav. Elektromechaninio elektros energijos matuoklio struktūrinė schema [2]

Nors elektromechaniniai elektros skaitikliai neturi daugiau funkcijų, tik elektros energijos suvartojimo apskaitą, jie buvo gausiai paplitę dėl patikimumo. Tačiau tobulėjant elektronikos prietaisams ir dėl vis didesnių reikalavimų energetikos srityje elektromechaninius skaitiklius sparčiai keičia elektroniniai matuokliai turintys daugiau funkcijų [4].

1.1.2. Elektroniniai elektros energijos matuokliai

Elektroniniai skaitikliai gaminami integrinių grandynų (IG) pagrindu ir neturi judančių dalių. Jų veikimo principas kaip ir analoginių, tik įtampos ir srovės keitikliai elektroniniuose skaitikliuose yra prijungti prie didelės rezoliucijos analogas – kodas keitiklio (AKK). Tada, kai šios reikšmės konvertuojamos į skaitmenines, srovės ir įtampos vertės dauginamos ir integruojamos integriniame grandyne. Todėl pagrindinis šio tipo matuoklių komponentas yra matavimo IG [5]. Senuose analoginiuose elektros energijos matavimo sprendimuose yra IG iš *Analog Devices AD775X* produktų asortimento. Pavyzdžiui, AD7750 turi dviejų kanalų AKK, į kurio įėjimus paduodama įtampa išmatuota per varžinį įtampos daliklį arba transformatorių. Srovė yra išmatuota per šunto varžą, srovės transformatorių arba holo daviklį. Taip pat šis mikrograndynas turi daugintuvą ir skaitmenos į dažnį keitiklį, kuris gali būti naudojamas valdyti žingsninį variklį arba kaip impulsų išvestis. Ši mikroschema buvo naudojama 1 klasės prietaisuose [5-6].

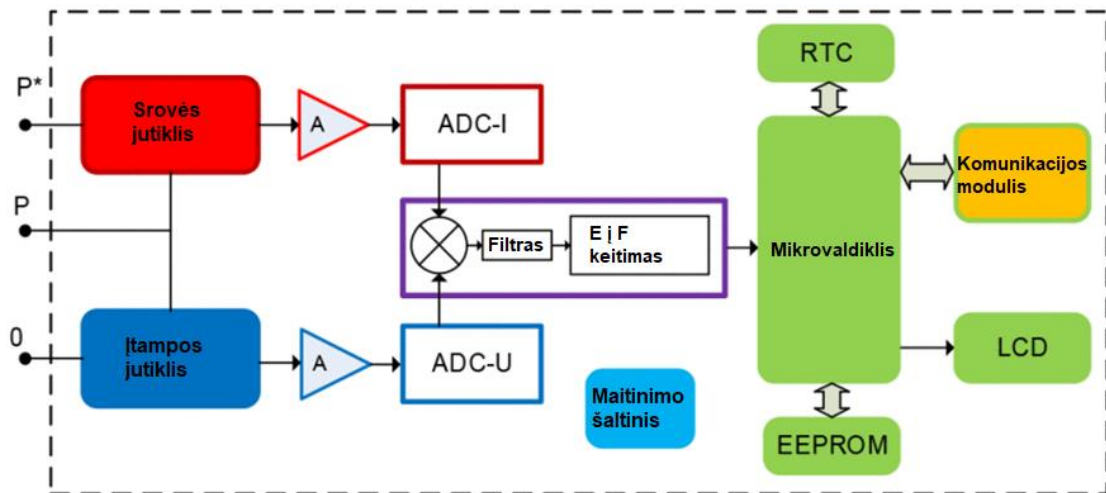


2 pav. Funkcinė struktūrinė analoginio energijos matuoklio su AD7750 schema [5]

Iš prieš tai pateikto paveikslėlio matyti, kad visiems tokio tipo prietaisams būdingas trūkumas – jie yra neišmanūs, todėl rodmenis reikia nurašyti ranka. Pastaruoju metu kuriami ir diegiami šiomis dienomis aktualūs išmanieji elektros energijos matuokliai su galimybe rodmenis perduoti nuotoliniu būdu.

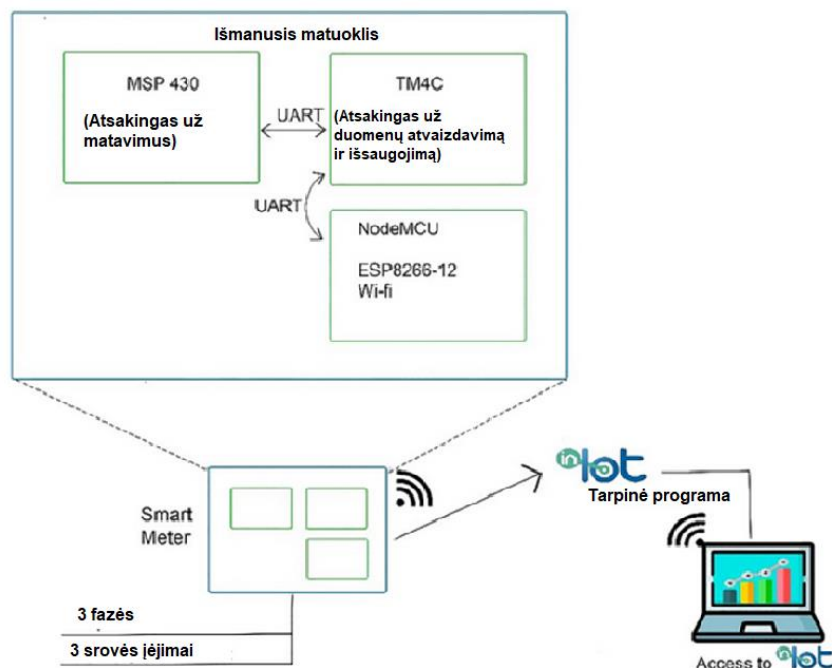
Šiuolaikinių išmaniųjų elektros energijos matuoklių struktūra (3 pav.) sudaryta iš srovės ir įtampos jutiklių, stiprintuvų, AKK, daugintuvo, mikrovaldiklio, realaus laiko laikrodžio (angl. *real time clock* RTC), atminties, ekrano, maitinimo šaltinio ir komunikacijos modulio. Didžioji dalis išmanumo sąvokos susideda komunikacijos modulyje, kuris yra ne vienakryptis, o dvikryptis. Tai leidžia:

- perduoti įtampos rodmenis, įtampos išspėjimus, nuolatinį galios kokybės stebėjimą;
- leidžia nuotoliniu būdu perprogramuoti ir atnaujinti įrenginio programinę įrangą;
- įgalina nuotolinį įsiterpimą ir tiekimo atkirtimą/atkūrimą;
- nuspėti galios profilius;
- nuspėti saulės elementų gaminamą elektrą [7].



3 pav. Išmanaus elektros energijos matuoklio struktūrinė schema [7]

Vienas iš išmaniųjų energijos matuoklių pavyzdžių yra D. B. Avančinio ir kolegų suprojektuotas daiktų interneto išmanusis energijos matuoklis (4 pav.) išmaniesiems tinklams. Autorių iškelta problema yra ta, kad dėl didelės populiacijos natūraliai išaugęs energijos suvartojimas pasaulyje iškėlė naujų iššūkių energijos aprūpinimui ir gamtos išsaugojimui. Pasak jų, išmanieji skaitikliai, kurie yra komerciškai prieinami, neturi visų reikalingų parametrų pažangiam energijos stebėjimui ir valdymui. Pasiūlytas gaminys pagamintas MSP430F67641 pagrindu. Srovė buvo matuojama srovės transformatoriais ir 24 bitų *Delta-Sigma* AKK. Suderinamumui su senesnėmis sistemoms buvo panaudota RS-485 ir *Ethernet* TCP/IP sąsajos. Daiktų internetui panaudotas TI CC2650, kuris palaiko *Bluetooth*, *Zigbee*, 6LoWPAN, *Zigbee* RF4CE protokolus ir *nodeMCU* *Wi-Fi* modulis transliavimui. Nors pagamintas įrenginys neišsprendė didelio suvartojimo problemos, tačiau realiu laiku matomi suvartojimo duomenys vartotojams leido turėti geresnį suvokimą apie suvartojamą energiją, o tai darė įtaką suvartojamos energijos mažinimui[8].



4 pav. Struktūrinė išmanaus energijos matuoklio jungimo schema [8]

Apžvelgtų elektros energijos matuoklių tipų palyginimas pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė. Elektromechaninių ir išmaniųjų elektros energijos matuoklių palyginimas[4]

Matuoklio tipas	Privalumai	Trūkumai
Elektromechaninis	Patikimas matavimas	Rankinis nuskaitymas Srovė suvartota pačio matuoklio ričių taip pat apmokestinama Disko šliaužimo reiškiny
Elektroninis/išmanusis	Matuoja daugiau parametrų nei energijos suvartojimas LCD/ LED ekranas Dvipusė komunikacija (nereikia ranka nurašyti duomenų (automatinis apmokėjimas), problemų perdavimas) Išmanios kontrolės funkcijos (atjungimas neapmokėjus) Energijos apmokestinimas pagal realias kainas laike	Reikalinga sudėtinga komunikacijos infrastruktūra Reikalingos periodinės patikros ir kalibracija Duomenų saugumo klausimas

1.1.3. Elektros energijos matuoklių integrinių grandynų apžvalga

Akivaizdu, kad pasaulyje tobulinami išmanieji elektros energijos matuokliai. Todėl šiame skyrelyje apžvelgiami įvairių gamintojų siūlomi matavimo grandynai ir jų parametrai, bei matuojami elektriniai parametrai.

Aktyvinė galia dar kitaip vadinama realioji galia DC grandinėse kur nėra fazės kampo tarp srovės ir įtampos galia skaičiuojama:

$$P = V \cdot I \text{ (W)}. \quad (3)$$

Kintamos srovės grandinėse (AC) aktyvinė galia skaičiuojama:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\theta \text{ (W)}. \quad (4)$$

Reaktyvinė galia AC grandinėse atsiranda kai įtampa ir srovė ne vienoje fazėje t.y yra induktyvinė arba talpuminė apkrova. Reaktyvinė galia žymima Q, o skaičiuojama:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\theta \text{ (VAR)}. \quad (5)$$

Pilnoji (matoma) galia yra kombinacija aktyvinės ir reaktyvinės galių išraiška:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)}. \quad (6)$$

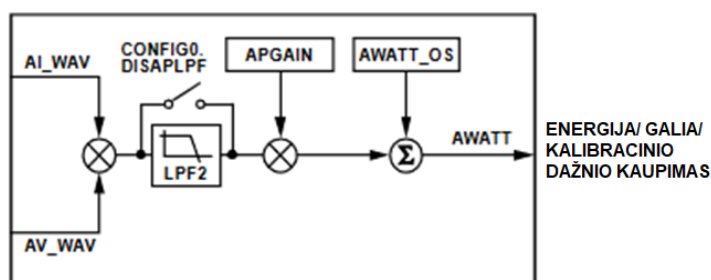
Visos trys dedamosios yra viena su kita susijusios vektorinės komponentės. O apie elektros prietaiso dizaino kokybę ir efektyvumą aprašantis parametras yra galios faktorius. Jis parodo ryšį tarp realios ir menamos galių (7) [9]:

$$\text{Galios faktorius} = \frac{\text{aktyvinė galia}}{\text{pilnoji galia}} = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Jei nepaisoma reaktyvinė galia, energija apskaičiuojama [10]:

$$E = P_t \cdot t = VI \cos(\theta) \cdot t. \quad (8)$$

Analog Devices ADE9153A/B integrinis grandynas pasižymi neinvaziniu, realaus laiko, tiesioginiu stebėjimu. Nustato pakitimus matavimo tikslume ir dreifo lygį per visą skaitiklio gyvavimo laikotarpį. Palaiko srovės transformatorių ir šuntą. IG yra trys tikslūs AKK. Kalibravimo procedūrai referencinis matuoklis nereikalingas dėl „mSure“ technologijos, leidžiančios aptikti neįprastus pakitimus sensoriuose, pvz., srovės transformatoriuje. Su ADE9153A/B galima išmatuoti įtampą, srovę, aktyvinę (W), pilnąją (VA), reaktyvinę (VAR) galią ir RMS energijos vertes. ADE9153A/B turi du srovės matavimo kanalus. Vienas jų optimizuotas dirbti su šunto varža, o kitas su srovės transformatoriumi. Suminė pilnoji galia šiame grandyne skaičiuojama kaip įtampos ir srovės sandauga, kuri filtruojama žemų dažniu filtru ir dauginama iš pataisos koeficiento (bendro visiems IG matuojamiems dydžiams), o tada sumuojama. Matavimo IG tiklumo klasė – 0,5.



5 pav. Analog Devices ADE9153B pilnosios galios matavimo schema [11]

IG palaikomi standartai aktyvinei energijai: EC 62053-21, IEC 62053-22, EN50470-3, OIML R46 ir ANSI C12.20. Palaikomi standartai reaktyvinei energijai: EC 62053-23 ir IEC 62053-24 [11]. 2019 m. buvo paskelbtas Lietuvos elektros energijos matuoklių (EEM) gamintojo ir šių IG gamintojo *Analog Devices* bendradarbiavimas. Straipsnyje rašoma, kad iki 2020 m. pabaigos rinkoje bus prieinami su šia mikroschema pagaminti matuokliai[13]. Tačiau iki dabar gamintojo kataloge jų nematyti[14]. Šiai mikroschemai AD kompanija siūlo bandymo rinkinį (6 pav.).



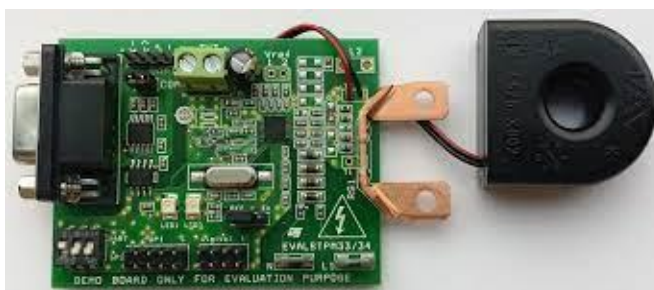
6 pav. Analog Devices ADE9153B įvertinimo rinkinys [12]

ST STPM33 turi du AKK. To užtenka vienfaziams elektros energijos matuokliams. IG Matuoja aktyvinę, reaktyvinę, pilnąją galias ir energiją. Tai pat matuoja srovės ir įtampos RMS ir momentines vertes, linijos dažnį. STPM3X konvertuoja analogines reikšmes paraleliškai su sigma-delta AKK, todėl palaiko Ragooskio ritę, srovės transformatorių, šunto varžą. IG aktyvinė galia skaičiuojama pagal 8 formulę[15]. IG tikslumo klasė 0,2.

$$P = V_{\Sigma\Delta} \cdot cal_V \cdot I_{\Sigma\Delta} \cdot cal_I \cdot \cos\theta, \quad (9)$$

čia $V_{\Sigma\Delta}$ ir $I_{\Sigma\Delta}$ yra sigma-delta bitų srauto vertės;
 cal_V ir cal_I – kalibracinės vertės įtampai ir srovei;
 $\cos\theta$ – fazių skirtumas.

Šiai mikroschemai kompanija taip pat siūlo įvertinimo plokštę (7 pav.).



7 pav. STPM33 įvertinimo plokštė [16]

Cirrus Logic CS5463 taip pat turi du sigma delta AKK, skaičiuoja momentinę įtampą ir srovę, RMS įtampą ir srovę, momentinę, pilnąją, aktyvinę, reaktyvinę galią vienfaziuose galios matuokliuose.

CS5463 srovę matuoja per šunto varžą arba srovės transformatorių. Įtampos matavimams naudojamas varžinis daliklis arba transformatorius. IG veikimo principas panašus į aukščiau minėtų. IG atlieka momentinių įtampos ir srovės verčių nuskaitymą ir apskaičiuoja momentinę galią, iš kurių vidiniuose registruose apskaičiuojamos RMS vertės [17]. IG tikslumo klasė 0,2. Kompanijos parduodamų produktų asortimente šios mikroschemos stendas taip pat prieinamas (8 pav.).



8 pav. CS5463 bandymų stendas [18]

Texas Instruments MSP430F6736A mikrovaldiklis, dar kitaip įvardijamas kaip SoC (angl. *system on chip*) sistema luste. Šis SoC pritaikytas energijos matavimui, nes turi tris 24 bitų sigma-delta AKK, pritaikomus visiems paminėtiems jutikliams (šunto varža, varžinis daliklis, srovės transformatorius, Ragovskio ritė). Taip pat turi integruotą realaus laiko laikrodį [19]. IG tikslumo klasė 0,2. Gamintojo siūlomas bandymų maketas pavaizduotas 9 paveikslėlyje.



9 pav. EVM430-F6736 įvertinimo rinkinys [20]

Apžvelgtų ir kitų rinkoje esančių galios ir srovės matavimo IG tikslumo ir stabilumo atsiradimo priežastys yra vidinės ir išorinės

Tikslumo ir stabilumo atsiradimo priežastys [21]:

Vidinės:

- srovės ir įtampos jutikliai;
- signalo apdorojimo pradinė dalis;
- osciliatoriaus dažnis;
- vidinis atraminės įtampos šaltinis;
- AKK stiprinimo koeficientas.

Išorinės:

- talpuminis ir induktyvusis perdavimas į įėjimus ir tarp fazių;
- didelio dažnio elektriniai ir magnetiniai laukai;
- bendra įtampa tarp įėjimų ir į žemę;
- žemo dažnio magnetiniai laukai;
- matavimo vietos, pajungimo įtaka;
- matuojamo dydžio stabilumas;
- ilgalaikis poslinkis;
- drėgmė.

Koncentruotas apžvelgtų IG palyginimas pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. Apžvelgtų IG palyginimas

Integrinis grandynas	Matavimo būdo palaikymas			Tikslumas	Reikalingas išorinis MV	Progr. kalibravimo koeficientas	Automatinis kalibravimas	Kaina, eur
	Srovės transf.	Šunto varža	Rogovskio ritė					
ADE9153A/B	Taip	Taip	Taip	0.5	Taip	Taip	Taip	10
STPM33	Taip	Taip	Taip	0.2	Taip	Taip	Ne	3
CS5463	Taip	Taip	Taip	0.2	Taip	Taip	Ne	5
MSP430F6736 A	Taip	Taip	Taip	0.2	Ne	Taip	Ne	10

1.2. Elektros energijos matuoklių reikalavimų ir direktyvų analizė

Pagal visoje Europos Sąjungoje (ES) galiojančią Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2012/27/ES (ji keičia 2009/125/EB ir 2010/30/ES direktyvas) skatinamas bendras energijos vartojimo mažinimas visoje ES. Direktyva siekia užtikrinti, kad 2020 m. ES energijos naudojimo efektyvumas būtų padidintas 20%, o iki 2030 m. šis rodiklis pasiektų bent 32,5%. Direktyvoje nustatomos taisyklės, kuriomis būtų mažinamos kliūtys efektyviai tiekti ir naudoti energiją. Metodika, reikalinga pasiekti šiam tikslui, ragina tinklo operatorius mažinti nuostolius, įgyvendinti numatytą infrastruktūros programą, orientuotą į veiksmingą sąnaudų ir energijos naudojimą bei užtikrinti, jog apskaita, susijusi su energijos vartojimo efektyvumu ir tinklo lankstumu, būtų tinkama. [22].

2009 m. išleistas įgaliojimas M/441 EN dėl išmaniųjų skaitiklių, skirtas sukurti standartus (vandens, dujų, elektros, šilumos) skaitikliams ir reikalaujantis sukurti dvikryptį ir saugų komunikacijos būdą, pritaikomą mažoms ir didelėms matavimo rodmenų nuskaitymo ir kitoms operacijoms. Toks

sprendimas leidžia didinti vartotojo suvokimą apie sąnaudas ir perspektyvoje šios žinios leistų prisitaikyti prie suvartojimo reikmių [23].

Sąlyginai neilgai trukus 2011 m. Europos standartizavimo organizacijos CEN, CENELEC ir ETSI nusprendė apjungti savo žinias ir resursus ir sukūrė išmaniųjų skaitiklių koordinavimo grupę. Kaip atsaką įgaliojimui M/441 EN sukurti standartą išmaniųjų skaitiklių komunikacijoms, ši grupė išleido techninį raportą CEN/CLC/ETSI/TR 50572 [24]. Jame aprašomi būsimi standartai ir pasiskirstymas tarp organizacijų, aprašomi duomenys, kurie turi būti siunčiami komunikaciniais kanalais pvz., suvartota galia, neteisėtas vartojimas, skaitiklio atidarymas ir t.t. [25]

Vėlesnėje 2019/944 ES direktyvoje, kuri iš dalies keičia 2012/27/ES direktyvą ir įpareigoja, kad vartotojai dažniau gautų informaciją apie suvartojamą energiją, skatinama diegti pažangias matavimo sistemas, kurios leidžia geriau matyti suvartojamą energiją ir tokiu būdu sumažinti energijos suvartojimą. Apibendrinant, direktyva koncentruojasi į energijos suvartojimo mažinimą [26].

Ši direktyva su pakeitimais galioja iki dabar, o įdiegtų išmaniųjų matuoklių skaičius sparčiai auga. 2022 m. įdiegta 210 tūkst., o 2023 m. planuojama įdiegti 500 tūkst. išmaniųjų skaitiklių. Jau įdiegtų skaitiklių duomenimis, žmonės dėl gaunamų suvartojimo duomenų vidutiniškai sutaupė 6% energijos [27]. Deja, apie tikslų įdiegtų skaitiklių veikimo užtikrinimą iki jų metrologinės patikros termino neužsimenama. Lietuvoje, kaip ir daugelyje kitų šalių, elektros skaitiklių tarnavimo laikas prieš periodinę patikrą dažnai per ilgas. Atsižvelgiant į tai, kad dauguma skaitiklių jokio grįžtamojo ryšio apie paklaidas, gedimus, dreifavimą visą savo tarnavimo laiką neteikia. Pavyzdžiui, Lietuvoje EM periodinė patikra atliekama kas 12 metų, o Austrijoje kas 8-10 metų. Kitose ES valstybėse laikas panašus [28].

Elektros skaitikliams taikomi tikslumo reikalavimai aprašomi atitinkamo tikslumo klasės matuoklių reikalavimų direktyvose. LST EN 62053-21:2005 (1 ir 2 klasės elektroniniai aktyvios energijos skaitikliai) ir LST EN 62053-22:2005 (0,2 S ir 0,5 S aktyviosios energijos skaitikliai) skelbia reikalavimus apie galimas paklaidos vertes. Tikslumo reikalavimai 1 ir 2 klasės skaitikliams pateikti 3 lentelėje, o 0,2S ir 0,5S klasės prietaisams 4 lentelėje.

3 lentelė. 1 ir 2 klasės skaitiklių paklaidos ribos dėl srovės kitimo [29]

Srovės vertė tiesiogiai prijungiamų skaitiklių	Srovės vertė per srovės transformatorių prijungiamų skaitiklių	Galios faktorius	Atskirų klasių skaitiklių procentinės paklaidos ribos	
			1	2
$0,05 I_b \leq I \leq 0,1 I_b$	$0,02 I_n \leq I \leq 0,05 I_n$	1	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
$0,1 I_b \leq I \leq I_{\max}$	$0,05 I_n \leq I \leq 0,1 I_{\max}$	1	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
$0,1 I_b \leq I \leq 0,2 I_b$	$0,05 I_n \leq I \leq 0,1 I_b$	0,5 induktyvusis 0,8 talpinis	$\pm 1,5$ $\pm 1,5$	$\pm 2,5$ -
$0,2 I_b \leq I \leq I_{\max}$	$0,2 I_n \leq I \leq I_{\max}$	0,25 induktyvusis 0,5 talpinis	$\pm 1,0$ $\pm 1,0$	$\pm 1,0$ -

4 lentelė. 0,2S ir 0,5S klasės skaitiklių paklaidos ribos dėl srovės kitimo [30]

Srovės vertė	Galios faktorius	Atskirų klasių skaitiklių procentinės paklaidos ribos	
		0,2 S	0,5 S
$0,01I_b \leq I \leq 0,05 I_b$	1	$\pm 0,4$	$\pm 1,0$
$0,05I_n \leq I \leq I_{max}$	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$
$0,02I_n \leq I \leq 0,1 I_n$	0,5 induktyvusis	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
	0,8 talpinis	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
$0,01I_n \leq I \leq I_{max}$	0,5 induktyvusis	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$
	0,8 talpinis	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$

Iš pateiktų lentelių matyti, kad 0,2S ir 0,5S klasės skaitikliai visuose ribose yra vidutiniškai tris kartus tikslesni, tačiau praktikoje dažniausiai naudojami 1 ir 2 klasės matuokliai.

1.3. Išmaniųjų elektros energijos matuoklių kalibravimo metodų analizė

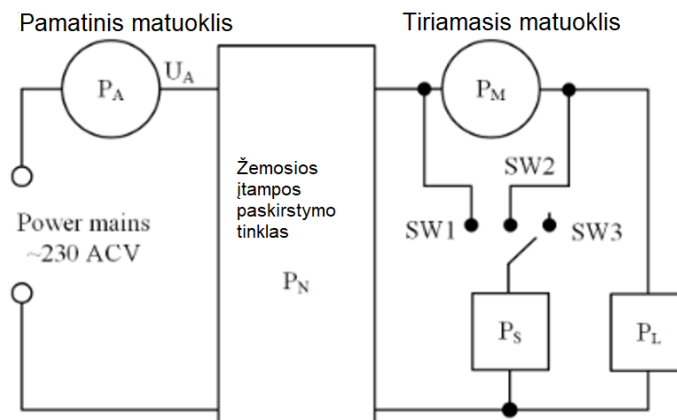
Eksponentinis išmaniųjų elektros energijos skaitliukų naudojimas kelia grėsmę, kad jų metrologinės patikros taip pat brangs. Nenuostabu, kad išmontuoti ir transportuoti matavimo įrenginį į sertifikuotą laboratoriją yra nepatogu ir brangu. Dėl šios priežasties jau prieš dešimt metų sukonkretinta ir aprašyta išmaniųjų elektros pastochių nuotolinio duomenų perdavimo ir kalibravimo metodai, jų svarba ir tolesnis tobulinimas [31].

Netechninių nuostolių identifikacijai aptikti ir įvertinti A. V. Martinas su komanda pristatė neinvazinį metodą ir prietaisą. Jų darbe aktyvi galia buvo skaičiuojama iš įtampos ir srovės bangų formų. Srovės matavimui panaudotos srovės replės, o viduje srovės replių įmontuotas bekontaktis talpuminis jutiklis įtampos fazei ir bangai matuoti. Dėl didelio atsparumo trikdžiams, įrenginys nereikalavo vietinio kalibravimo ir buvo lengvai prijungiamas. Paprastas grandynas ir mažas galios suvartojima leido įrenginiui būti mažam, kompaktiškam ir maitinamam baterijų. Atliktas tyrimas parodė, kad laido storis turi įtakos matavimo tikslumui. Prietaiso pasiektas tikslumas realiomis sąlygomis buvo 1% [32].

Pagal IEC 62052-11:2003 standartą, energijos matuoklis turi turėti testavimui tinkamą išėjimą. Vienas iš jų, LED pulsų skaičius kilovatvalandei. Gamintojas turi nustatyti pulsų skaičių kilovatvalandei, kuris neturi viršyti 1/10 tikslumo klasės visiems energijoms tipams, t.y. pilnajai, aktyvinei ir reaktyvinei. Todėl 2020 m. H. Huptos ir kolegų pasiūlytas metodas gilinasi į LED išėjimo panaudojimą matuoklio kalibravimui. Oscilografo ekrane jie gebėjo tiksliai matyti ne tik diodo spinduliuojamą dažnį, bet ir bangos formą. Panaudoję žinomas 10A ir 5A apkrovas, jie apskaičiavo matuoklio tikslumą ir atitikimą nurodytai tikslumo klasei [33].

Vienas iš nuotolinio kalibravimo metodų, kuriame naudojama papildomos apkrovos injekcija į etaloninį ir kalibruojamąjį nuotolinį matuoklį pavaizduotas 10 paveikslėlyje. Tarp matuoklių duomenų surinkimas sinchronizuotas. Surinkti duomenys apdorojami ir naudojami neapibrėžčiai nustatyti. Šiuo metodu siekiama panaikinti tarp matavimo įrenginių esančią terpės įtaką, tokią kaip nuostoliai perdavimo linijoje. Pasiūlyto metodo tikslumas siekė 1,7% ir tinkamas 2 klasės skaitiklių

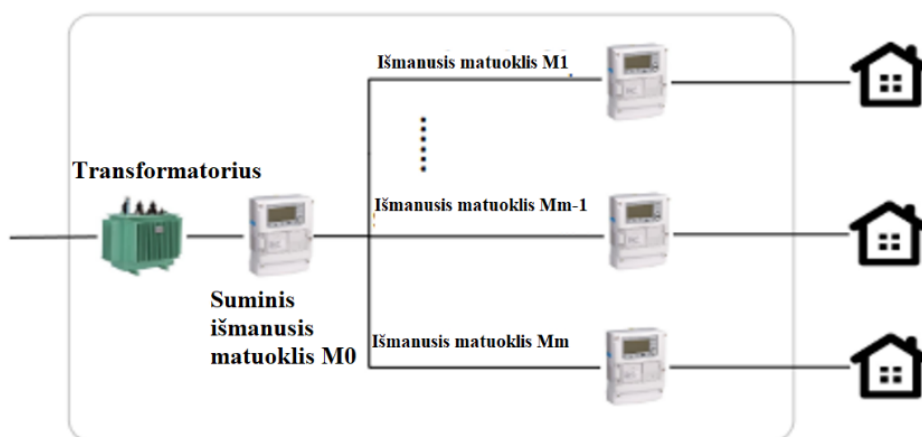
kalibravimui, tačiau autoriai priduria, kad pailginus vidurkinimo laiką, ši metodą galima taikyti ir 1 klasės matuokliams. Deja, pagrindiniu šio metodo trūkumu laikoma tai, kad reikia įjungti papildomą apkrovą [34].



10 pav. Pasiūlyto metodo su apkrovos injekcija nuotolinio nuokrypio įvertinimo schema [34]

Metodo tęsinys dar kartą patvirtina tinkamumą kalibruoti 2 ir 1 klasės elektros energijos matuoklius [35].

2018 m. Kinijos tarptautinėje konferencijoje L. Jė ir kolegų pasiūlytas metodas pagrįstas suminio ir vartotojų skaitiklių (11 pav.) duomenų analize. Panaudotas rekursyvusis algoritmas leido aptikti nuo specifikacijos nukrypusį matuoklį. Autoriai pabrėžia, kad metodo analizės procese buvo laikoma, kad suminis matuoklis laikomas tikslus, tačiau realybėje jis taip pat gali prisidėti prie neatitikčių [36].



11 pav. Tipinė metodo jungiančioji schema [36]

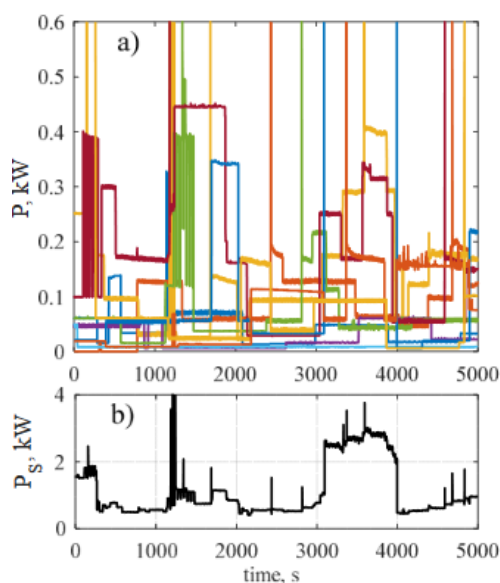
Dar vienas nuotolinis realaus laiko kalibravimo metodas, paremtas suminio ir vartotojų matuoklių (11 pav.) surinktų duomenų analize, pasiūlytas 2019 m. Ksijangio Kongo ir kolegų. Palyginus su kitais metodais, jų metodas naudoja dvigubo parametro rekursinį mažiausių kvadratų algoritmą su dvigubu kintamu užmirštamą parametru (λ_a , λ_b). Jų teigimu, pasiūlytas įverčio metodas yra pranašesnis nei panašus metodas su pastoviu užmirštamą parametru ir siekia mažesnę nei 2% netikro

aptikimo galimybę. Tam, kad taikyti šį metodą elektros energijos matuoklio parametrų tikslumui vertinti, tiriami duomenys pirmiausiai apdorojami. Tokiu būdu eliminuojamos anomalinės ir mažos apkrovos reikšmės. Tada, remiantis suminiu ir kiekvieno vartotojo matuokliu, linijos nuostoliai ir matuoklių paklaidos apskaičiuojamos pasiūlytu mažiausių kvadratų metodu [37].

Metodas, sprendžiantis varžų daliklio, srovės transformatoriaus ir fazinės paklaidas, aprašomas J. Li ir kolegų 2020 metais publikuotame straipsnyje. Darbe siūlomas elektroninio skaitmeninio energijos skaitiklio kalibravimo metodas. Metode pirmiausiai įvertinamas kiekvieno kanalo nuolatinės srovės poslinkis ir atimamas iš atitinkamo kanalo, apskaičiuojami neatitikimo koeficientai, galiausiai, fazės netikslumui kalibruoti panaudotas Lagranžo kvadratinės interpoliacijos metodas. Eksperimentiniai rezultatai, pagrįsti trifazio energijos matuoklio ir jų kalibravimo metodu, parodė, kad tikslumas yra geresnis už atitinkamų standartų tikslumo reikalavimus ir gali būti pritaikomas programinėje įrangoje [38].

Kitoje nagrinėtoje publikacijoje aprašomas nuotolinio kalibravimo metodas naudojant specialų prietaisą skaitmeninio įėjimo elektros matuokliams. Prietaisas siunčia skaitmenines diskretizuotas reikšmes kalibruojamajam matuokliui. Jų metodas išsiskiria tuo, kad kalibravimui naudojami įvairios formos signalai ir dėl jų periodiškumo sinchronizavimas nėra svarbus. Šis metodas, anot autorių, yra tinkamas matuoklių kalibravimui po to, kai EM buvo kalibruoti metrologijos laboratorijoje [39].

Alternatyvus neinvazinis metodas aptariamas 2020 m. Ž. Nakučio ir kolegų straipsnyje, kur teigiama, jog nuotoliniu būdu galima nustatyti išmanaus energijos matuoklio paklaidą. Metode aprašoma, kaip naudojant vartotojų matuoklių tinklą ir etaloninį suminį energijos matuoklį, prijungtą prie skirstomojo tinklo įėjimo, galima įvertinti vieno iš tiriamųjų skaitiklių paklaidą. Matavimo paklaidų radimo metodas pagrįstas realaus laiko natūralaus galios vartojimo profilių (12 pav.) analize nenaudojant jokios papildomos apkrovos. Analizuojami galios šuoliai aptikti kliento suvartojimo profilyje kartu su tuo metu sinchronizuotai užfiksuotais šuoliais suminiame matuoklyje. Tiriamojo matuoklio sutapusių šuolių dydis palyginamas su laike sinchronizuotais suminio matuoklio išmatuotais šuolių dydžiais. Iš to sprendžiama apie neatitiktį. Po dviejų dienų suvartojimo stebėsenos nustatyta paklaidos įvertinimo neapibrėžtis neviršijo 0,63% [40].



12 pav. a) sintezuoti galios profiliai, b) suminis galios profilis [40]

1.4. Apibendrinimai

Šiame skyriuje galima pastebėti tendenciją, kad elektromechaniniai elektros energijos matuokliai keičiami moderniais elektroniniais arba komunikacijos sąsają turinčiais išmaniaisiais matuokliais. Išmanieji matuokliai diegiami dėl tikslumo ir papildomų galimybių, tokių kaip nuotolinis duomenų perdavimas, suvartojimo stebėjimas. Direktyvų apžvalga parodė, kad Europa siekia tvaresnių energijos vartojimo būdų. Šio tikslo įgyvendinimui išmaniesiems matuokliams keliami reikalavimai perduoti klientui duomenis apie suvartojimą. Galima daryti išvadą, kad EM ir kitų metrologijos prietaisų ateitis – išmanumas, nuotolinė komunikacija, stebėsena. Visi apžvelgti integriniai grandynai, pagal standarte apibrėžtas tiksliausių skaitiklių klasių procentines paklaidas, yra tinkami naujiems dizainams bei neinvaziniams metodams įgyvendinti. Vis dėlto, išvardytos matuoklių netikslumų ir gedimų priežastys leidžia abejoti, jog prietaisas visą metrologinės patikros laiką veiks tiksliai. Pagrindinis trūkumas yra per ilgas skaitiklių metrologinės patikros terminas. Šiai problemai spręsti buvo apžvelgtas ne vienas tyrėjų pasiūlytas skaitiklių kalibravimo būdas. Apžvelgti metodai [32], [33], [38], [39] yra nuotoliniai, t.y. matuoklis kalibruojamas jau įmontuotas ir dirbantis (ne metrologijos laboratorijoje), tačiau prie matuoklių jungiama papildoma įranga. [34], [35] šaltiniuose vykdomas tinklo ir suvartojimo stebėjimas, tačiau nuolat perjungiama papildoma apkrova. [36], [37] vykdoma grupinė stebėsena, kuri neleidžia išskirti konkretaus matuoklio.

Siekiant suprojektuoti elektros matuoklių sistemą, gebančią nuotoliniu neinvaziniu būdu nustatyti matuoklio paklaidą, bus remiamasi galios profilių stebėsena [40]. Metodas toliau bus tiriamas praktine matavimo sistema.

2. Išmaniųjų elektros energijos matuoklių sistemos su nuotoline neinvazine kalibravimo funkcija projektavimas

2.1. Sinchronizuotų galios profilių įvertinimo metodo aprašymas

Galios šuolis apibūdinamas 10 formule, kur t_i yra laiko momentas, kada nutinka galios šuoli, o t_e yra šuolio trukmė.

$$\Delta P_s(t_i, t_e) = M\{P((t_i + t_e) \div (t_i + t_m + t_e))\} - M\{P((t_i - t_m) \div t_i)\}. \quad (10)$$

Kai yra paisomos sąlygos:

$$|\Delta P((t_i, t_e))| \geq \Delta P_{min}; \quad (11)$$

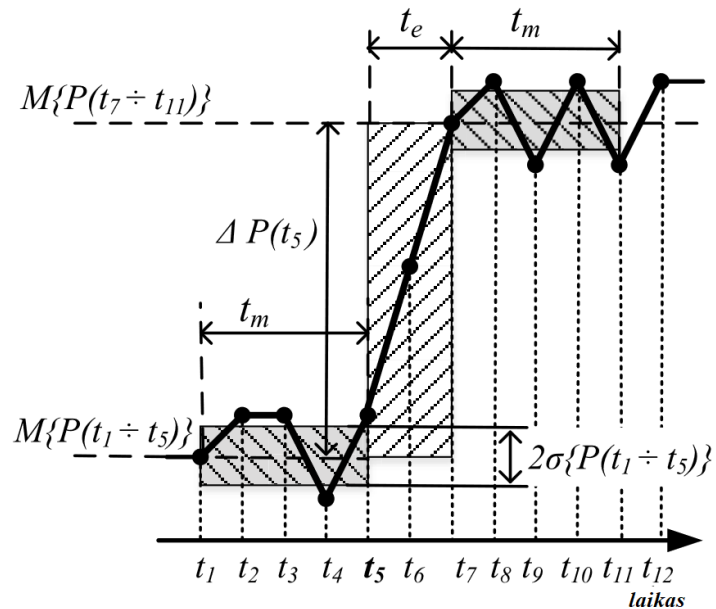
$$\sigma\{P((t_i - t_m) \div t_i)\} \leq \sigma_{P_{max}}; \quad (12)$$

$$\sigma\{P((t_i + t_e) \div (t_i + t_m + t_e))\} \leq \sigma_{P_{max}}; \quad (13)$$

$$t_e \leq t_{emax}; \quad (14)$$

$$|P(t_j + 1) - P(t_j)| \geq p_{min}, \text{ kai } t_i \leq t_j \leq t_i + t_e. \quad (15)$$

Formulėse (10), (12)-(13) pažymėti $M\{P(t_a \div t_b)\}$ ir $\sigma\{P(t_a \div t_b)\}$ žymi vidurkio ir standartinio nuokrypio vertes intervale nuo t_a iki t_b . Sąlyga (11) aprašo lygį, kuriame atmetami maži galios šuoliai, kurie gali būti sukelti triukšmingo elektros perdavimo trakto. Sąlygos (12) ir (13) reikalauja, kad galios suvartojimo svyravimas prieš ir po galios šuolio liktų tarp $\sigma_{P_{max}}$ nustatytų ribų. Sąlyga (14) nustato fronto trukmės limitą, o (15) sąlygą, reikalaujančią pastovaus fronto kilimo ir kritimo [40]. Parametrai pavaizduoti 13 paveikslėlyje.



13 pav. Galios šuolis ir jo parametrai [40]

Galios matavimo santykinė paklaida apibrėžiama:

Jei galios šuolis (10) nutinka laike t_i , tada atitinkamas galios šuolis išmatuotas suminiame matuoklyje yra:

$$\Delta P_s(t_i, t_e) = \Delta P_n(t_i, t_e) + \Delta p_n(t_i) + \Delta P_{zn}(t_i, t_e) + \sum_{k \neq n} \Delta P_k(t_i, t_e), \quad (16)$$

čia $\Delta P_{zn}(t_i, t_e)$ techninių galios nuostolių pokytis galios trakte Z_n .

$\Delta p_n(t_i)$ – vertinamo matuoklio paklaida, kuri išreiškiama:

$$\Delta p_n(t_i) = \Delta P_s(t_i, t_e) - \Delta P_n(t_i, t_e) + e(\Delta p_n(t_i)), \quad (17)$$

čia $e(\Delta p_n(t_i))$ yra $\Delta p_n(t_i)$ paklaida, įvertinanti nuostolius $\Delta P_{zn}(t_i, t_e)$ ir galios svyravimus vartojimo taškuose $k \neq n$ prieš ir po galios šuolį $\Delta P_n(t_i, t_e)$. Tuomet santykinė paklaida laiko momentu t_i išreiškiama:

$$e_{pn}(t_i) = \frac{\Delta p_n(t_i)}{\Delta P_n(t_i, t_e)} \cdot 100\%. \quad (18)$$

Realią testuojamo skaitiklio santykinę paklaidą pakeitus į $e_{pn0}(t_i)$, galios matavimo paklaidos įvertis išreiškiamas:

$$\varepsilon(e_{pn}(t_i)) = e_{pn}(t_i) - e_{pn0}(t_i). \quad (19)$$

Dėl galios matavimo paklaidos, atsirandančios suminiame ir tiriamajame matuoklyje, taip pat ir dėl galios svyravimų, galios pokyčių prieš ir po galios šuolį, dydis $\varepsilon(e_{pn}(t_i))$ yra atsitiktinis dydis, apibūdinamas vidutiniu ir standartiniu nuokrypiais.

Todėl, jei per stebimą laiko tarpą N galios šuolių aptinkama skirtingais laiko momentais $t_1, t_2, \dots, t_N$, tada $e_{pn}(t_i)$ vidurkis apskaičiuojamas:

$$\{e_{pn}\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_{pn}(t_i). \quad (20)$$

Šiuo atveju vidurkis $u_M(\varepsilon) = M\{\varepsilon(e_{pn}(t_i))\}$ ir standartinis vidurkio nuokrypis $u_\sigma(\varepsilon) = \sigma\{M\{\varepsilon(e_{pn}(t_i))\}\}$ gali būti naudojamas apibūdinti standartinę ir išplėstąją neapibrėžtis $M\{e_{pn}\}$:

$$u^2 = (M\{e_{pn}\}) = u_M^2(\varepsilon) + u_\sigma^2(\varepsilon), \quad (21)$$

$$U(M\{e_{pn}\}) = \gamma \cdot u(M\{e_{pn}\}), \quad (22)$$

čia γ – aprėpties faktorius lygus 2 [40].

2.2. Matuoklių sistemos reikalavimai ir įgyvendinimas

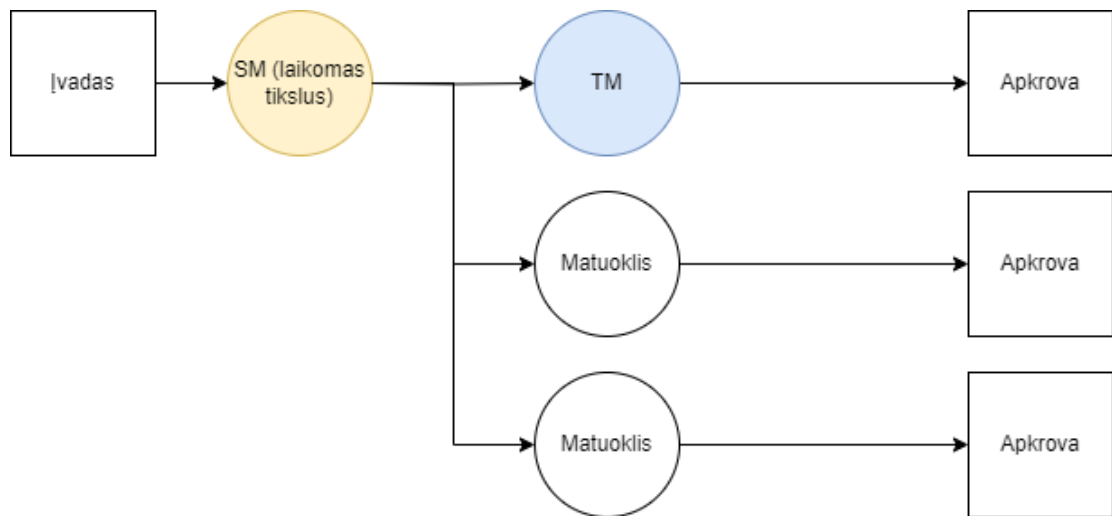
Kaip jau buvo minėta, darbe bus remiamasi [40] metodu, todėl matuoklių sistemai svarbu:

- sinchronizuotas matavimas;
- matavimo atskaitos kas 1 sekundę.

Kiti išsikelti reikalavimai:

- duomenų saugojimas SD kortelėje;
- nepertraukiamajam veikimui užtikrinti veikimas nuo baterijos;
- momentinių galios verčių atvaizdavimas OLED ekranėlyje.

Metodui ištirti papildomos apkrovos nebus naudojamos. Tiriamas natūralus suvartojimas. Suminis matuoklis jungiamas įvade, o tiriamas matuoklis prie jau padalintos apkrovos pvz., buto, kambario, kuriame yra keletas apkrovų (14 pav.).



14 pav. Darbe naudojama schema

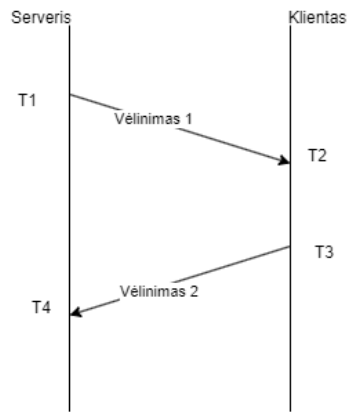
2.2.1. Matuoklių sinchronizavimas

Sinchronizuotų galios profilių metodo aprašyme, kaip vienas iš pagrindinių stebėsenos kriterijų, minimas laiko tarp suminio ir tiriamojo matuoklio sinchronizavimas ir atskaitų rinkimas bent kas 1 sekundę. Šiems reikalavimams užtikrinti pasirinktas ESP32 mikrovaldiklis su *Wi-Fi* galimybe. Laiko sinchronizavimas atskiriems matuokliams bus vykdomas pasitelkiant NTP protokolą ir tikslų išorinį realaus laiko laikrodį (RTC).

NTP (angl. *network time protocol*) yra tinklo laiko protokolas, kuris gali įvertinti išsiuntimo ir priėmimo laiką ir taip sukurti aukšto tikslumo kompiuterių tinklą. Autorių atliktas tyrimas parodė, kad iš 5 tūkst. užklausų 90% buvo mažiau nei 1 ms vėlinimas. Vėlinimo laikas ir kompensavimas apskaičiuojamas pagal (23) ir (24) atitinkamai, o veikimo principas pavaizduotas 15 paveikslėlyje [41].

$$Vėlinimas = [(T2 - T1) + (T4 - T3)]/2; \quad (23)$$

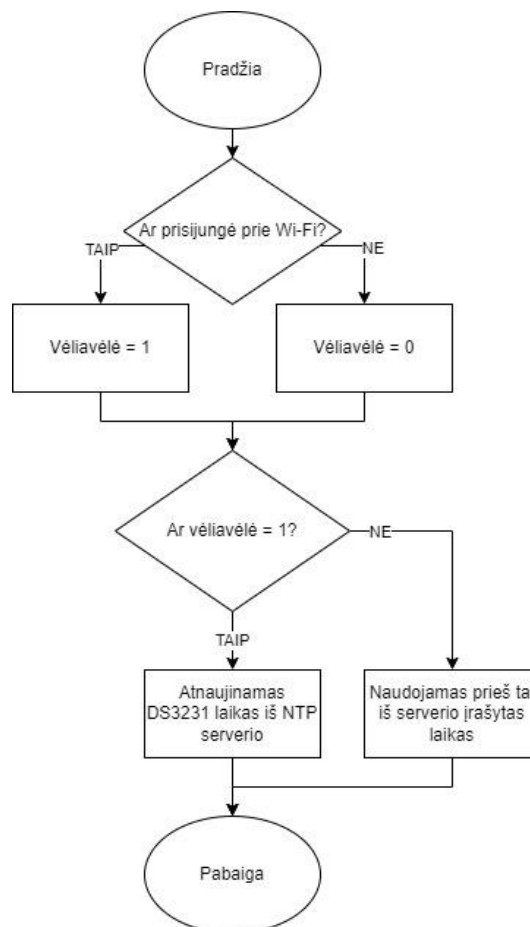
$$Kompensavimas = [(T2 - T1) - (T4 - T3)]/2. \quad (24)$$



15 pav. NTP veikimo principas [39]

Kadangi NTP protokolas užtikrina tikslų laiko sinchronizavimą ir turi 90% pastovų vėlinimą, šiame darbe kiekvieno matuoklio laiko nustatymui naudojamas Europos laiko serveris „europe.pool.ntp.org“ iš to paties *Wi-Fi* tinklo.

Laiko įrašymui ir tolesnės sinchronizacijos palaikymui panaudotas išorinio laikrodžio IG DS3231. Šis laikrodžio IG veikia su 32kHz nuo temperatūros nepriklausomu kalibruotu kristalu, kuris suteikia stabilų ir tikslų atraminį signalą. Dėl šių savybių laikrodis geba palaikyti ± 2 min tikslumą per visus metus [42]. Laikrodžio IG naudoja I²C sąsają prijungimui prie mikrovaldiklio. DS3231 laikas nustatomas iš NTP serverio (16 pav.). Visos programos algoritmas pateiktas 1 priede.



16 pav. Laikrodžio atnaujinimo algoritmas

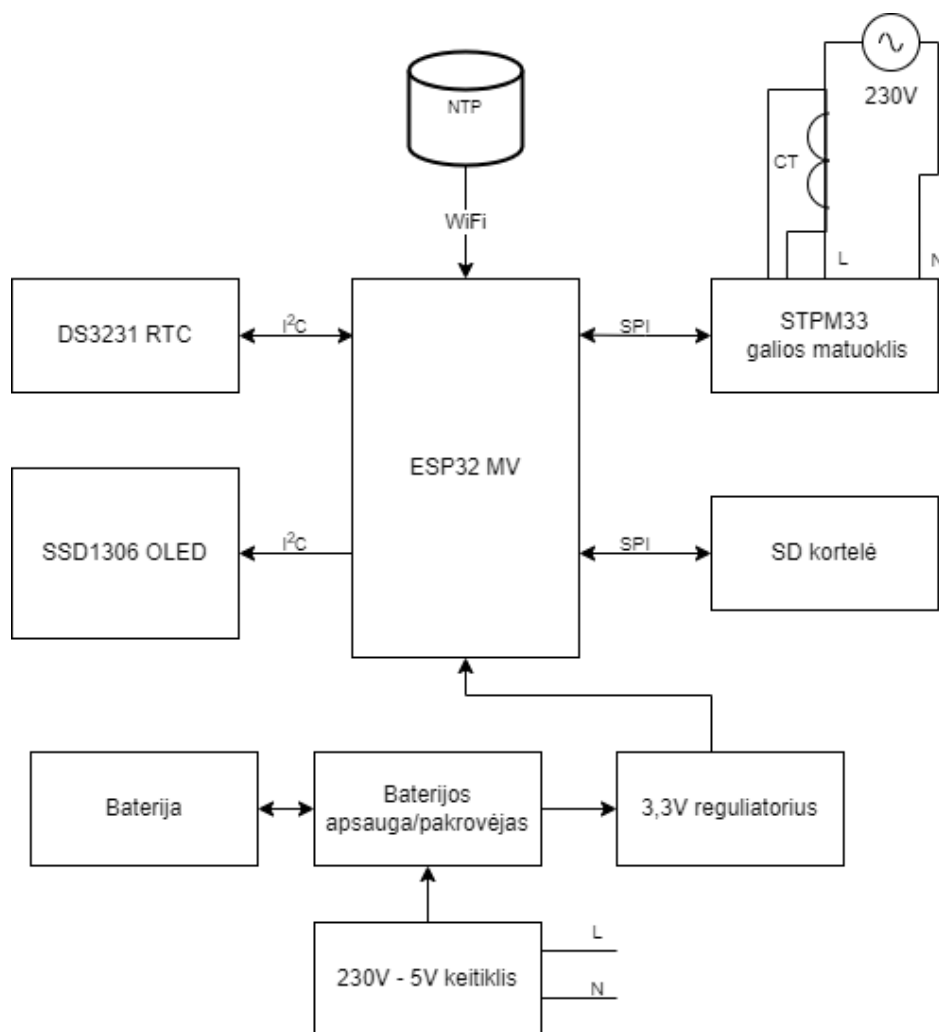
Galios matavimas

Ne mažiau svarbi sistemos dalis yra tikslus galios matavimas. Šiam tikslui įgyvendinti pasirinktas 1.1.3 skyrelyje apžvelgtas STPM33 IG dėl 0,2 tikslumo klasės, srovės ritės palaikymo ir mažesnės, nei kitų apžvelgtų IG, kainos. Tiriamajame matuoklyje naudojama neprasiskiriančios šerdies srovės ritė, o suminiam matuokliui parinkta prasiskiriančios šerdies ritė lengvesniam montavimui.

Duomenų rinkimas

Įvertinus tai, kad eksperimentas bus atliekamas ne vienoje vietoje, o suminis elektros matuoklis dažnai montuojamas rūsiuose ar kitose ryšiui sunkiai pasiekiamose ir jį lėtinančiose vietose. Duomenys renkami vietinėje SD kortelėje, o tai užtikrina visų duomenų išsaugojimą ir kokybę tolesnei analizei.

Duomenims atvaizduoti ir matuoklio veikimo indikacijai panaudotas OLED ekranas SSD1306. Maketo struktūrinė schema pavaizduota 17 paveikslėlyje. Surinkti matuokliai pavaizduoti 18 paveikslėlyje.



17 pav. Maketo struktūrinė schema



18 pav. Sukonstruotas matavimo maketas. A – SM vidus ir išorė, B – TM vidus ir išorė

2.3. Apibendrinimai

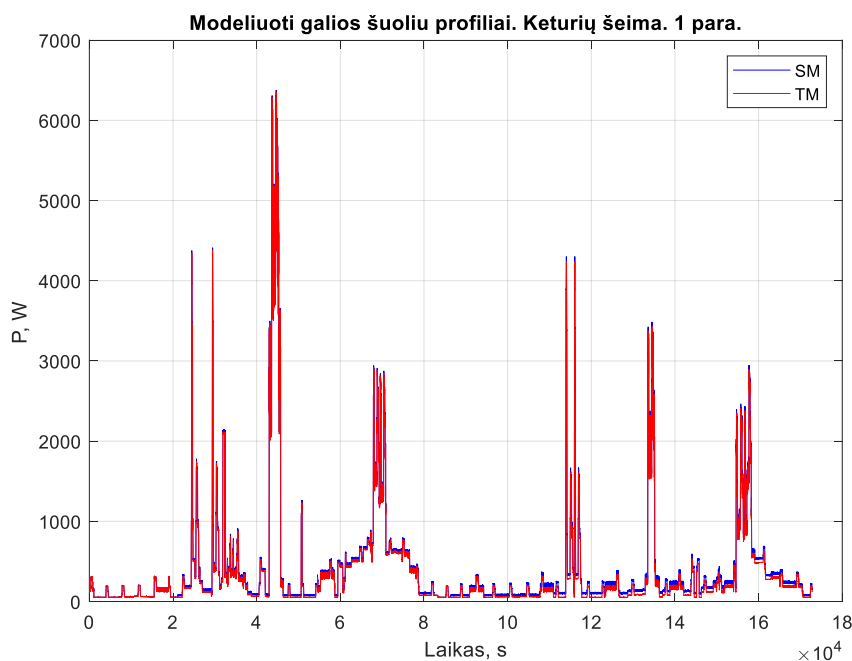
Skyriuje aprašyti sinchronizuotų galios profilių įvertinimo metodas ir projektuojama matuoklių sistema. Sistema sinchronizuota NTP serveriu, o duomenys įrašomi į SD kortelę. Matuokliai metrologiškai nebuvo kalibruoti, bet prie vienodos apkrovos vidutinis galios reikšmių skirtumas buvo artimas nuliui.

3. Modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai

3.1. Galios šuolių modeliavimas

Pirmiausia, tam, kad patikrinti algoritmo veikimą, bandymas atliekamas su programoje sugeneruotais galios profiliais. Galios profiliai generuojami „LoadProfileGenerator“ programine įranga [43], o tolesnė duomenų analizė atliekama „Matlab“ programinėje įrangoje. „Matlab“ kodas pateiktas 2-ame priede.

Pirminei analizei sugeneruotas tipinio namo, kuriame gyvena keturių asmenų šeima, paros laiko suvartojimo profilis – profilis 00 (19 pav.). Galios suvartojimas fiksuojamas kas vieną sekundę. Profiliuose: SM – suminis matuoklis, TM – tiriamasis matuoklis.



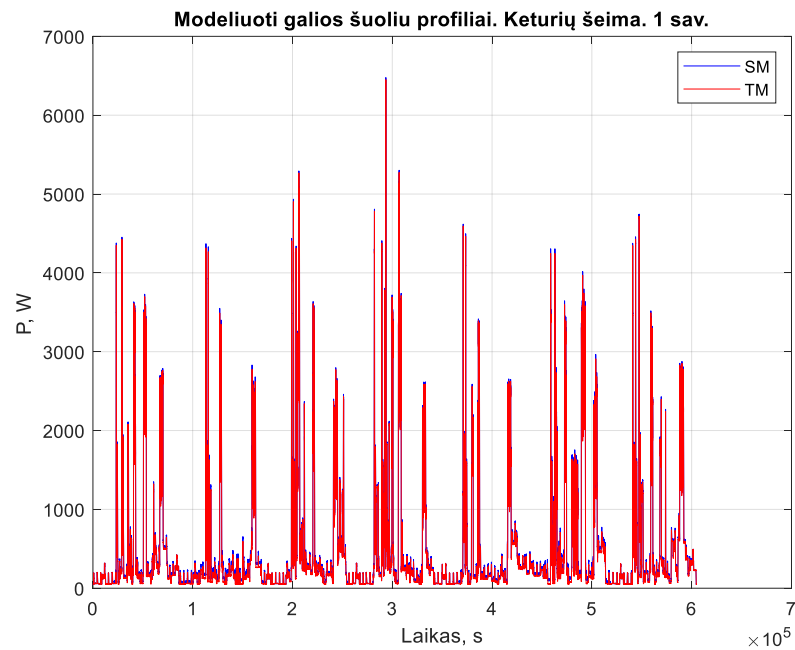
19 pav. Profilis 00

Profilis sugeneruotas tinkle nesant kitų apkrovų, t.y. matuoklių (suminio ir tiriamojo) sistema sujungta nuosekliai (20 pav.).



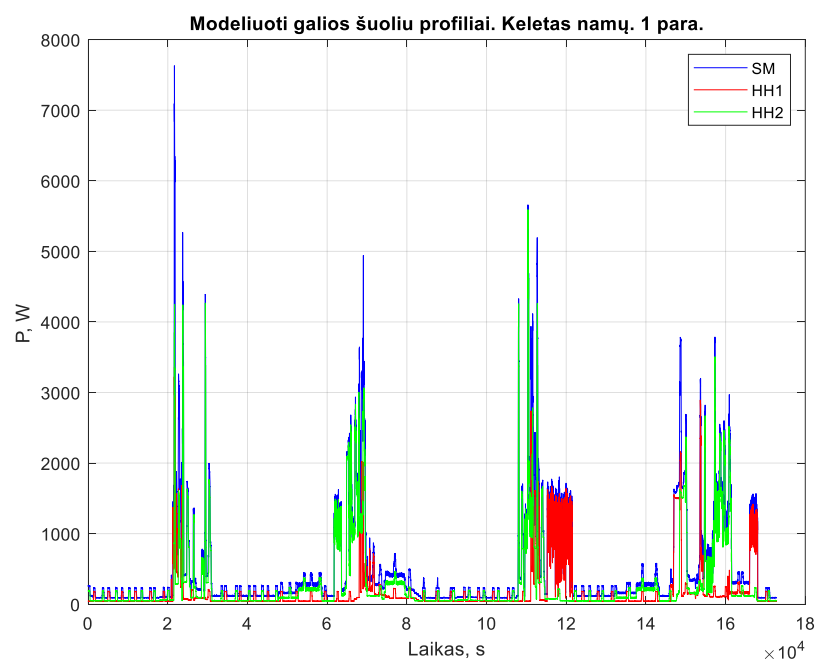
20 pav. Modeliuotų duomenų schema

Tokio tipo modeliavimas pakartojamas ilginant modeliavimo laiką (viena savaitė) – profilis 01 (21 pav.).

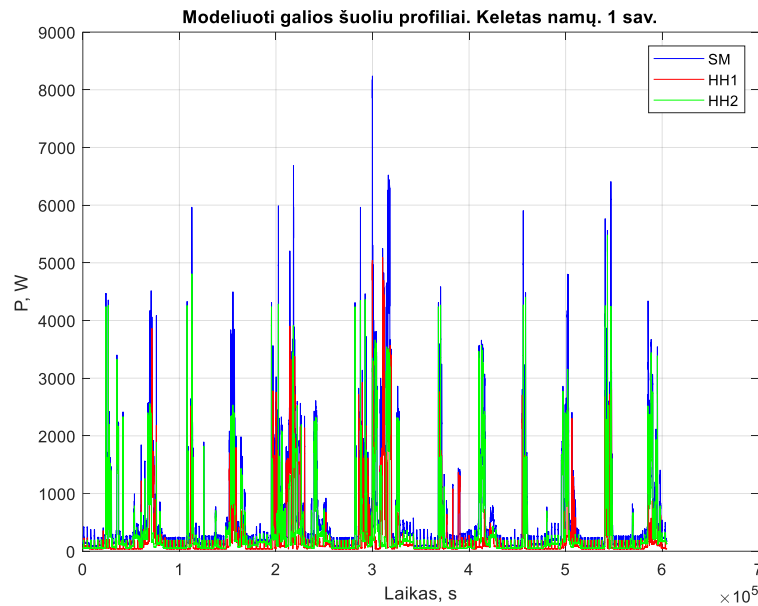


21 pav. Profilis 01

Sumodeliuojami dar du galios suvartojimo profiliai (profilis 02, profilis 03), kuriuose suminis matuoklis fiksuoja keleto namų suvartojimą pagal 14 paveikslėlyje pavaizduotą schemą. Profiliai atvaizduoti 22-23 paveikslėliuose. Paros trukmės profilis – profilis 02, o vienos savaitės – profilis 03. Profilio 02 ir profilio 03 HH1 ir HH2 parametrai reiškia skirtingus namus. Tiriomojo matuoklio duomenimis bus laikomos HH1 vertės.



22 pav. Profilis 02



23 pav. Profilis 03

3.2. Galios šuolių aptikimas

Šuolių aptikimo algoritmas tikrina 11-15 formulėse apibrėžtas sąlygas.

Galios šuoliams aptikti naudoti parametrai:

$\Delta P_{min} = 40 \text{ (W)}$ – minimalus šuolio dydis. Mažesni šios vertės galios šuoliai nefiksuoja.

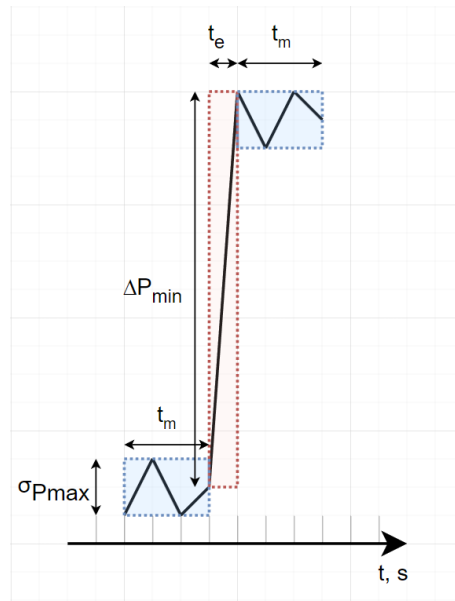
$t_e = 1 \text{ (imtis)}$ – šuolio kilimo/kritimo trukmė (imtimis). Šiuo atveju imtis lygi 1 sekundei, nes matuokliai sinchronizuoti pagal laikrodį kas vieną sekundę, o toks laiko intervalas šuolio kilimui/kritimui ir nusistovėjimui pakankamas, todėl lieka pastovus visuose bandymuose.

$t_m = 3 \text{ (imtis)}$ – parametras glaudžiai susijęs su $\sigma_{P_{max}}$, nes šis parametras nurodo, iš kiek imčių skaičiuojamas standartinis nuokrypis prieš ir po šuolio.

$\sigma_{P_{max}} = 40 \text{ (W)}$ – galios fluktuacijos standartinis nuokrypis prieš ir po šuolio. Nors galia stebėta modeliuotame tinkle, kuris turėtų būti švarus, bet atidžiau pažvelgus į galios profilių formas galima pastebėti „aštrias“ fluktuacijas. Tad keičiant šį parametą, aptiktų galios šuolių skaičius reikšmingai keičiasi.

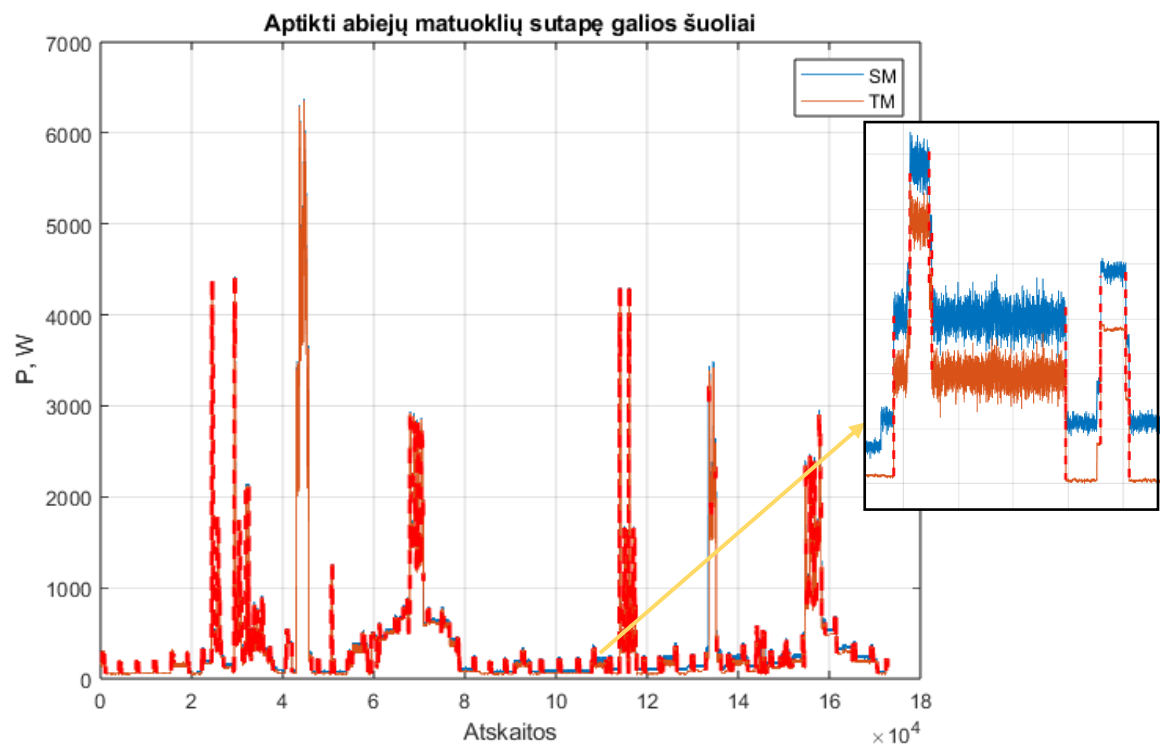
$p_{min} = 40 \text{ (W)}$ – šuolio kilimo greitis per imtį. Parametras lygus ΔP_{min} , nes $t_e = 1$.

Šie parametrai vizualiai pavaizduoti 24 paveikslėlyje.



24 pav. Galios šuolis ir jo aptikimo parametrų atvaizdavimas

Aptikti profilio 00 galios šuoliai, kurie pavaizduoti 25 paveikslėlyje, sutampa laike tiek suminiame, tiek tiriamajame matuokliuose.



25 pav. Profilyje 00 aptikti galios šuoliai

Kituose profiliuose aptikimas analogiškas.

3.3. Modeliuotų galios šuolių analizė

Tarp suminio ir tiriamojo matuoklių išmatuotų šuolių dydžių skaičiuojama santykinė procentinė paklaida.

$$\gamma_i = \frac{TMvertė_i - SMvertė_i}{SMvertė_i} \cdot 100, \quad (25)$$

čia TMvertė ir SMvertė – tiriamojo ir suminio matuoklių sutapusių galios šuolių skaitinės vertės.

Iš santykinės procentinės paklaidos apskaičiuojama vidutinė santykinė paklaida pagal 26 formulę.

$$\gamma_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{N}, \quad (26)$$

čia sumuojama kiekviena paskaičiuota santykinės procentinės paklaidos vertė ir dalinama iš imčių skaičiaus N.

Toliau skaičiuojamas standartinis nuokrypis:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{vid})^2}, \quad (27)$$

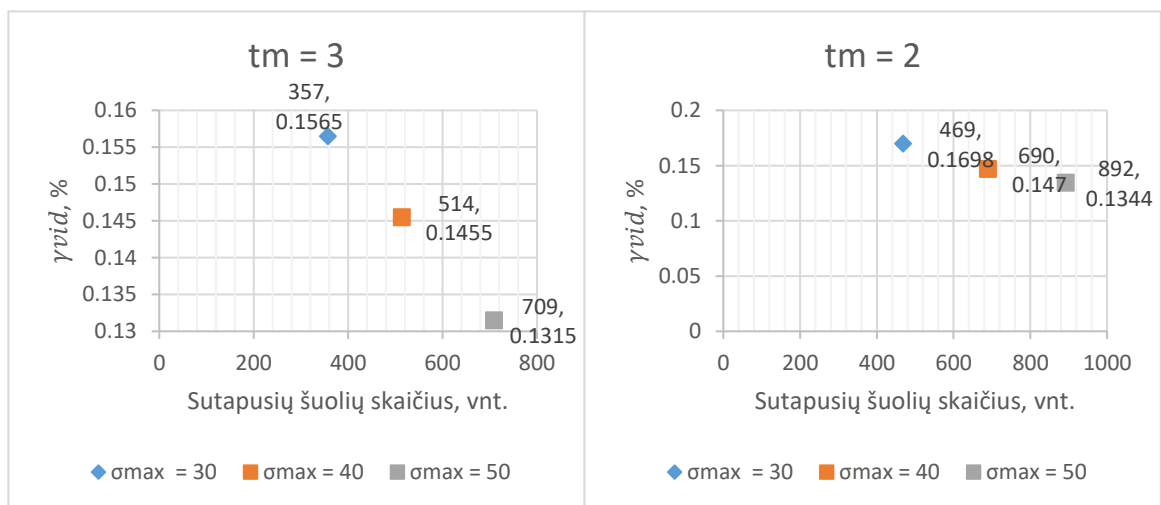
o vidutinis standartinis nuokrypis:

$$\sigma_{mean} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (28)$$

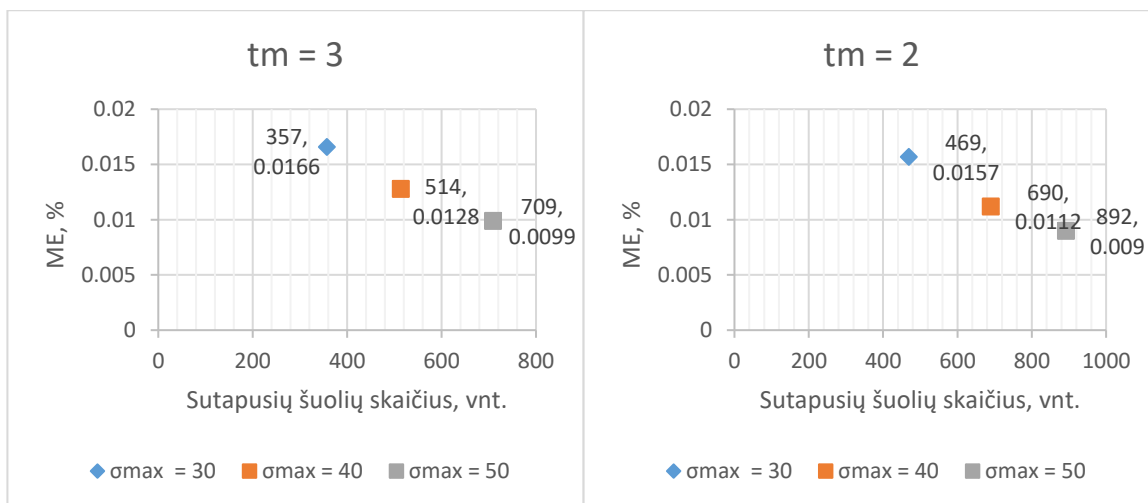
Taikant 95% ($z = 2$) pasiklovimą vidutinis standartinis nuokrypis apskaičiuojamas [44]:

$$ME = z \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (29)$$

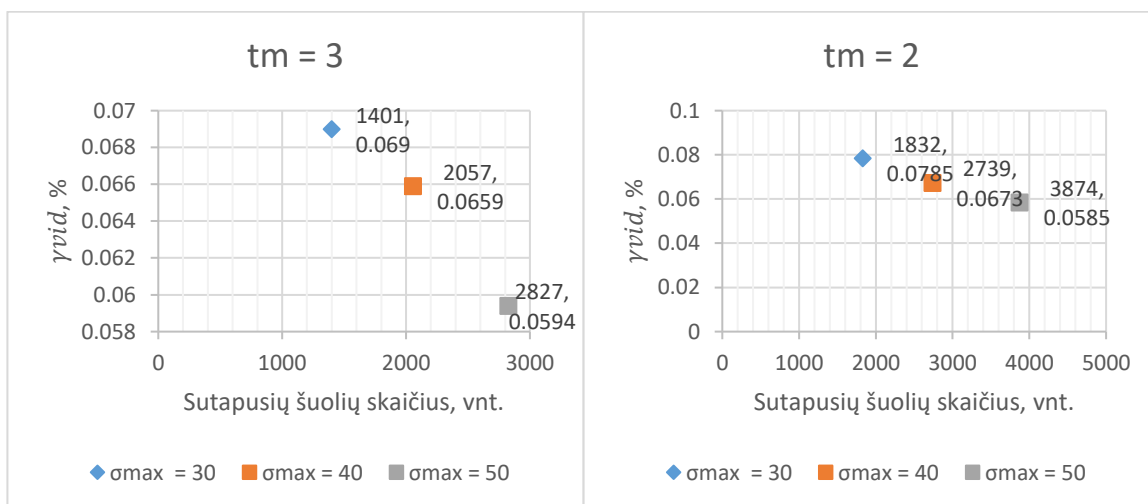
Iš skaičiavimų atliekamas tyrimas, kaip nuo $\sigma_{P_{max}}$ ir t_m parametrų keičiasi aptiktų galios šuolių skaičius ir nuo to priklausomas standartinis nuokrypis bei vidutinis standartinis nuokrypis su 95% pasiklovimu.



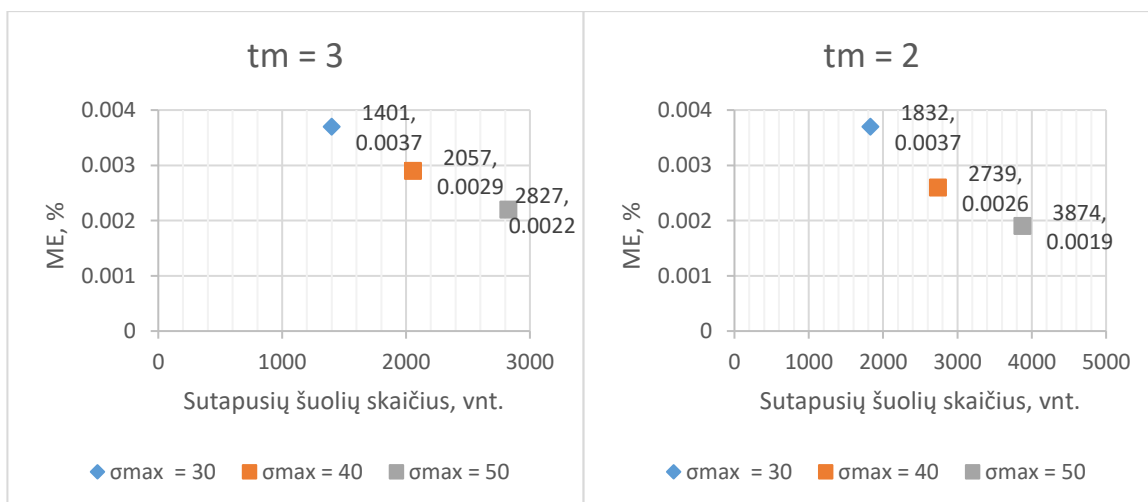
26 pav. Profilio 00 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



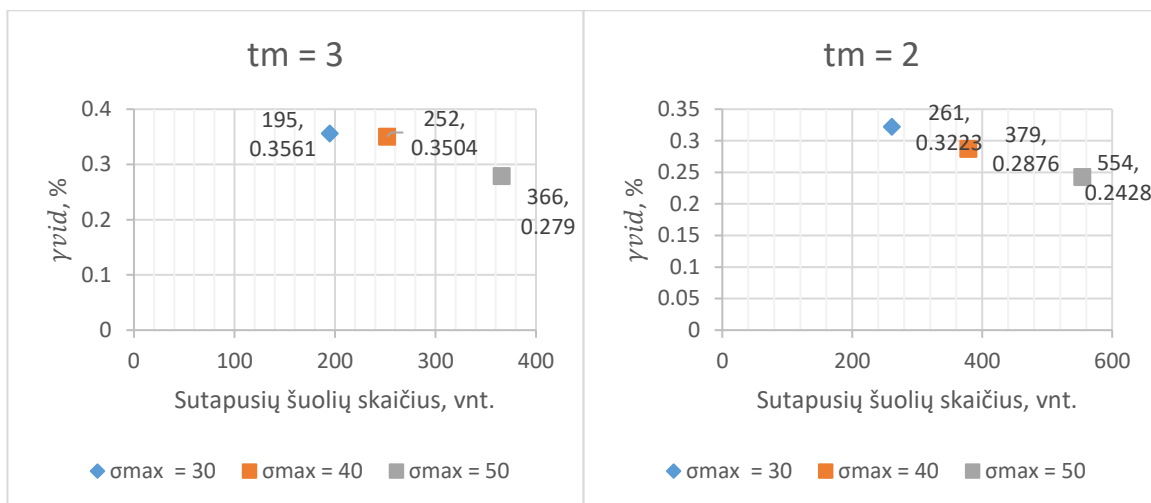
27 pav. Profilio 00 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



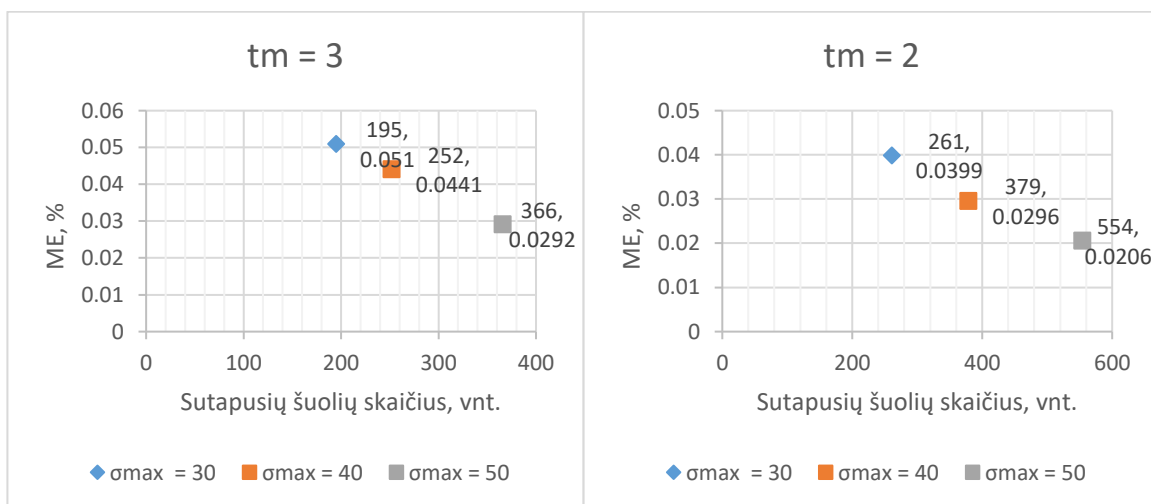
28 pav. Profilio 01 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



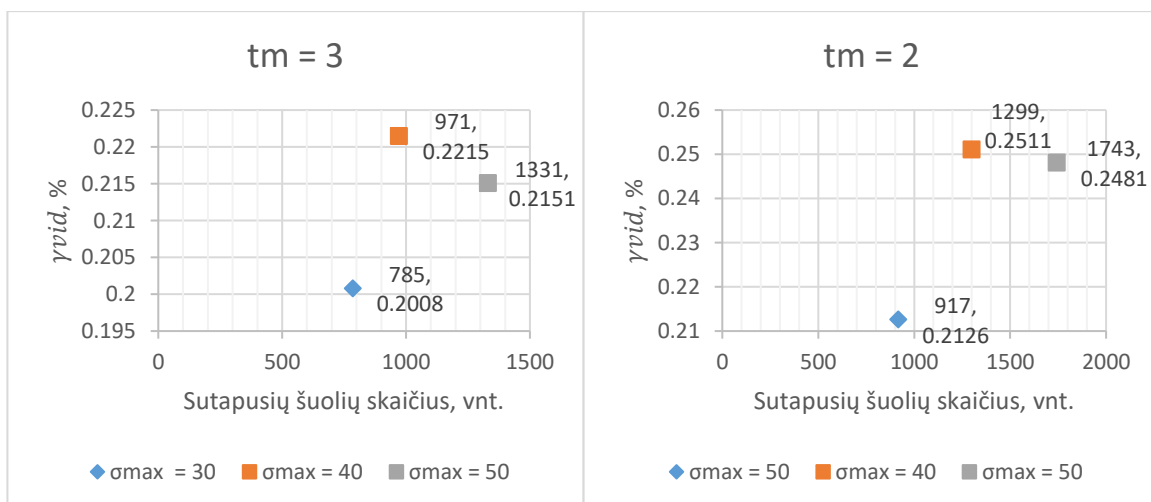
29 pav. Profilio 01 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



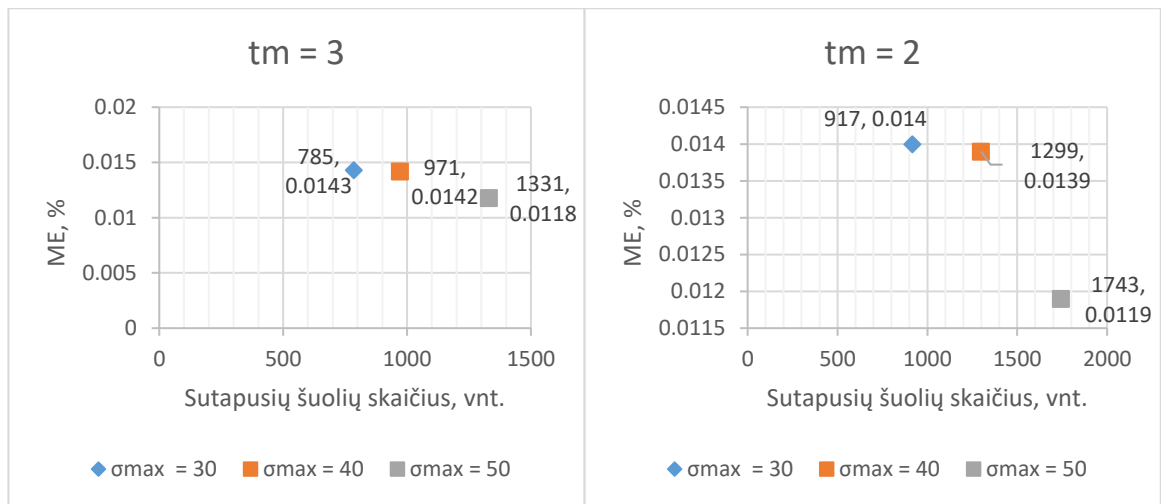
30 pav. Profilio 02 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



31 pav. Profilio 02 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



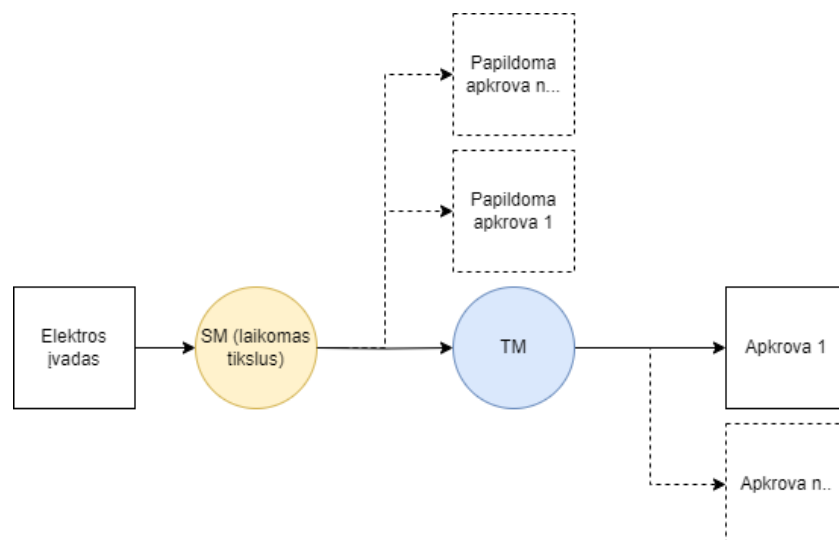
32 pav. Profilio 03 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



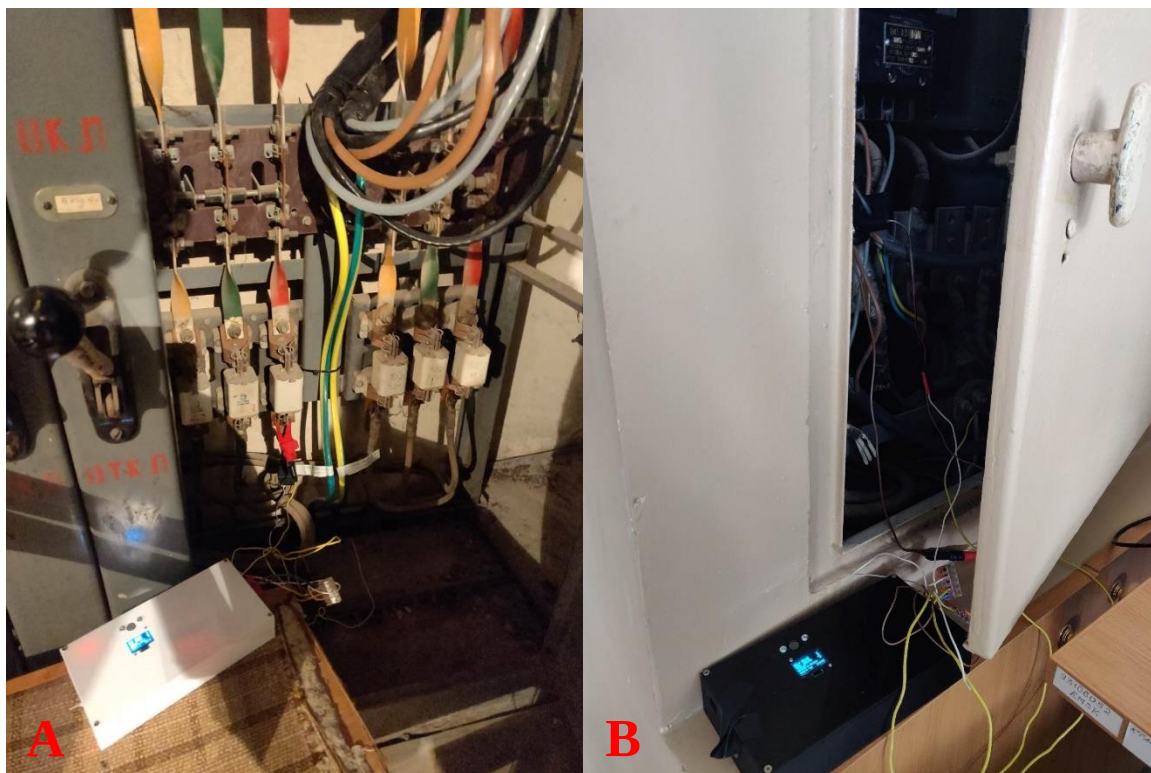
33 pav. Profilio 03 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$

3.4. Eksperimentinių tyrimų duomenų surinkimas

Kadangi eksperimentą siekiama atlikti stebint suvartojimą neinvaziškai, eksperimentas atliekamas universiteto rūmuose (Studentų g. 50) esančiame elektros įvade, ir toliau tos pačios perdavimo linijos (fazės) atšakoje – vienoje iš laboratorijų (433 lab.) (34 pav.). Vienas tokio tipo bandymas atliktas surenkant galios suvartojimo duomenis ~ 1 val. laiko laboratorijoje vykstant darbams. Tam, kad būtų gautas didesnis šuolių skaičius, rankiniu būdu buvo jungiamos apkrovos atsitiktiniais laiko intervalais. Kitas tokio paties principo bandymas atliktas stebint suvartojamą galią rūšio įvade ir laboratorijoje 24 valandas (35 pav.). Akivaizdu, kad per tiek laiko suvartojimo kreivė nebūtų labai kintanti, todėl panaudotos trys apkrovos su laikmačiais (36 pav.) (vienas jų visiškai atsitiktinio laiko, kitas 7,5 min, o trečias 15 min intervalo). Taip atliekant tyrimą, šalia esančių netolygių kompiuterio apkrovų, laboratorinės įrangos ir bendro tinklo svyravimų aptinkama daugiau galios šuolių, kurie, jei būtų galimybė tyrimą atlikti didesniame gyvenamame name, atsitiktų nieko specialiai nejungiant.



34 pav. Galios suvartojimo stebėsenos schema



35 pav. Matavimai, duomenų surinkimas (A – suminis matuoklis įvade rusyje, B – TM laboratorijoje)



36 pav. Laikmačiais jungiamos apkrovos

Vėliau, kad būtų galima įvertinti ir palyginti rezultatus, buvo atlikti matavimai tik laboratorijoje. Šį kartą prie laboratorijos įvado buvo prijungtas suminis matuoklis, o prie vieno iš kištukinių lizdų tiriamasis matuoklis, kuriame buvo fiksuojama ten suvartojama galia. Matavimų principas išliko toks pat, kaip ir matavimo įvade ir laboratorijoje. Galios šuoliams gauti buvo jungiamos apkrovos abejais

atvejais rankiniu būdu. Trumpiems matavimams buvo panaudota daugiau įvairių apkrovų ir komutuota dažniau.

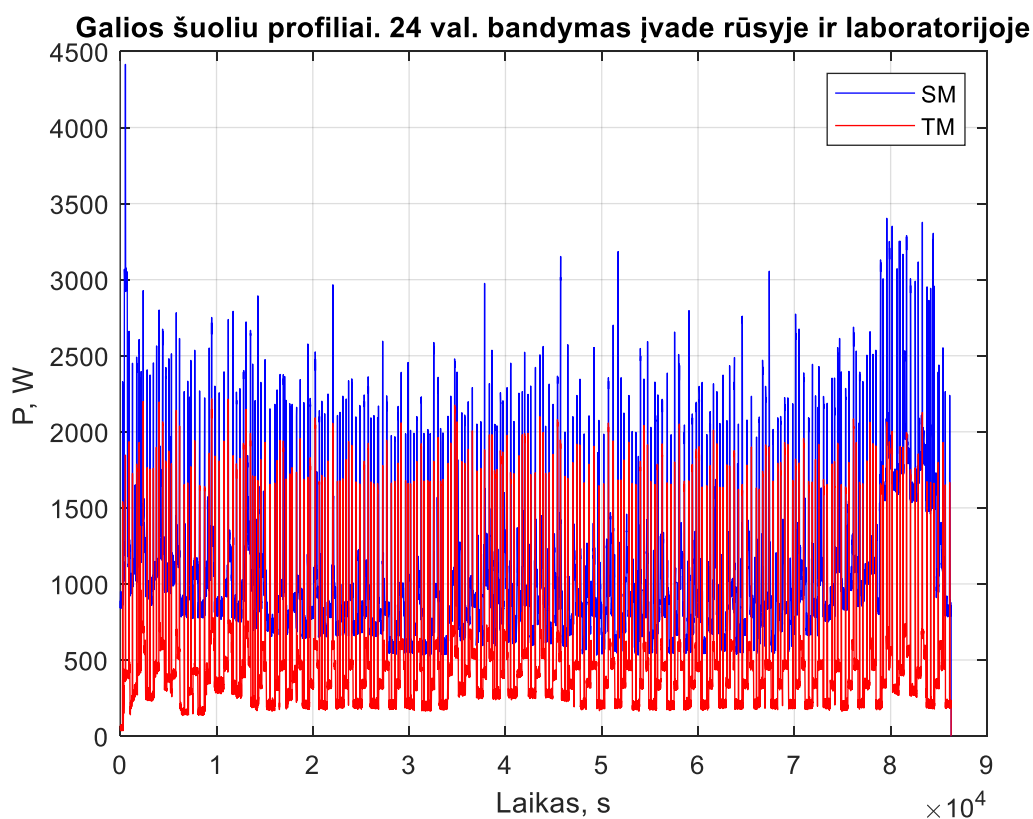
Apibendrinant:

1 profilis – 24 val. matavimas universitete įvade ir laboratorijoje prie TM, esant trims skirtingoms, nuolat atsitiktiniu būdu besijungiančioms, apkrovoms ir laboratorinei įrangai. SM stebi TM ir kitas nežinomas tos pačios fazės apkrovas.

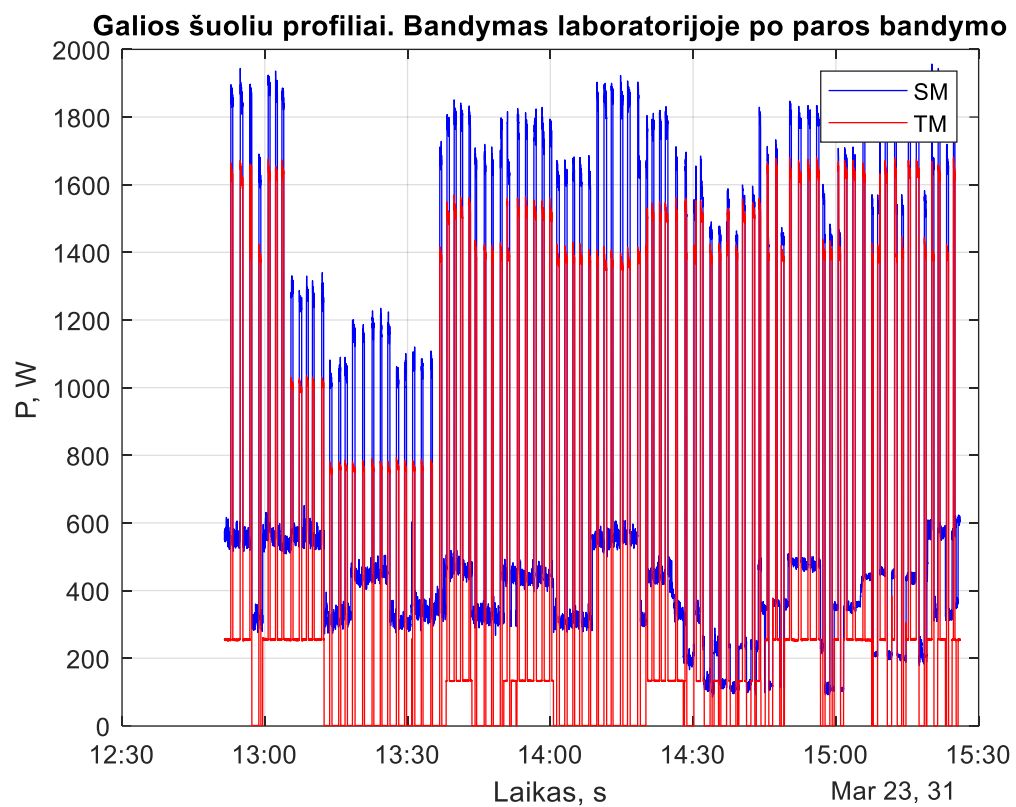
2 profilis – 2 val. trukmės matavimas tik laboratorijoje. Suminis matuoklis stebi visos laboratorijos suvartojimą, o viename iš kištukinių lizdų yra tiriamasis matuoklis. Tiek suminio, tiek tiriamojo matuoklio grandinėse komutuojamos įvairios apkrovos (šildytuvai, kaitrinės lemputės, laboratorinė įranga).

3 profilis – 0,5 val. matavimas tik laboratorijoje. Principas atitinka antrą profilį, tik naudojama daugiau ir įvairesnių apkrovų.

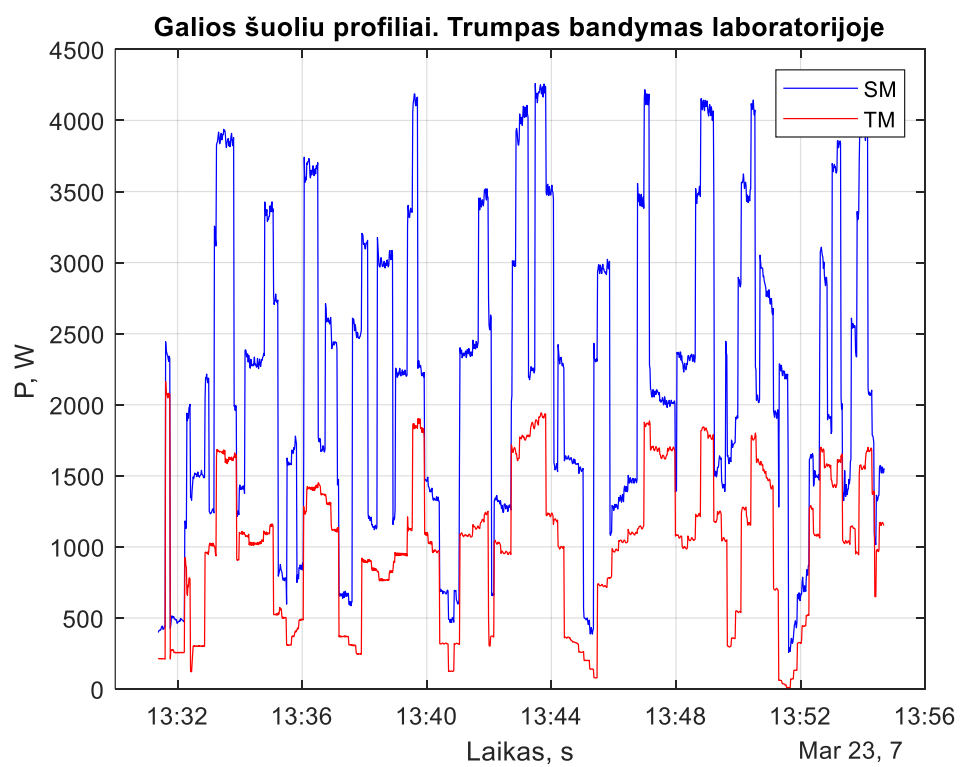
4 profilis – 1 val. matavimas elektros įvade ir laboratorijoje. Principas panašus į pirmą profilį, tačiau jame daugiau įvairių apkrovų, kurios laboratorijoje jungiamos rankiniu būdu (keletas šildytuvų, lempos, lab. įranga).



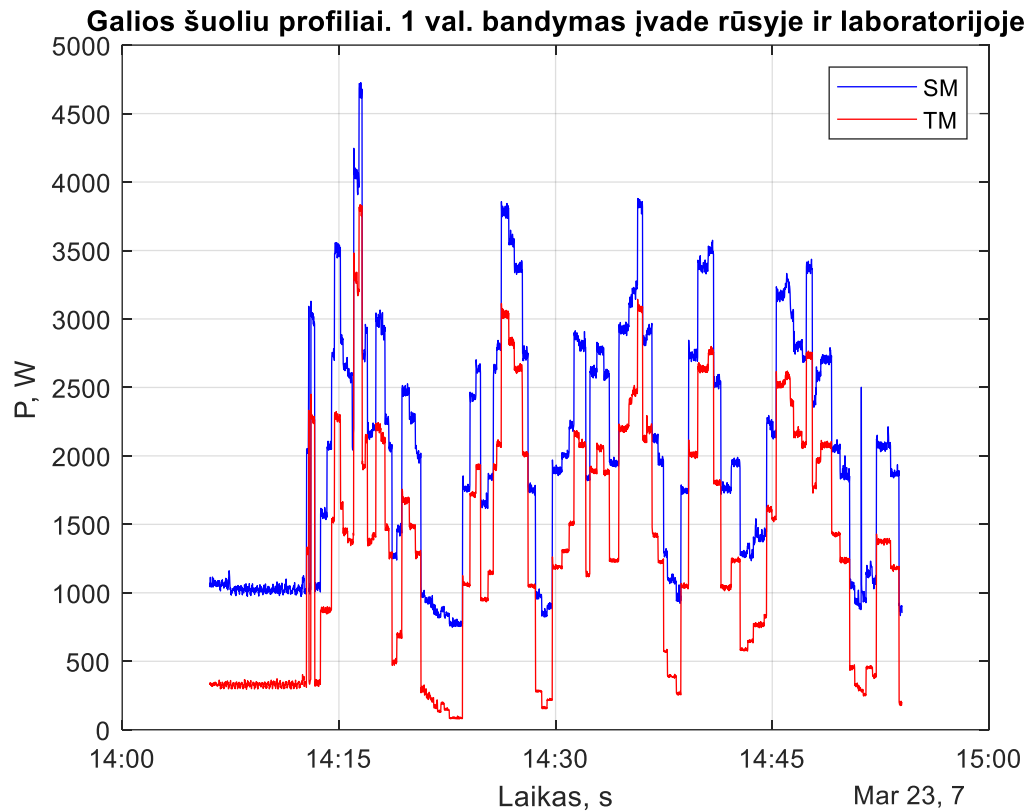
37 pav. Profilis 1



38 pav. Profilis 2



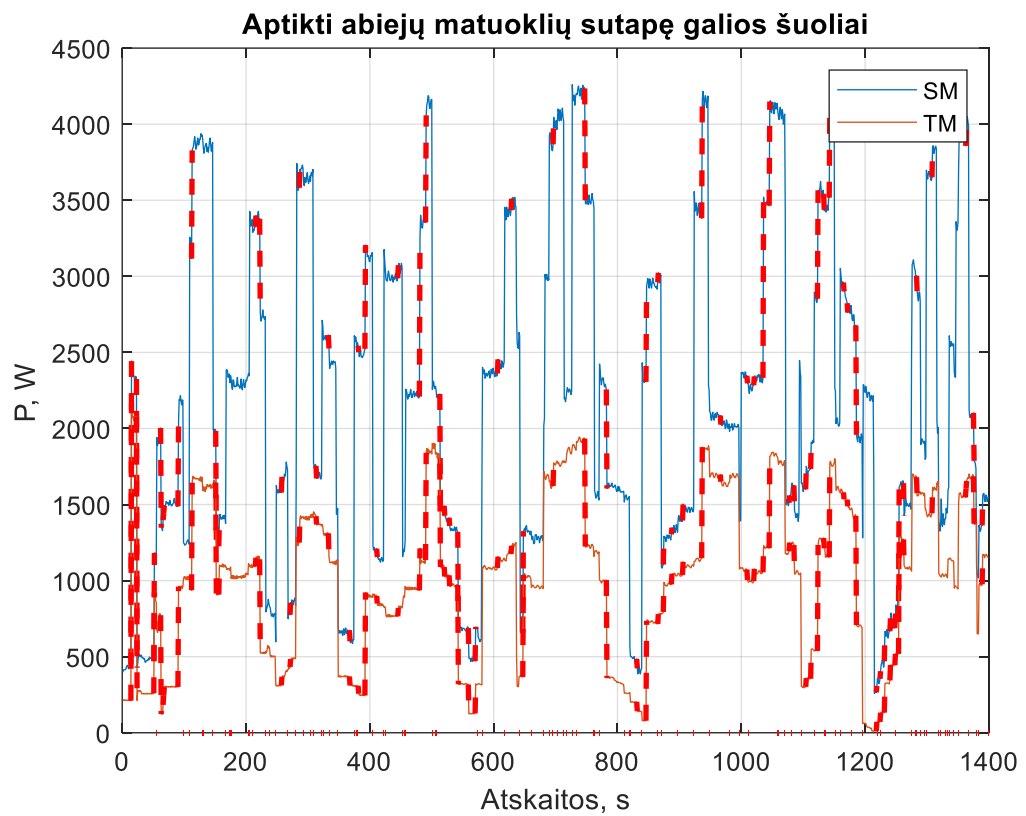
39 pav. Profilis 3



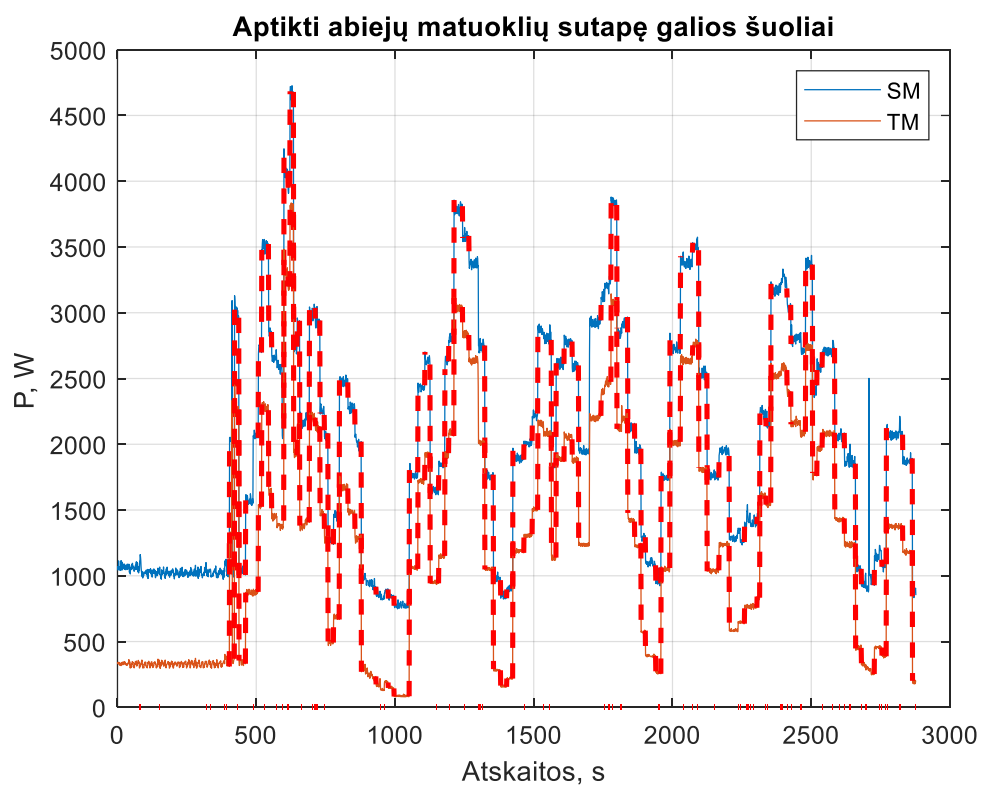
40 pav. Profilis

3.5. Realių galios šuolių aptikimas profiliuose

Galios šuolių aptikimui taikoma 3.2 poskyryje aprašyta metodika. Galios šuolių aptikimo algoritmas aptinka visus šuolius, tenkinančius sąlygas. Kaip jau buvo minėta, suminiame matuoklyje galios šuolių yra daugiau, bet didelė dalis jų yra neaktualūs, kadangi yra pašaliniai (tiriamąjo matuoklio aptikti šuoliai nesutampa). Todėl išrenkami tik tam tikru laiko momentu (atskaitoje) sutapę galios šuoliai. 41-42 paveikslėliuose vizualiai pavaizduoti 3, 4 profilio matavimų metu aptikti sutapę šuoliai su 3.2 poskyryje aprašytais šuolio aptikimo parametrais.



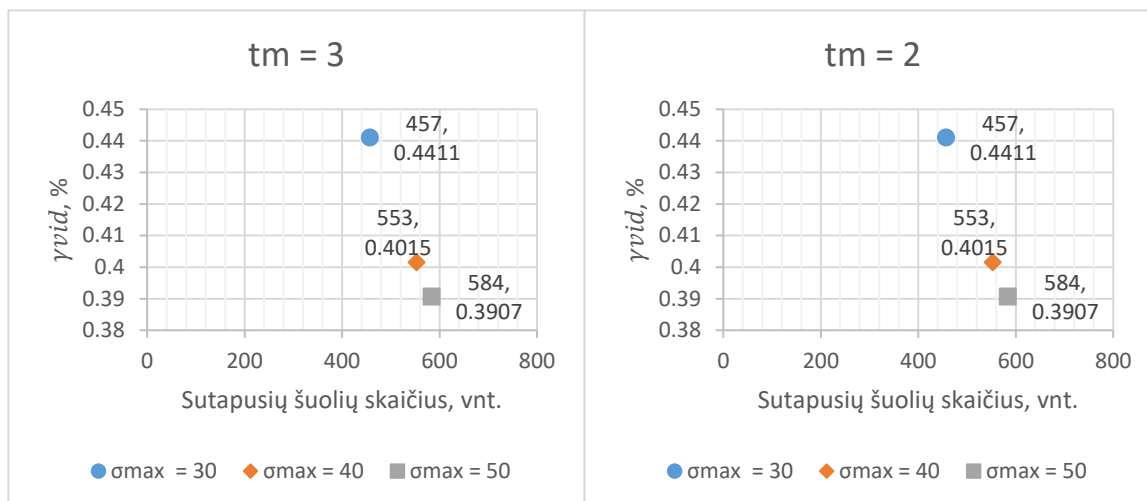
41 pav. Profilyje 3 aptikti sutapę galios šuoliai



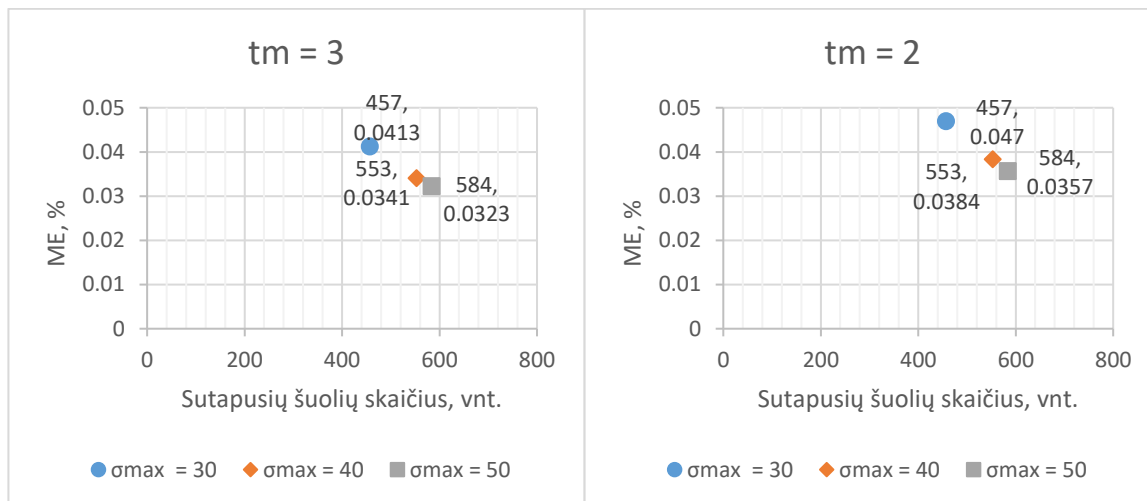
42 pav. Profilyje 4 aptikti sutapę galios šuoliai

3.6. Realiai aptiktų galios šuolių analizė

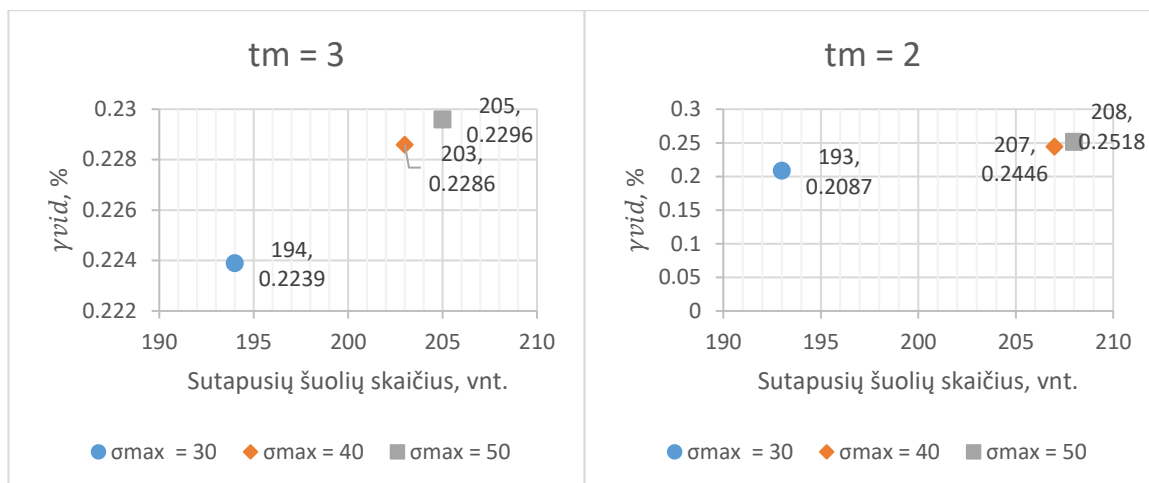
Eksperimento metu aptiktiems šuoliams vertinti naudojama 3.3 poskyryje aprašyta metodika. Atliekamas tyrimas, kuriame aiškinamasi, kaip nuo $\sigma_{P_{max}}$ ir t_m parametrų keičiasi aptiktų galios šuolių skaičius ir nuo jų priklausomas standartinis nuokrypis bei vidutinis standartinis nuokrypis su 95% pasikliovimu.



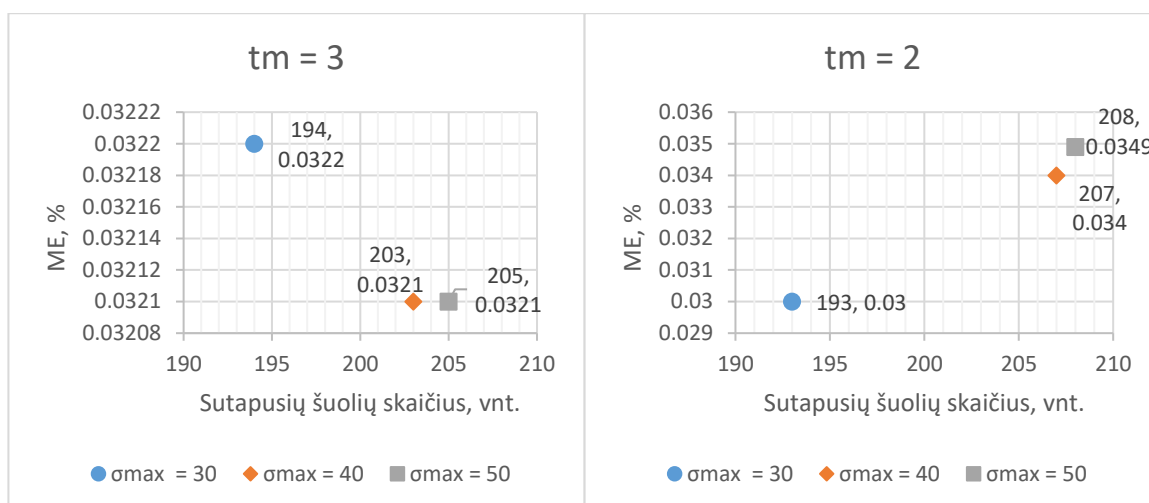
43 pav. Profilio 1 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



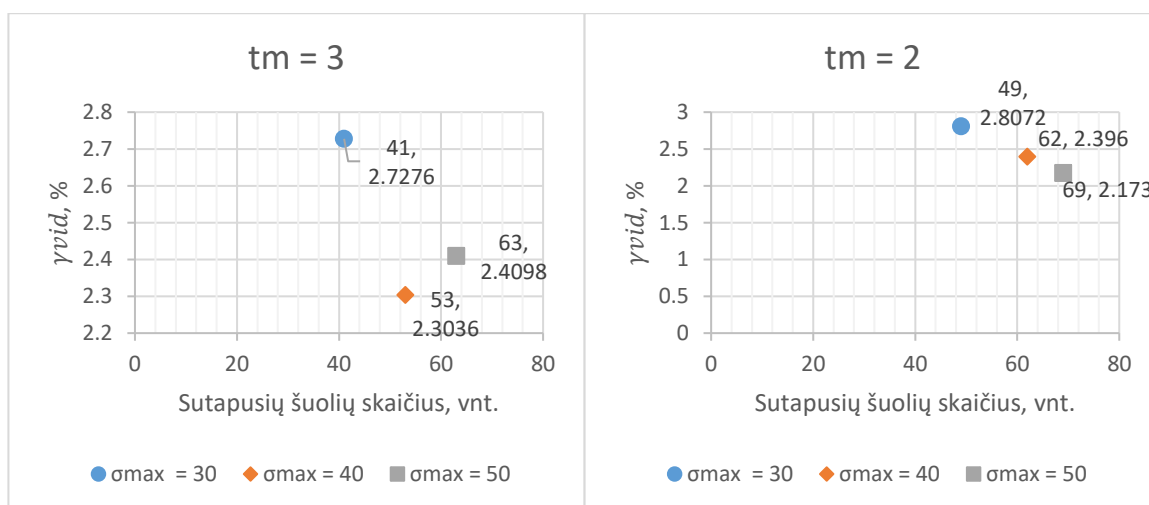
44 pav. Profilio 1 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



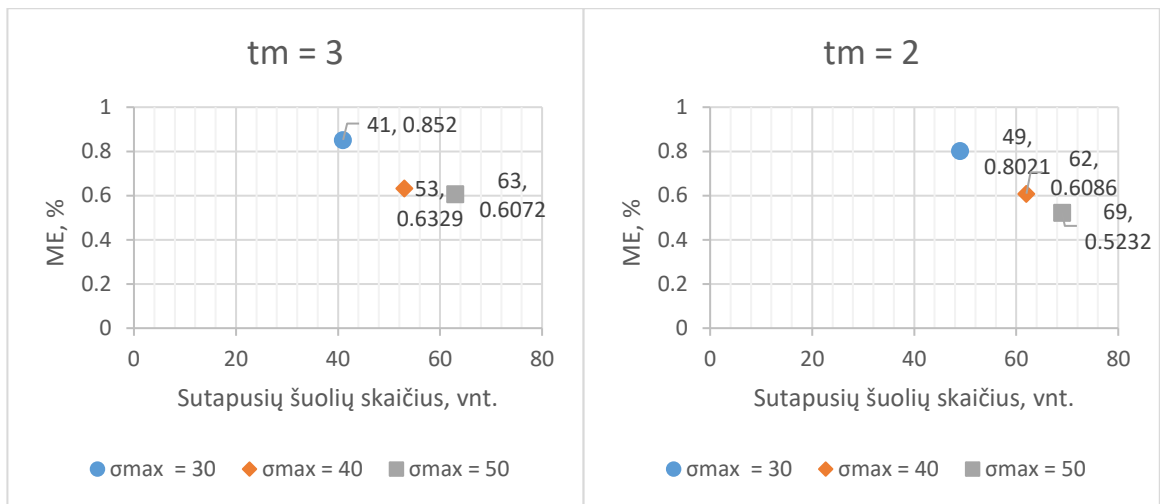
45 pav. Profilio 2 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



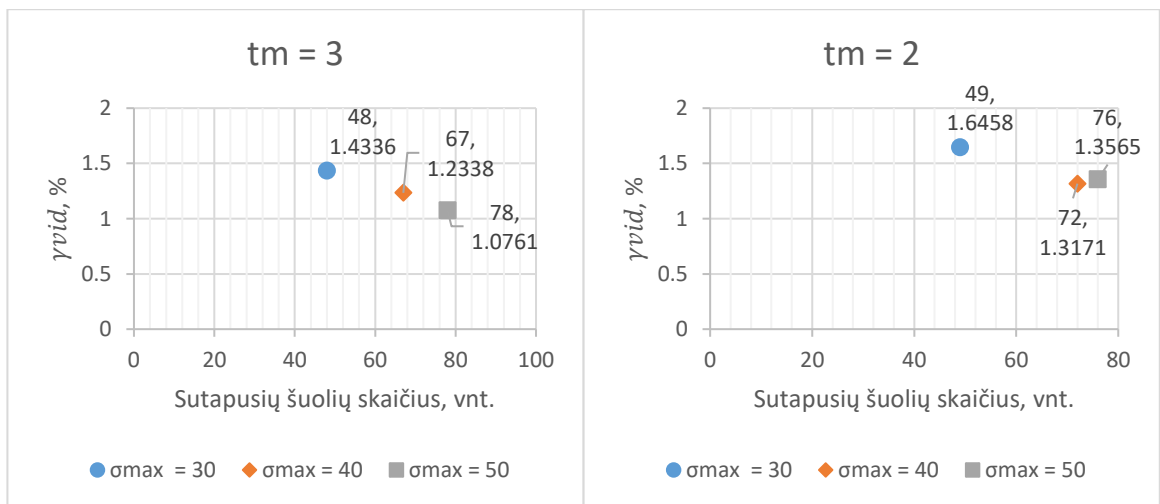
46 pav. Profilio 2 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



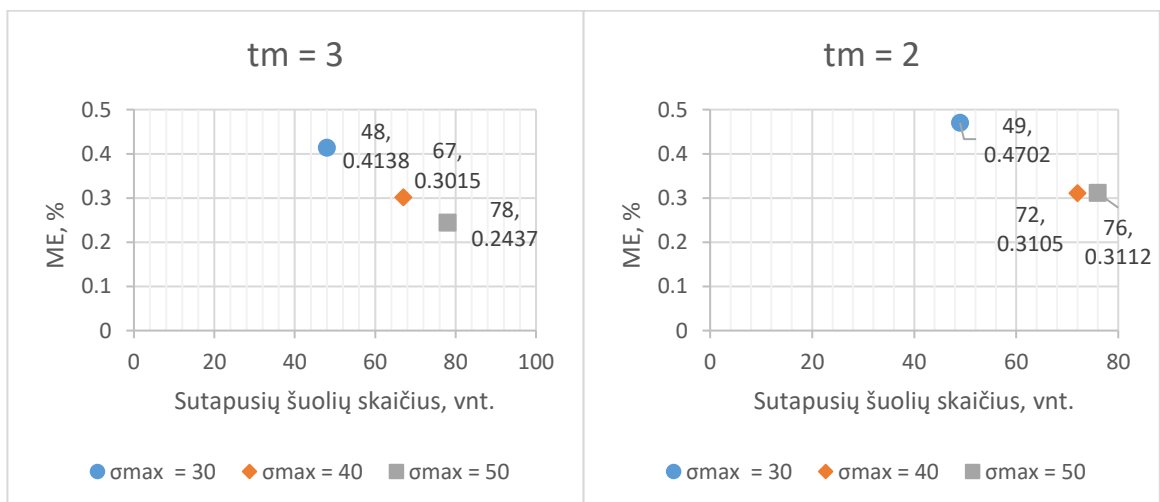
47 pav. Profilio 3 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



48 pav. Profilio 3 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



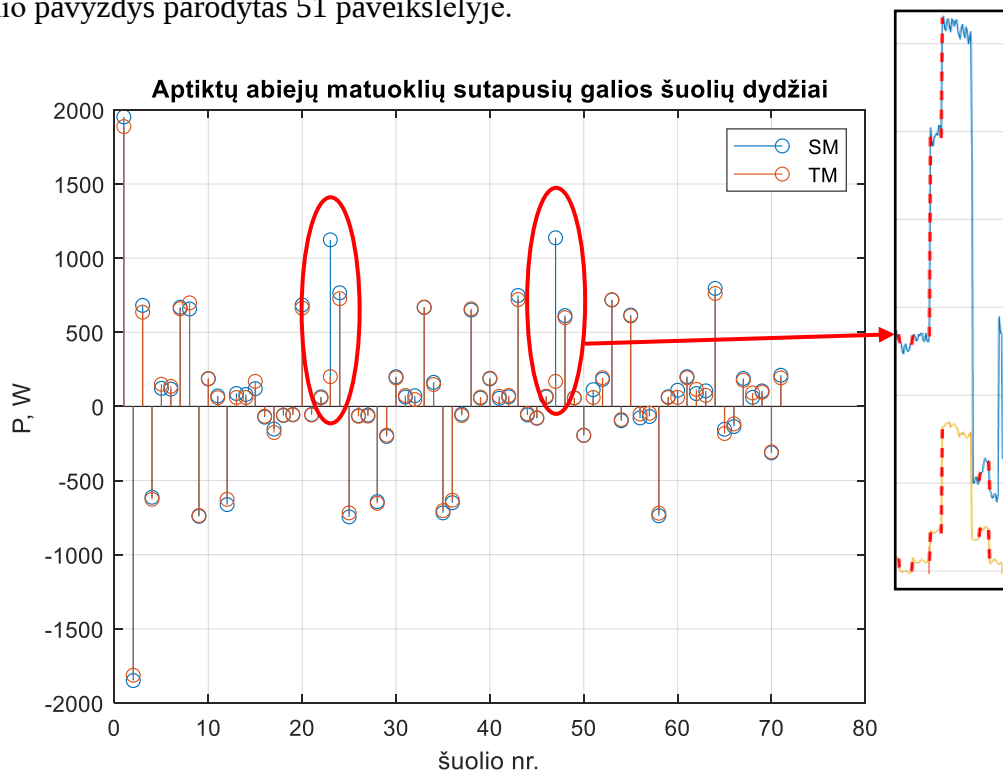
49 pav. Profilio 4 vidutinės santykinės paklaidos priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$



50 pav. Profilio 4 vidutinio standartinio nuokrypio priklausomybė nuo aptiktų galios šuolių keičiant parametrus t_m ir $\sigma_{P_{max}}$

3.6.1. Skirtingų dydžių galios šuolių įtaka TM santykinei paklaidai ir vidutiniam standartiniam nuokrypiui

Atliekami skaičiavimai rodo skirtingų dydžių šuolių įtaką TM santykinei paklaidai ir vidutiniam standartiniam nuokrypiui. Pasirinkto skirstymo pagal dydį prežastis yra persidengiantys galios šuoliai, t.y. šuolis kyla arba krenta tiriamajame matuoklyje, kai, tuo pat metu, suminiame matuoklyje, be to paties proceso, šuolis papildomas galios suvartojimu iš kitų apkrovų. Aprašytos vietos santykinės paklaidos skaičiavime blogina rezultatus, ko būtų galima išvengti šuolius grupuojant. Tokio reiškinio pavyzdys parodytas 51 paveikslėlyje.

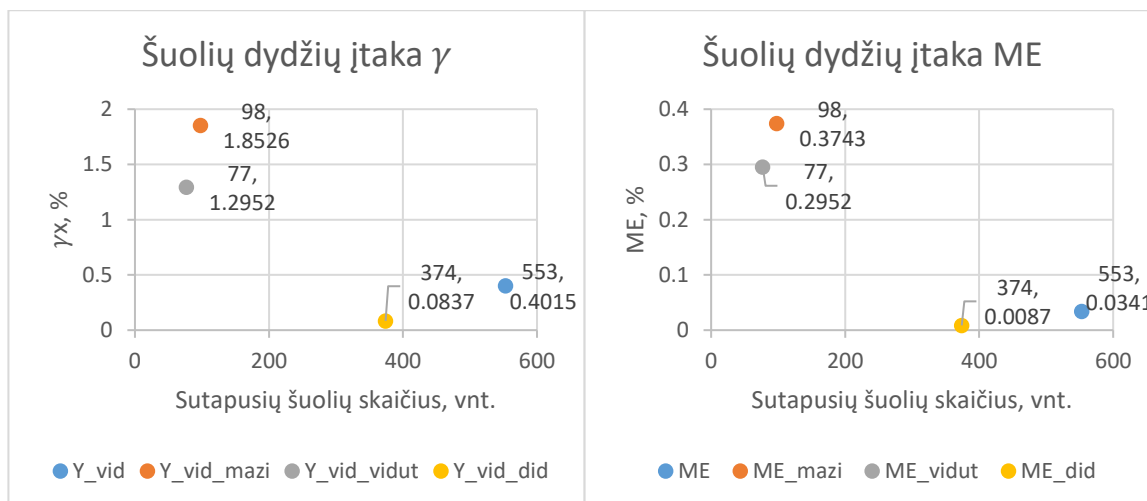


51 pav. 3-iaame profilyje aptiktų sutapusių šuolių dydžiai ir vaizdas profilyje

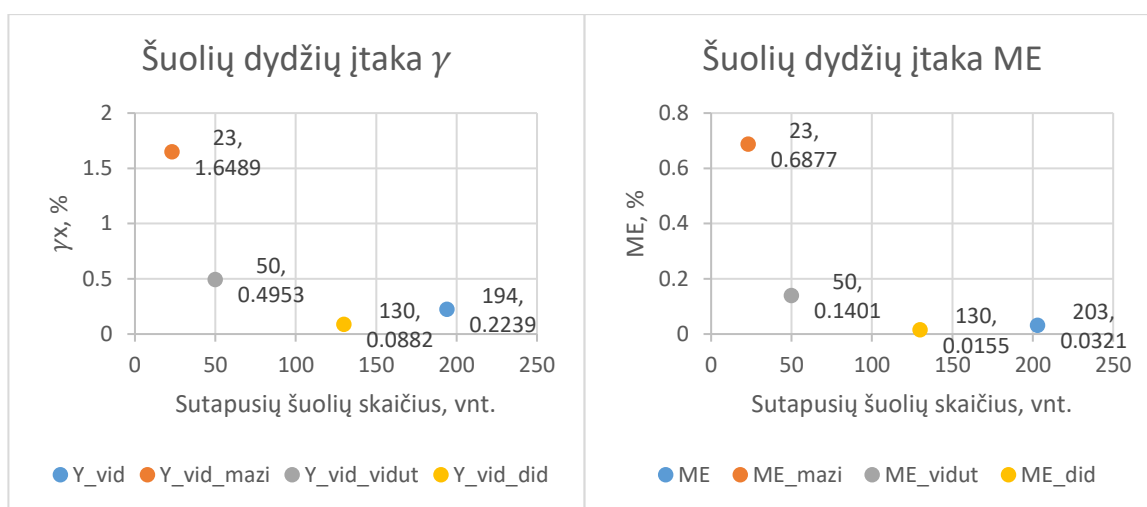
Pagal realių matavimų 1-ąjį profilį parinkti 3 skirtingų ribų intervalai (vatais):

- maža riba < 170,
- 170 < vidutinė riba < 1000,
- didelė riba > 1000.

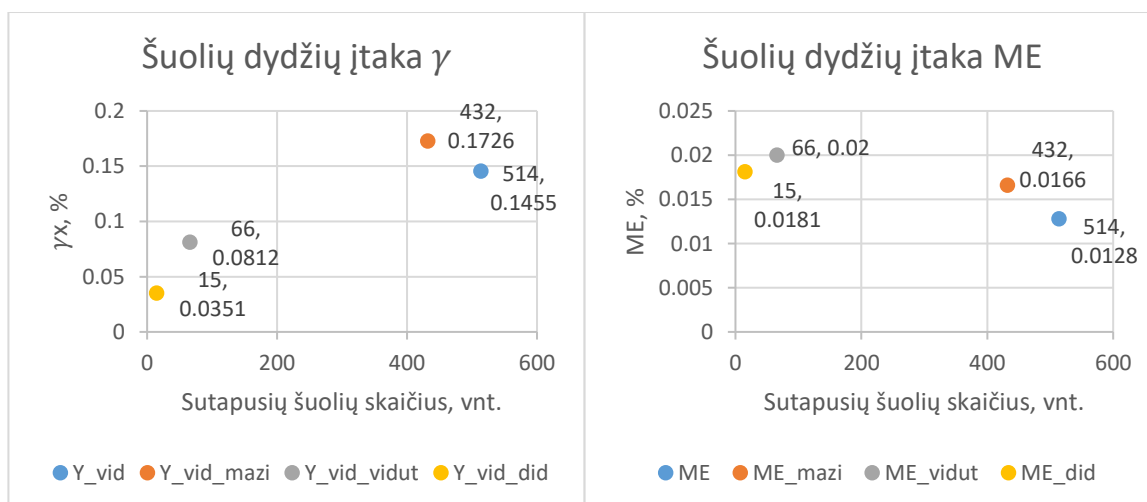
Taikant šuolio aptikimo sąlygas $t_m = 3$ ir $\sigma_{pmax} = 40$, apskaičiuota skirtingų šuolių dydžių įtaka γ_{vid} ir ME parametrms. Kiekvienas dydis apskaičiuotas tik su tam tikro intervalo reikšmėmis. Grafikuose (52-55 pav.) pavaizduota skirtingų matavimų metu užfiksuotų bendrų šuolių ir išskirtuose intervaluose gaunamos γ_{vid} ir ME vertės. Grafikuose „Y_vid“ – bendra matavimo aibės γ_{vid} vertė, o „Y_vid_mazi“ intervalui iki 170W, „Y_vid_vidut“ vertės tarp 170W ir 1000W, o „Y_vid_did“ šuoliai didesni už 1000W. Analogiškai ir ME skaičiavimo atveju. Modeliuoti ir realūs duomenys yra skaičiuojami atmetant profilį 3, profilį 4, profilį 01, profilį 02, nes juose arba nebuvo aptikta, arba nebuvo pakankamai aptikta didelių šuolių.



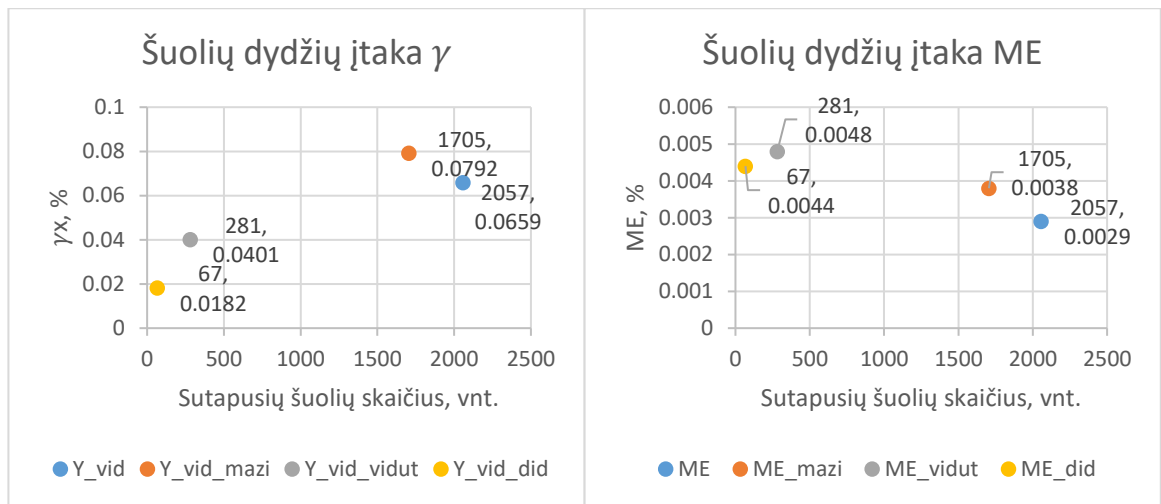
52 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 1



53 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 2



54 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 01

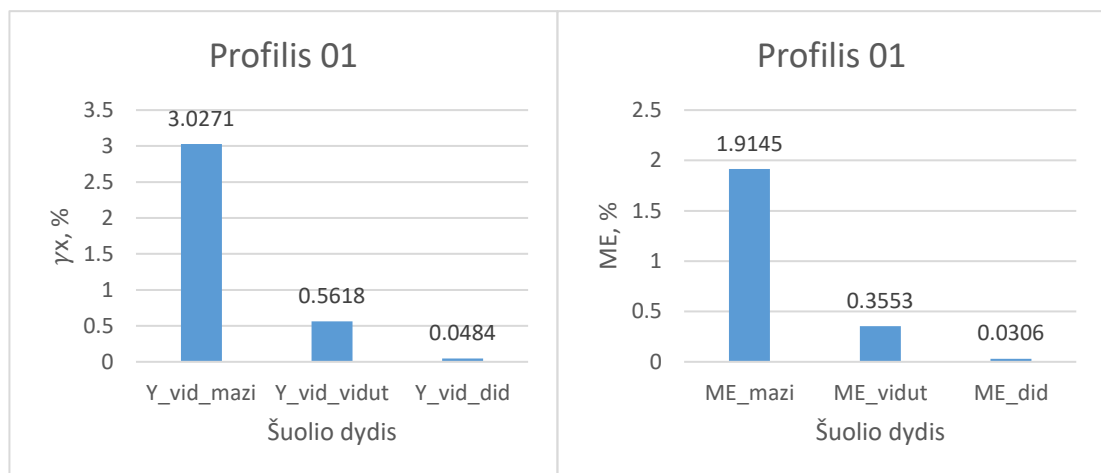


55 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME stebėsenos profilyje 03

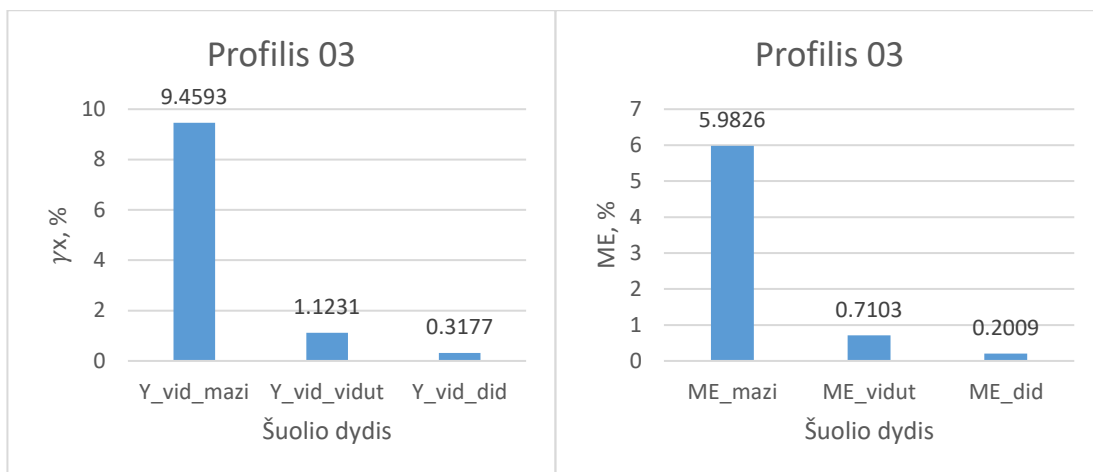
Realaus bandymo metu (profilyje 1, 2) galima matyti, kad didelių šuolių aptikta daugiausiai, tad dideli šuoliai gerina γ_{vid} ir ME reikšmes. Tam, kad įsitikinti, jog dideli šuoliai turi mažiausias paklaidas, atliekamas 4.6.2 skyrelyje aprašytas bandymas.

3.6.2. Skirtingų dydžių galios šuolių įtaka TM santykinei paklaidai ir vidutiniam standartiniam nuokrypiui imant pirmus dešimt galios šuolių

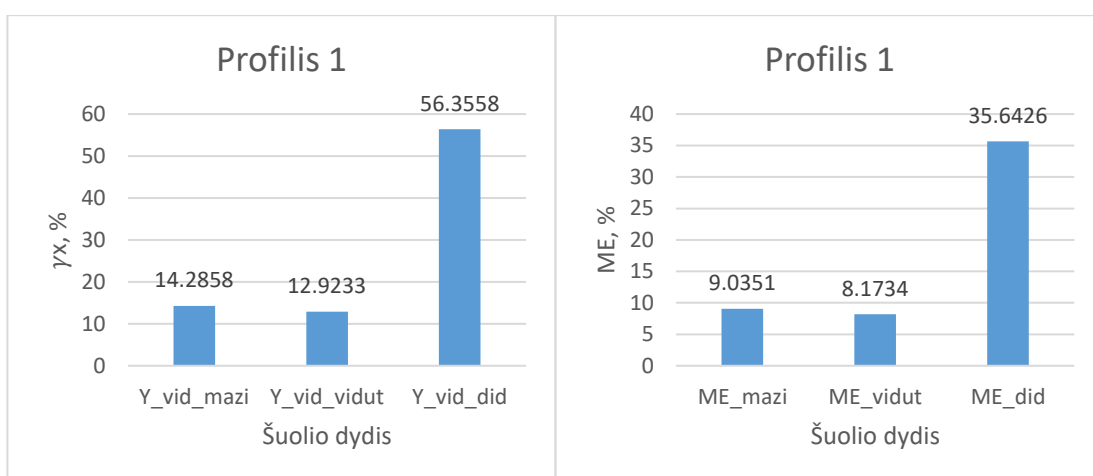
Skaiciavimai atliekami profiliams, kurie aptiko daugiau nei dešimt visų ribų šuolių. Tokie profiliai yra: profilis 1, profilis 2, profilis 01, profilis 03. Skaiciavimams naudojamos pirmų dešimt sutapusių laike mažų šuolių vertės suminiame ir tiriamajame matuoklyje. Su vidutinių bei didelių šuolių vertėmis atitinkamai imama dešimt pirmųjų verčių. Modeliuotų duomenų skirtingų dydžių šuolių daroma įtaka vidutinei santykinei paklaidai bei vidutiniam standartiniam nuokrypiui pavaizduota 56-57 paveikslėliuose. Realiai atlikto bandymo skirtingo dydžio aptiktų galios šuolių įtaka parametrams γ_{vid} ir ME pavaizduota 58-59 paveikslėliuose.



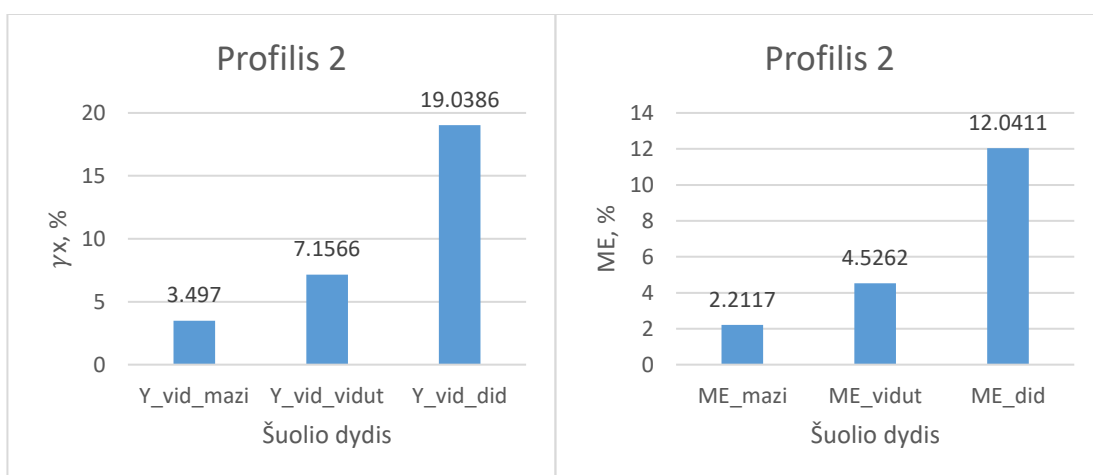
56 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) modeliuotame profilyje 01



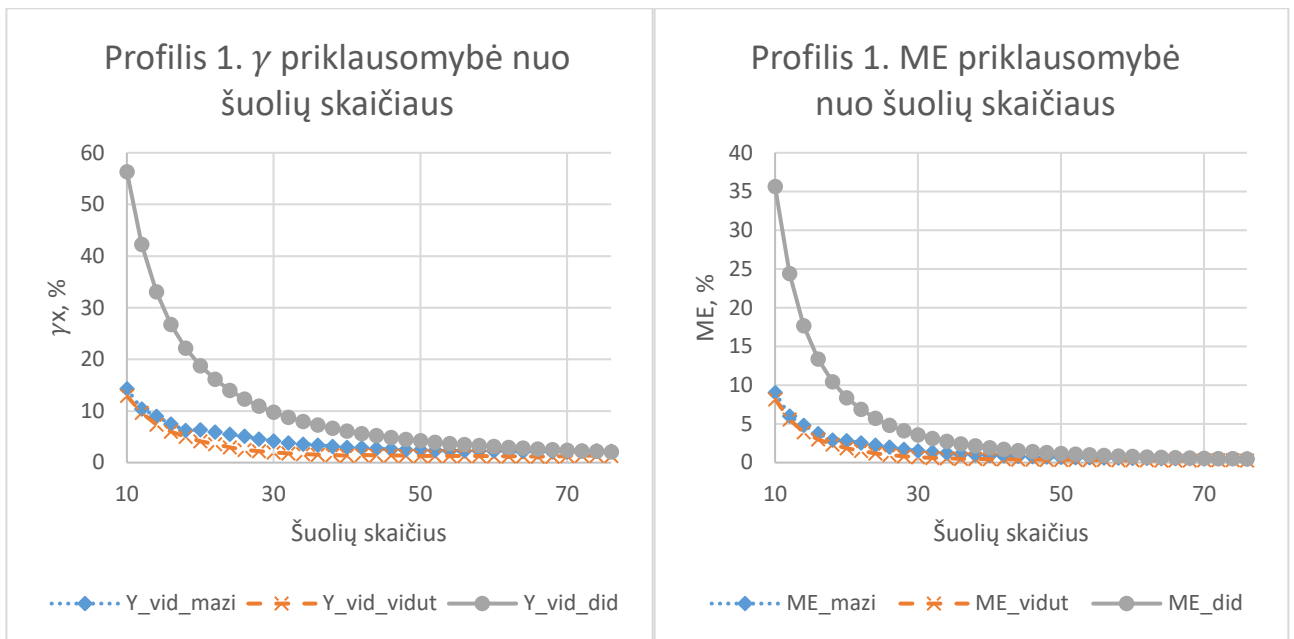
57 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) modeliuotame profilyje 03



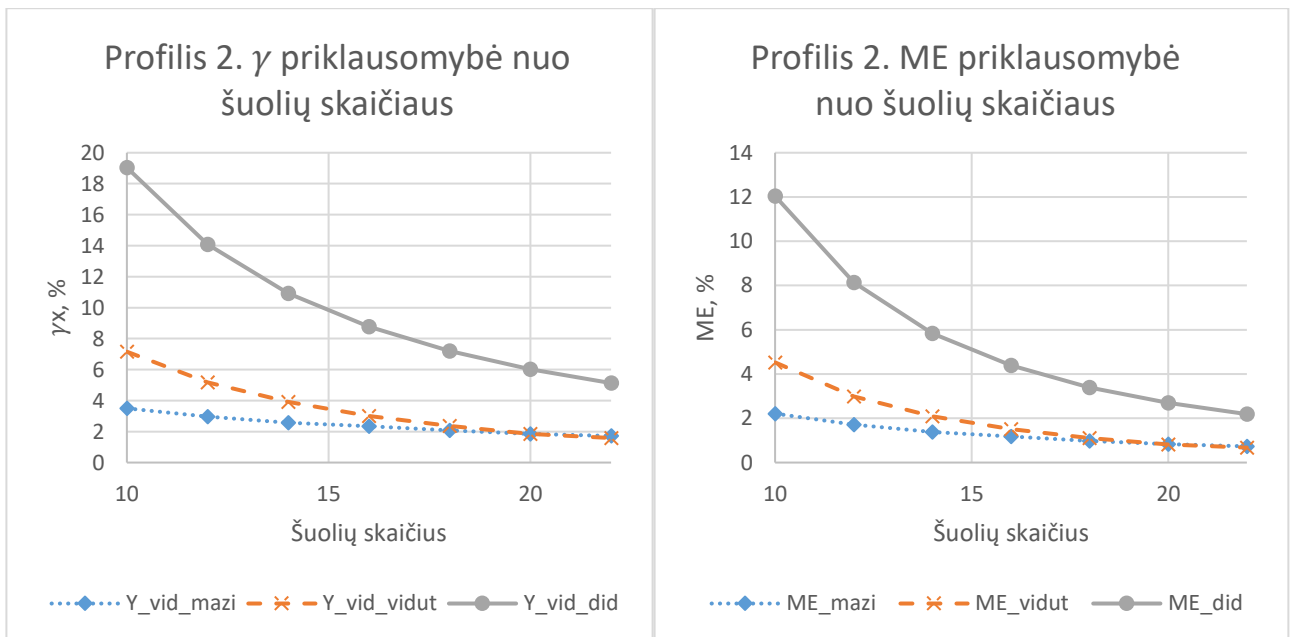
58 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) stebėsenos profilyje 1



59 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME (kai vertinama 10 verčių) stebėsenos profilyje 2



60 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME kai šuolių skaičius didėja stebėsenos profilyje 1



61 pav. Skirtingų dydžių šuolių įtaka γ_{vid} ir ME kai šuolių skaičius didėja stebėsenos profilyje 2

3.7. Apibendrinimai

Atlikus tyrimą su modeliuotais duomenimis buvo pastebėta, kad didinant $\sigma_{p_{max}}$ ir mažinant t_m (mažinant aptiktų šuolių kokybę) vidutinė santykinė paklaida ir vidutinis standartinis nuokrypis visais atvejais, išskyrus profilį 03, mažėjo. Profilyje 03 pastebėtas reiškinys, kai tyrimo metu naudojant griežčiausiais šuolio aptikimo parametrus γ_{vid} ir ME vertės buvo mažiausios, bet kitais atvejais, net ir su daugiau aptiktų šuolių (dažnai parazitinių), γ_{vid} ir ME mažėjo, galios šuolių skaičiui didėjant.

Eksperimento grafikuose galima pastebėti, kad laisvinant šuolio aptikimo parametrus šuolių aptinkama daugiau, o vidutinės santykinės paklaidos ir vidutinio standartinio nuokrypio vertės daugumoje profilių mažėja.

56, 57 paveikslėliuose matoma, jog modeliuotuose duomenyse apskaičiavus tik pirmus dešimt šuolių, maži šuoliai (iki 170W) prie bendros paklaidos prisidėjo daugiausiai. Taip yra, nes jie modeliuotuose duomenyse buvo lengviau fiksuojami kaip parazitiniai. Eksperimentinio tyrimo skaičiavime su pirmais dešimt skirtingos amplitudės šuolių pastebėta, kad dideli galios šuoliai, priešingai nei modeliuotuose duomenyse, prie paklaidos prisideda labiausiai. Teisingam paklaidos vertinimui reikia naudoti kuo daugiau galios šuolių, kadangi didėjant galios šuolių skaičiui, γ_{vid} ir ME mažėja (60, 61 pav.). Tokios pirminės paklaidos realiuose matavimuose buvo tikimasi, nes matuokliai nebuvo iš anksto metrologiškai kalibruoti, jų matavimo linija buvo ilga (perdavimo nuostoliai, triukšmai), taip pat buvo naudotos skirtingos srovės ritės.

Išvados

1. Atlikus literatūros apžvalgą buvo pasirinktas nuotolinis neinvazinis elektros matuoklių kalibravimo metodas, kurio esmė yra sinchronizuotų galios šuolių analizė naudojant tiriamojo ir suminio matuoklių duomenis.
2. Pagal metodo reikalavimus suprojektuota ir pagaminta sinchronizuotų elektros matuoklių sistema. Matuoklių laiko sinchronizacijai panaudotas *Wi-Fi* ryšys, NTP protokolas ir išorinis laikrodis. Išmatuotos galios vertės buvo išsaugojamos į SD kortelę kas 1 sekundę.
3. Atlikus tyrimą su modeliuotais galios profiliais, pastebėta, kad didinant parametą $\sigma_{P_{max}}$ ir mažinant t_m buvo aptinkama vis daugiau galios šuolių, kurių vidutinis standartinis nuokrypis mažėjo vidutiniškai 0,0039% per kiekvieną $\sigma_{P_{max}}$ padidėjimą per 10 W (30 W – 50 W riboje).
4. Ir eksperimentiniai, ir modeliuoti duomenys parodė, jog laisvinant šuolio aptikimo parametrus aptinkama daugiau šuolių. Tačiau ne visais atvejais daugiau šuolių lėmė mažesnę vidutinės santykinės paklaidos bei vidutinio standartinio nuokrypio vertę. Tai reiškia, kad šuolių kokybė daro įtaką paklaidos nustatymo tikslumui.
5. Išskaidžius šuolius į 170 W, 170 W – 1000 W ir virš 1000 W grupes buvo apskaičiuota, kad modeliuotuose duomenyse šuoliai iki 170 W bendrai nuokrypio vertei daro didžiausią įtaką. Taip yra dėl mažoje riboje aptinkamų parazitinių šuolių. Nustatyta, kad eksperimentiniu būdu gautuose galios profiliuose skirtingų ribų γ_{vid} ir ME vertės mažėja nuo galios šuolių kiekio.
6. Pastebėta, kad, pagal pirmų dešimt didelių šuolių vertes, eksperimente apskaičiuojamas γ_{vid} 56%, o ME 35% nuokrypis. Tai yra netinkama vertinti matuoklio paklaidai. Didelių šuolių kiekiui padidėjus iki 70, parametrai sumažėjo iki 2,3% ir 0,54% atitinkamai.

Literatūros sąrašas

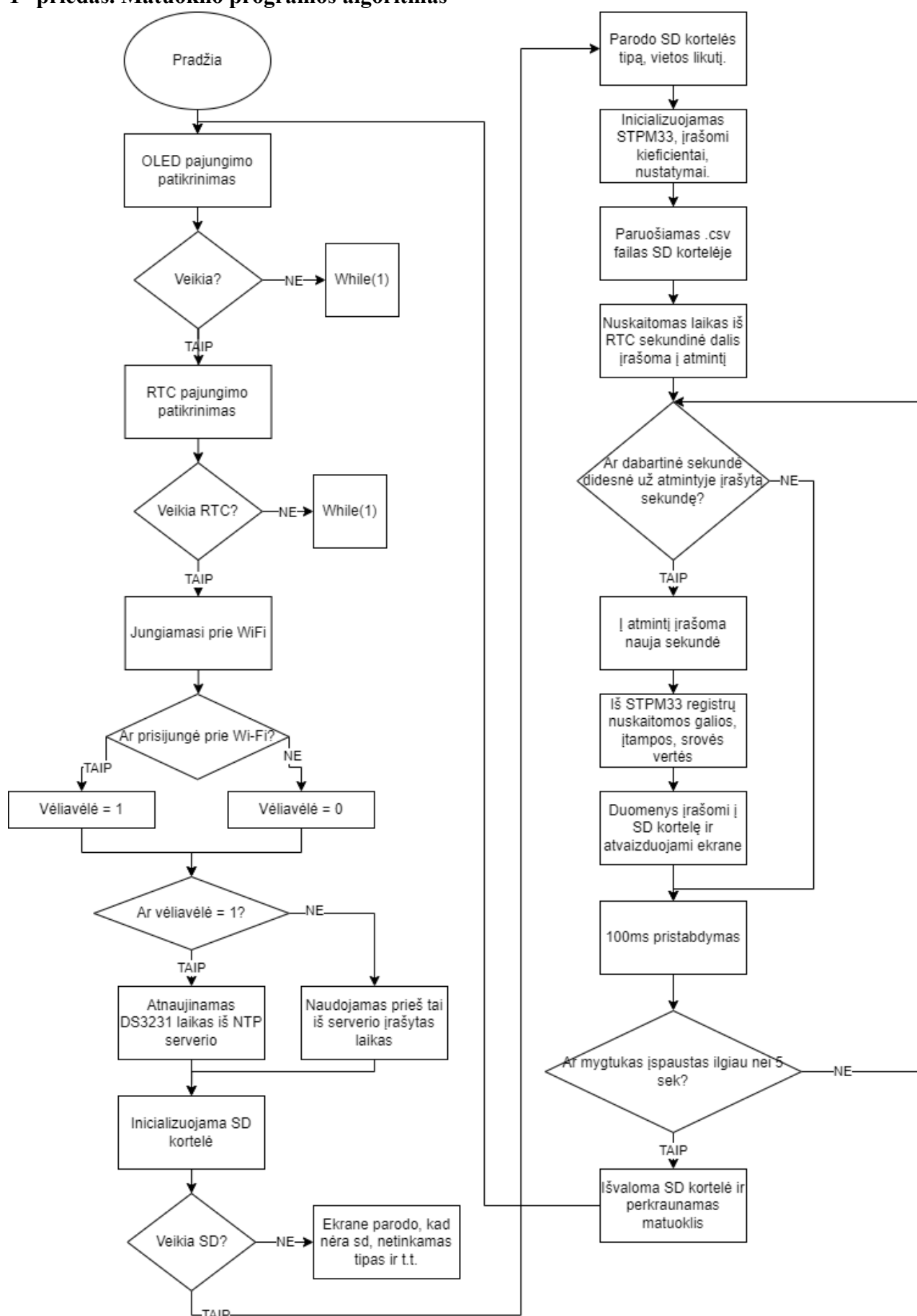
1. Elektros energijos matuoklių tipai [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <http://learn4electrical.altervista.org/types-of-energy-meter-and-their-working-principles/>
2. Ramalingam, Govindarajan & Meikandasivam, S. & Vijayakumar, D.. (2020). A Market Research on Current Energy Metering System and Future Opportunities. *International Journal of Economics and Business Research*. 9. 2226-8235. https://www.researchgate.net/publication/341009873_A_Market_Research_on_Current_Energy_Metering_System_and_Future_Opportunities
3. Elektros energijos matuoklio veikimo principas. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://electricalacademia.com/instrumentation-and-measurements/energy-meter-kwh-meter-working-principal/>
4. Q. Sun *et al.*, "A Comprehensive Review of Smart Energy Meters in Intelligent Energy Networks," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 4, pp. 464-479, Aug. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2015.2512325. <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/7365417>
5. Elektroniniai elektros energijos matuokliai iš „Analog“. [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/all-electronic-power-and-energy-meters.html>
6. „Analog“ AD7750 datasheet. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/373923638AD7750.pdf>
7. N. Matanov and A. Zahov, "Remote Electricity Metering Systems," *2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030800. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9030800>
8. Avancini, DB, Rodrigues, JJPC, Rabêlo, RAL, Das, AK, Kozlov, S, Solic, P. A new IoT-based smart energy meter for smart grids. *Int J Energy Res*. 2021; 45: 189– 202. <https://doi.org/10.1002/er.5177>
9. Aktyvinė, reaktyvinė ir pilnoji galios [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://control.com/technical-articles/active-power-reactive-power-apparent-power-and-the-role-of-power-factor/>
10. S. Bhowmik, S. Karmakar, J. Das, A. Mitra, B. Halder and S. Mukherjee, "Measurement of Real Time Energy Consumption using Low-Cost High-Speed Microcontroller," *2021 13th IEEE PES Asia Pacific Power & Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Thiruvananthapuram, India, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/APPEEC50844.2021.9687750. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9687750>
11. ADE9153A MG su autokalibravimo galimybe „Analog devices“ datasheet. [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ade9153a.pdf>
12. „Analog devices“ ADE9153A įvertinimo rinkinys [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-ade9153b.html#eb-overview>
13. „Analog devices“ planas su „Elgama-Elektronika“ [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.analog.com/en/about-adi/news-room/press-releases/2019/11-07-2019-elgama-elektronika-to-design-electricity-meters-with-analog-devices-msure-technology.html>

14. „Elgama-Elektronika“ gaminiai [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.elgama.eu/lt/produktai-sprendimai/elektros-skaitikliai>
15. STPM33 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: <https://www.st.com/en/data-converters/stpm33.html#overview>
16. STPM33 maketo datasheet ir paveikslas [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.st.com%2Fresource%2Fen%2Fdata_brief%2Fevalstpm33.pdf&psig=AOvVaw05G5DPtnTL7sdRgjHhcjxH&ust=1671144593384000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjhqxqFwoTCOiKz_CY-vsCFQAAAAAAdAAAAABAE
17. CS5463 informacija [interaktyvus] [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.cirrus.com/products/cs5463/>
18. CS5463 maketas [interaktyvus] [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.digikey.lt/en/products/detail/cirrus-logic-inc/CDB5463U-Z/2734640?s=N4IgjCBcoLQBxVAYygMwIYBsDOBTANCAPZQDaIArAJwIC6AvvYQExkgDCAIgEIUAsANgDMAVRgAtEAyA>
19. MSP430F6736A [interaktyvus] [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.ti.com/product/MSP430F6736A>
20. MSP430F6736A maketas [interaktyvus] [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.ti.com/tool/EVM430-F6736>
21. STPM3x kalibravimas ir teorija [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: https://www.st.com/resource/en/application_note/an4470-the-stpm3x-and-the-stcomet-application-calibration-stmicroelectronics.pdf
22. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027>
23. Standartisation mandate [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN-CENELEC_Topics/Smart%20Grids%20and%20Meters/Smart%20Meters/m441_en.pdf
24. Smart Grids and Meters [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: <https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cen-cenelec-topics/smart-grids-and-meters/smart-meters/>
25. Functional reference architecture for communications in smart metering systems [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN-CENELEC_Topics/Smart%20Grids%20and%20Meters/Smart%20Meters/cen-clc-etsi-tr50572_2011.pdf
26. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-27]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32019L0944>
27. Išmanieji skaitikliai. Jų diegimo planas ir informacija [interaktyvus]] [žiūrėta 2022-05-04]. Prieiga per: <https://ismaniejiskaitikliai.lt/>
28. Welmec šalies informacija [interaktyvus] [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.welmec.org/legal-metrology-information/country-information/country/lithuania>
29. [LST EN 62053-21:2005]. Kintamosios srovės elektros matavimo įrenginiai. Ypatingieji reikalavimai: Europos standartas EN 62053-21:2003 turi Lietuvos standarto statusą = Electricity

- metering equipment (a.c.) - Particular requirements. (2005). Lietuvos standartizacijos departamentas.
30. [LST EN 62053-22:2005]. *Kintamosios srovės elektros matavimo įrenginiai. Ypatingieji reikalavimai: Europos standartas EN 62053-22:2003 turi Lietuvos standarto statusą = Electricity metering equipment (a.c.) - Particular requirements.* (2005). Lietuvos standartizacijos departamentas.
 31. Feng Zhou, Yingying Cheng, Ji Xiao and Jie Du, "Research of digital metering system and calibration technology of smart substation," *2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, Ottawa, ON, 2014, pp. 1240-1242, doi: 10.1109/WARTIA.2014.6976505. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6976505>
 32. A. V. Martins, R. M. Bacurau, A. D. dos Santos and E. C. Ferreira, "Nonintrusive Energy Meter for Nontechnical Losses Identification," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 4, pp. 1140-1147, April 2020, doi: 10.1109/TIM.2019.2907734. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8675753>
 33. H. Gupta, V. Gupta and A. Sidapara, "Optical Characteristics Measurement of Energy Meter as per Standard with Average Optical Power Meter," *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)*, Mathura, India, 2020, pp. 42-45, doi: 10.1109/PARC49193.2020.236554. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9087106>
 34. Ž. Nakutis, M. Saunoris, R. Ramanauskas, V. Daunoras, R. Lukočius and P. Marčiulionis, "A Method for Remote Estimation of Wattmeter's Adjustment Gain," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 68, no. 3, pp. 713-721, March 2019, doi: 10.1109/TIM.2018.2857118. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8432444>
 35. Lukočius, Robertas, Žilvinas Nakutis, Vytautas Daunoras, Ramūnas Deltuva, Pranas Kuzas, and Roma Račkienė. 2019. "An Analysis of the Systematic Error of a Remote Method for a Wattmeter Adjustment Gain Estimation in Smart Grids" *Energies* 12, no. 1: 37. <https://doi.org/10.3390/en12010037>
 36. L. Ye *et al.*, "Method for Solving Electric Energy Meter Error of Low-voltage Station Based on Big Data," *2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Tianjin, China, 2018, pp. 1036-1040, doi: 10.1109/CICED.2018.8592170. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8592170&tag=1>
 37. Kong, Xiangyu & Ma, Yuying & Zhao, Xin & Li, Ye & Teng, Yongxing. (2019). A Recursive Least Squares Method with Double-Parameter for Online Estimation of Electric Meter Errors. *Energies*. 12. 805. 10.3390/en12050805. https://www.researchgate.net/publication/331434275_A_Recursive_Least_Squares_Method_with_Double-Parameter_for_Online_Estimation_of_Electric_Meter_Errors
 38. Jianmin Li, Yuxiang Yang, Zhaosheng Teng, Fu Zhang, Haowen Zhong, Chengbin Liang, A Simple Calibration Method for Ratio Error and Phase Error of Electronic Energy Meter, *Electric Power Systems Research*, Volume 186, 2020, 106416, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106416>.
 39. W. Xia, X. Qin, W. Lu, J. Liang and J. Ou, "Remote Calibration of Digital Input Electricity Meters," *2022 IEEE 5th International Conference on Electronics Technology (ICET)*, Chengdu, China, 2022, pp. 128-132, doi: 10.1109/ICET55676.2022.9824808. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9824808>

40. Ž. Nakutis, S. Rinaldi, P. Kuzas and R. Lukočius, "A Method for Noninvasive Remote Monitoring of Energy Meter Error Using Power Consumption Profile," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 9, pp. 6677-6685, Sept. 2020, doi: 10.1109/TIM.2020.3002402. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9116835>
41. X. Jie, X. Liang, D. Lian and Z. Delin, "Research on network timing system based on NTP," *2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, Yangzhou, China, 2017, pp. 356-360, doi: 10.1109/ICEMI.2017.8265967. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8265967>
42. DS3231 datasheet [žiūrėta 2023-03-27]. Prieiga per: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds3231.pdf>
43. Profilių sudarymo programinė įranga [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-11]. Prieiga per: <https://www.loadprofilegenerator.de/>
44. Pasiklioavimo uždavinių skaičiavimas ir pavyzdžiai [žiūrėta 2023-04-11]. Prieiga per: https://www.westga.edu/academics/research/vrc/assets/docs/confidence_intervals_notes.pdf

1 priedas. Matuoklio programos algoritmas



2 priedas. Matlab kodai duomenų analizei

Realių duomenų apdorojimo:

```
clc;
close all;
clear all;

%%nuskaitomi raw duomenukai
tmp = readtable('data_SM_par.csv');
y_line_1= table2array(tmp(:,1));
x_line_1= table2array(tmp(:,2));

tmp2 = readtable('data_TM_par.csv');
y_line_2= table2array(tmp2(:,1));
x_line_2= table2array(tmp2(:,2));

t1 = 1:1:length(y_line_1);
t2 = 1:1:length(y_line_2);
figure
plot(y_line_1,x_line_1,'b-')
hold on
plot(y_line_2,x_line_2,'r-')
grid on
%%
%cia jei nelyginis skaicius atskaitu pradžioje ty nevienodu laiku pradeta
%matuoti atskiru matuokliu
%nustatomi pradžios laikai (formatas jau koks yra toks)
%00diena-menesis-metai hh:mm:ss
%Pradžios_laikas_SM = '0007-03-23 13:31:23'; %kabineto
%Pradžios_laikas_SM = '0007-03-23 14:06:03'; %rusio
Pradžios_laikas_SM = '0030-03-23 12:05:40'; %paros
%Pradžios_laikas_SM = '0031-03-23 12:51:31'; %poparos
Pradžios_laikas_TM = Pradžios_laikas_SM;

Starto_vieta_SM=Surasti_vieta_duomenyse(y_line_1,Pradžios_laikas_SM);
Starto_vieta_TM=Surasti_vieta_duomenyse(y_line_2,Pradžios_laikas_TM);

%nustatomi pabaigos laikai:
%Pabaigos_laikas_SM = '0007-03-23 13:54:41'; %kabineto
%Pabaigos_laikas_SM = '0007-03-23 14:53:59'; %rusio
Pabaigos_laikas_SM = '0031-03-23 12:03:40'; %paros
%Pabaigos_laikas_SM = '0031-03-23 15:26:07'; %poparos
Pabaigos_laikas_TM = Pabaigos_laikas_SM;

Pabaigos_vieta_SM=Surasti_vieta_duomenyse(y_line_1,Pabaigos_laikas_SM);
Pabaigos_vieta_TM=Surasti_vieta_duomenyse(y_line_2,Pabaigos_laikas_TM);

%papildomas paskaiciavimas kiek nuo galo atimt duomenu
k_sm = length(y_line_1)-Pabaigos_vieta_SM;
k_tm = length(y_line_2)-Pabaigos_vieta_TM;
%%padaromos pirmines islygintos sinchronizuotu duomenu sekos:
y_line_1 = y_line_1(Starto_vieta_SM:length(y_line_1)-k_sm);
x_line_1 = x_line_1(Starto_vieta_SM:length(x_line_1)-k_sm);

y_line_2 = y_line_2(Starto_vieta_TM:length(y_line_2)-k_tm);
x_line_2 = x_line_2(Starto_vieta_TM:length(x_line_2)-k_tm);
%Atvaizduojamos pradines sekos
figure
plot(y_line_1,x_line_1,'b-')
hold on
plot(y_line_2,x_line_2,'r-')
grid on
```

```

%title ("Galios šuoliu profiliai. Ivadas rusyje ir laboratorija");
%title ("Galios šuoliu profiliai. Trumpas bandymas laboratorijoje");
title ("Power profile. 1h data. SM at the cellar TM 4th floor lab");
xlabel('time, s')
ylabel('P, W')
legend('SM','TM');

%uzduodami suolio parametrai
te = 1; %suolio fronto trukme
tm = 3; %pries ir po suolio galios nusistovejimas
Pmin = 40; %riba zemiau kurios suoliai atmetami
sigmapmax = 40; %galios fluktuaciju maks pries ir po suolio
pmin = 40; %suolio fronto augimo greitis per imti

BSA = tm+te+tm; %bendra suolio tikrinimo atskaitine suma

SM_Z=[x_line_1' zeros(1, BSA)];
TM_Z=[x_line_2' zeros(1, BSA)];

%%SM_GRAFIKAI

[Suolis_SM, t_SM, Pradzios_peakas_SM, Pabaigos_peakas_SM] = Find_steps(SM_Z, te, tm,
Pmin, sigmapmax, pmin, BSA);

% %Atvaizduojamos pradines sekos
% figure
% plot(t_SM,SM_Z,'b-')
% hold on
% plot(t_SM,TM_Z,'r-')
% grid on
% title ("Galios šuoliu profiliai. Ivadas rusyje ir laboratorija");
% title ("Galios šuoliu profiliai. 24 val. bandymas ivade rusyje ir laboratorijoje");
% title ("Power profile. 24h data. SM at the cellar TM 4th floor lab");
% xlabel('time, s')
% ylabel('P, W')
% legend('SM','TM');

xx_SM=t_SM(1:length(t_SM)-(BSA));
yy_SM=SM_Z(1:length(t_SM)-(BSA));

figure
subplot(2,1,1);
plot(xx_SM,yy_SM);
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
title('SMkreive');
subplot(2,1,2);
plot(xx_SM,Suolis_SM, 'r', 'Marker', 'none');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
title('Rising Edges');

figure
plot(xx_SM,yy_SM);
hold on;
stem(xx_SM,Suolis_SM, 'g', 'Marker', 'none');

% Piesia suoliu linijas
for i = 1:length(xx_SM)
    if (Pradzios_peakas_SM(i)>0)

```

```

        line([i, i+te],[Pradzios_peakas_SM(i), Pabaigos_peakas_SM(i+te)], 'Color', 'r',
'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);
        % line([i, i+te],[Pradzios_peakas(i)-(abs(Pradzios_vidurkis(i))/2),
Pabaigos_peakas(i+te)-(abs(Pabaigos_vidurkis(i+te))/2)], 'Color', 'r', 'LineStyle',
'--', 'LineWidth', 2);
    end
end
title('SM suoliai');
hold off

%% TM_GRAFIKAI

[Suolis_TM, t_TM, Pradzios_peakas_TM, Pabaigos_peakas_TM] = Find_steps(TM_Z, te, tm,
Pmin, sigmapmax, pmin, BSA);

xx_TM=t_TM(1:length(t_TM)-(BSA));
yy_TM=TM_Z(1:length(t_TM)-(BSA));

figure
subplot(2,1,1);
plot(xx_TM,yy_TM);
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
title('TM kreive');
subplot(2,1,2);
plot(xx_TM,Suolis_TM, 'r', 'Marker', 'none');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
title('Rising Edges');

figure
plot(xx_TM,yy_TM);
hold on;
stem(xx_TM,Suolis_TM, 'g', 'Marker', 'none');

% Piesia suoliu linijas
for i = 1:length(xx_TM)
    if (Pradzios_peakas_TM(i)>0)

        line([i, i+te],[Pradzios_peakas_TM(i), Pabaigos_peakas_TM(i+te)], 'Color', 'r',
'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);
        % line([i, i+te],[Pradzios_peakas(i)-(abs(Pradzios_vidurkis(i))/2),
Pabaigos_peakas(i+te)-(abs(Pabaigos_vidurkis(i+te))/2)], 'Color', 'r', 'LineStyle',
'--', 'LineWidth', 2);
    end
end
title('TM suoliai');
hold off

%% ABIEJU GRAFIKAI

figure
xyp_SM = plot(xx_SM,yy_SM);
hold on;
stem(xx_SM,Suolis_SM, 'r', 'Marker', 'none');

% Piesia suoliu linijas
for i = 1:length(xx_SM)
    if (Pradzios_peakas_SM(i)>0)

        line([i, i+te],[Pradzios_peakas_SM(i), Pabaigos_peakas_SM(i+te)], 'Color', 'r',
'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);

```

```

        % line([i, i+te],[Pradzios_peakas(i)-(abs(Pradzios_vidurkis(i))/2),
Pabaigos_peakas(i+te)-(abs(Pabaigos_vidurkis(i+te))/2)], 'Color', 'r', 'LineStyle',
'--', 'LineWidth', 2);
    end
end

xyp_TM = plot(xx_TM,yy_TM);
stem(xx_TM,Suolis_TM, 'g', 'Marker', 'none');

% Piesia suoliu linijas
for i = 1:length(xx_TM)
    if (Pradzios_peakas_TM(i)>0)

        line([i, i+te],[Pradzios_peakas_TM(i), Pabaigos_peakas_TM(i+te)], 'Color', 'r',
'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);
        % line([i, i+te],[Pradzios_peakas(i)-(abs(Pradzios_vidurkis(i))/2),
Pabaigos_peakas(i+te)-(abs(Pabaigos_vidurkis(i+te))/2)], 'Color', 'r', 'LineStyle',
'--', 'LineWidth', 2);
    end
end
title('Abieju matuokliu suoliai');
handlevec=[xyp_SM xyp_TM];
legend(handlevec, 'SM','TM');
hold off

%% ABIEJU GRAFIKAI su tikrais suoliais

Pradzios_peakas_sutapes_TM=[];Pabaigos_peakas_sutapes_TM=[];Pradzios_peakas_sutapes_S
M=[];Pabaigos_peakas_sutapes_SM=[];

Suolis_SM_sutapes=[];Suolis_TM_sutapes=[];counter_sutapusiu = 0;
for i=1:length(Suolis_SM)
    if (Suolis_SM(i) < 0 && Suolis_TM(i) < 0 || Suolis_SM(i) > 0 && Suolis_TM(i) > 0
)
        %abs(Suolis_SM(i)) > 0 && abs(Suolis_TM(i)) > 0

        Suolis_SM_sutapes(i)=Suolis_SM(i);
        Suolis_TM_sutapes(i)=Suolis_TM(i);
        counter_sutapusiu=counter_sutapusiu+1;
        Pradzios_peakas_sutapes_TM(i)=TM_Z(i);
        Pabaigos_peakas_sutapes_TM(i)=TM_Z(i+te);
        Pradzios_peakas_sutapes_SM(i)=SM_Z(i);
        Pabaigos_peakas_sutapes_SM(i)=SM_Z(i+te);
        if (i == length(Suolis_SM))
            Suolis_SM_sutapes(i)=0;
            Suolis_TM_sutapes(i)=0;
            counter_sutapusiu=counter_sutapusiu-1;
            Pradzios_peakas_sutapes_TM(i)=0;
            Pabaigos_peakas_sutapes_TM(i)=0;
            Pradzios_peakas_sutapes_SM(i)=0;
            Pabaigos_peakas_sutapes_SM(i)=0;
        end
    end
end

figure
xyp_SM = plot(xx_SM,yy_SM);
hold on;
%stem(xx_SM,Suolis_SM_sutapes, 'r', 'Marker', 'none');

```

```

% Piesia suoliu linijas
for i = 1:length(xx_SM)
    if (Pradzios_peakas_SM(i)>0)

        line([i, i+te],[Pradzios_peakas_sutapes_SM(i), Pabaigos_peakas_sutapes_SM(i)],
'Color', 'r', 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);
        % line([i, i+te],[Pradzios_peakas(i)-(abs(Pradzios_vidurkis(i))/2),
Pabaigos_peakas(i+te)-(abs(Pabaigos_vidurkis(i+te))/2)], 'Color', 'r', 'LineStyle',
'--', 'LineWidth', 2);
    end
end

xyp_TM = plot(xx_TM,yy_TM);
%stem(xx_TM,Suolis_TM_sutapes, 'g', 'Marker', 'none');

% Piesia suoliu linijas
for i = 1:length(xx_TM)
    if (Pradzios_peakas_TM(i)>0)

        line([i, i+te],[Pradzios_peakas_sutapes_TM(i), Pabaigos_peakas_sutapes_TM(i)],
'Color', 'r', 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2);
        % line([i, i+te],[Pradzios_peakas(i)-(abs(Pradzios_vidurkis(i))/2),
Pabaigos_peakas(i+te)-(abs(Pabaigos_vidurkis(i+te))/2)], 'Color', 'r', 'LineStyle',
'--', 'LineWidth', 2);
    end
end
title('Aptikti abiejų matuoklių sutapę galios šuoliai');
title('Detected correlating power steps');
handlevec=[xyp_SM xyp_TM];
legend(handlevec, 'SM','TM');
xlabel('Atskaitos, s')
xlabel('samples')
ylabel('P, W')
grid on
hold off

%%
Suolis_SM_sutapes_no0 = nonzeros(Suolis_SM_sutapes);
Suolis_TM_sutapes_no0 = nonzeros(Suolis_TM_sutapes);
%Suolis_SM_sutapes_no0=Suolis_SM_sutapes_no0(1:length(Suolis_SM_sutapes_no0)-1); %-1
nes paskutinis suolis yra blogas
%Suolis_TM_sutapes_no0=Suolis_TM_sutapes_no0(1:length(Suolis_TM_sutapes_no0)-1);
%sutapę suoliai
figure
stem(Suolis_SM_sutapes_no0)
hold on
stem(Suolis_TM_sutapes_no0);
%title('Aptiktu abiejų matuoklių sutapusiu galios šuolių dydžiai');
title('Power steps actual sizes');
legend('SM','TM');
%xlabel('šulio nr.')
xlabel('step no.')
ylabel('P, W')
grid on
hold off

%% SKAICIAVIMAI

%skaiciuosime imčių santykine paklaidą
N_no0 = length(Suolis_SM_sutapes_no0);

```

```

for i=1:1:N_no0
    Y(i) = ((Suolis_SM_sutapes_no0(i)-
Suolis_TM_sutapes_no0(i))/Suolis_SM_sutapes_no0(i))*100;
end

%vidutine santykine paklaida
Ymean = (1/N_no0)* sum(Y);

for i=1:1:N_no0
    suma_temp(i) = (Y(i)-Ymean)^2;
end

suma_temp = sum(suma_temp);

sigma = sqrt(suma_temp / (N_no0-1)) %standartinis nuokrypis
sigma_mean = sigma/(sqrt(N_no0)) %vidutinis std
delta = 2*sigma_mean %std su 95% pasiklioivimu
delta_mean = delta/(sqrt(N_no0)) %vidutinis std

%% isskaidymas i skirtingu ribu suolius ir skaiciavimai su jais
mazariba = 170;
vidutineriba = 170;
dideleriba = 1000;

for i=1:1:N_no0
    if (abs(Suolis_SM_sutapes_no0(i))<=mazariba && abs(Suolis_TM_sutapes_no0(i)) <=
mazariba )
        maziSM(i) = Suolis_SM_sutapes_no0(i);
        maziTM(i) = Suolis_TM_sutapes_no0(i);
    end

    if (abs(Suolis_SM_sutapes_no0(i)) >=vidutineriba && abs(Suolis_TM_sutapes_no0(i)) >=
vidutineriba && abs(Suolis_SM_sutapes_no0(i)) < dideleriba &&
abs(Suolis_TM_sutapes_no0(i)) < dideleriba)
        vidutiniaiSM(i) = Suolis_SM_sutapes_no0(i);
        vidutiniaiTM(i) = Suolis_TM_sutapes_no0(i);
    end

    if (abs(Suolis_SM_sutapes_no0(i))>=dideleriba && abs(Suolis_TM_sutapes_no0(i)) >=
dideleriba && abs(Suolis_SM_sutapes_no0(i)) > vidutineriba &&
abs(Suolis_TM_sutapes_no0(i)) > vidutineriba)
        dideliSM(i) = Suolis_SM_sutapes_no0(i);
        dideliTM(i) = Suolis_TM_sutapes_no0(i);
    end
end

maziSM = nonzeros(maziSM);
maziTM = nonzeros(maziTM);
vidutiniaiSM = nonzeros(vidutiniaiSM);
vidutiniaiTM = nonzeros(vidutiniaiTM);
dideliSM = nonzeros(dideliSM);
dideliTM = nonzeros(dideliTM);

%% SKAICIAVIMAI skirtingu ribu suolius ir skaiciavimai su jais

%mazi suoliai
%skaiciuosime imciu santykine paklaida
N_no0mazi = length(maziSM);

for i=1:1:N_no0mazi
    Ymazi(i) = ((maziSM(i)-maziTM(i))/maziSM(i))*100;
end

```

```

%vidutine santykine paklaida
Ymeanmazi = (1/N_no0mazi)* sum(Ymazi);

for i=1:1:N_no0mazi
    suma_tempmazi(i) = (Ymazi(i)-Ymeanmazi)^2;
end

suma_tempmazi = sum(suma_tempmazi);

sigmamazi = sqrt(suma_tempmazi / (N_no0mazi-1)) %standartinis nuokrypis
sigma_meanmazi = sigmamazi/(sqrt(N_no0mazi)) %vidutinis std
MEmazi = 2*sigma_meanmazi %std su 95% pasikliovimu
MEvidmazi = MEmazi/(sqrt(N_no0mazi)) %vidutinis std

%vidutiniai suoliai
%skaiciuosime imciu santykine paklaida
N_no0vidutiniai = length(vidutiniaiSM);

for i=1:1:N_no0vidutiniai
    Yvidutiniai(i) = ((vidutiniaiSM(i)-vidutiniaiTM(i))/vidutiniaiSM(i))*100;
end

%vidutine santykine paklaida
Ymeanvidutiniai = (1/N_no0vidutiniai)* sum(Yvidutiniai);

for i=1:1:N_no0vidutiniai
    suma_tempvidutiniai(i) = (Yvidutiniai(i)-Ymeanvidutiniai)^2;
end

suma_tempvidutiniai = sum(suma_tempvidutiniai);

sigmavidutiniai = sqrt(suma_tempvidutiniai / (N_no0vidutiniai-1)) %standartinis
nuokrypis
sigma_meanvidutiniai = sigmavidutiniai/(sqrt(N_no0vidutiniai)) %vidutinis std
MEvidutiniai = 2*sigma_meanvidutiniai %std su 95% pasikliovimu
MEvidvidutiniai = MEvidutiniai/(sqrt(N_no0vidutiniai)) %vidutinis std

%dideli suoliai
%skaiciuosime imciu santykine paklaida
N_no0dideli = length(dideliSM);

for i=1:1:N_no0dideli
    Ydideli(i) = ((dideliSM(i)-dideliTM(i))/dideliSM(i))*100;
end

%vidutine santykine paklaida
Ymeandideli = (1/N_no0dideli)* sum(Ydideli);

for i=1:1:N_no0dideli
    suma_tempdideli(i) = (Ydideli(i)-Ymeandideli)^2;
end

suma_tempdideli = sum(suma_tempdideli);

sigmadideli = sqrt(suma_tempdideli / (N_no0dideli-1)) %standartinis nuokrypis
sigma_meandideli = sigmadideli/(sqrt(N_no0dideli)) %vidutinis std
MEdideli = 2*sigma_meandideli %std su 95% pasikliovimu
MEviddideli = MEdideli/(sqrt(N_no0dideli)) %vidutinis std

suoliaisumos = [N_no0, N_no0mazi, N_no0vidutiniai, N_no0dideli]'

```

```

Result =
[sigma,sigma_mean,delta,delta_mean,sigmamazi,sigma_meanmazi,MEmazi,MEvidmazi,sigmaavid
utiniai,sigma_meanvidutiniai,MEvidutiniai,MEvidvidutiniai,sigmadideli,sigma_meandidel
i,MEdideli,MEviddideli]'
%suoliaisumos = [N_no0, N_no0mazi, N_no0vidutiniai]'
%Result =
[sigma,sigma_mean,delta,delta_mean,sigmamazi,sigma_meanmazi,MEmazi,MEvidmazi,sigmaavid
utiniai,sigma_meanvidutiniai,MEvidutiniai,MEvidvidutiniai]'

%% Skirtingu dydziu suoliu itaka nepriklausomai nuo suoliu skaiciaus ty esant
fiksotam suoliu skaiciui 5 10 15
ilgis = 10;
%mazi suoliai
%skaiciuosime imciu santykine paklaida
N_no0mazi = ilgis;

for i=1:1:N_no0mazi
    Ymazi(i) = ((maziSM(i)-maziTM(i))/maziSM(i))*100;
end

%vidutine santykine paklaida
Ymeanmazi = (1/N_no0mazi)* sum(Ymazi);

for i=1:1:N_no0mazi
    suma_tempmazi(i) = (Ymazi(i)-Ymeanmazi)^2;
end

suma_tempmazi = sum(suma_tempmazi);

sigmamazi = sqrt(suma_tempmazi / (N_no0mazi-1)) %standartinis nuokrypis
sigma_meanmazi = sigmamazi/(sqrt(N_no0mazi)) %vidutinis std
MEmazi = 2*sigma_meanmazi %std su 95% pasikliovimu
MEvidmazi = MEmazi/(sqrt(N_no0mazi)) %vidutinis std

%vidutiniai suoliai
%skaiciuosime imciu santykine paklaida
N_no0vidutiniai = ilgis;

for i=1:1:N_no0vidutiniai
    Yvidutiniai(i) = ((vidutiniaiSM(i)-vidutiniaiTM(i))/vidutiniaiSM(i))*100;
end

%vidutine santykine paklaida
Ymeanvidutiniai = (1/N_no0vidutiniai)* sum(Yvidutiniai);

for i=1:1:N_no0vidutiniai
    suma_tempvidutiniai(i) = (Yvidutiniai(i)-Ymeanvidutiniai)^2;
end

suma_tempvidutiniai = sum(suma_tempvidutiniai);

sigmavidutiniai = sqrt(suma_tempvidutiniai / (N_no0vidutiniai-1)) %standartinis
nuokrypis
sigma_meanvidutiniai = sigmavidutiniai/(sqrt(N_no0vidutiniai)) %vidutinis std
MEvidutiniai = 2*sigma_meanvidutiniai %std su 95% pasikliovimu
MEvidvidutiniai = MEvidutiniai/(sqrt(N_no0vidutiniai)) %vidutinis std

%dideli suoliai
%skaiciuosime imciu santykine paklaida
N_no0dideli = ilgis;

for i=1:1:N_no0dideli

```

```

Ydideli(i) = ((dideliSM(i)-dideliTM(i))/dideliSM(i))*100;
end

%vidutine santykine paklaida
Ymeandideli = (1/N_no0dideli)* sum(Ydideli);

for i=1:1:N_no0dideli
    suma_tempdideli(i) = (Ydideli(i)-Ymeandideli)^2;
end

suma_tempdideli = sum(suma_tempdideli);

sigmadideli = sqrt(suma_tempdideli / (N_no0dideli-1)) %standartinis nuokrypis
sigma_meandideli = sigmadideli/(sqrt(N_no0dideli)) %vidutinis std
MEdideli = 2*sigma_meandideli %std su 95% pasikliovimu
MEviddideli = MEdideli/(sqrt(N_no0dideli)) %vidutinis std

Result = [sigma_meanmazi,sigma_meanvidutiniai,sigma_meandideli]'
Result1 = [MEvidmazi,MEvidvidutiniai,MEviddideli]'

```

Modeliuotu duomenų apdorojimo nuskaitymas:

```

clc;
close all;
clear all;

%%nuskaitomi raw duomenukai
tmp = readtable('SumProfiles.Apparent.csv');
%tmp = readtable('SumProfiles.Electricity.csv');
x_line_1= table2array(tmp(:,3));
y_line_1= table2array(tmp(:,1));

x_line_1 = x_line_1(1:length(y_line_1));
y_line_1 = y_line_1(1:length(y_line_1));

tmp2 = readtable('SumProfiles.HH1.Apparent.csv');
%tmp2 = readtable('SumProfiles.HH1.Electricity.csv');
x_line_2= table2array(tmp2(:,3));
y_line_2= table2array(tmp2(:,1));

x_line_2 = x_line_2(1:length(y_line_2));
y_line_2 = y_line_2(1:length(y_line_2));

% x_line_1 = x_line_1 .* 10000000;
% x_line_2 = x_line_2 .* 10000000;
x_line_1 = x_line_1 .* 1000 ./ (1/60/60);
x_line_2 = x_line_2 .* 1000 ./ (1/60/60);

t1 = 1:1:length(y_line_1);
t2 = 1:1:length(y_line_2);

% %Atvaizduojamos pradines sekos
figure
plot(y_line_1,x_line_1,'b-')
hold on
plot(y_line_2,x_line_2,'r-')
%plot(y_line_3,x_line_3,'g-')
grid on

```

```

%title ("Galios šuoliu profiliai. Ivadas rusyje ir laboratorija");
title ("Modeliuoti galios šuoliu profiliai. Keletas namu. 1 para.");
xlabel('Laikas, s')
ylabel('P, W')
legend('SM','TM');
%legend('SM','HH1','HH2');

```

Šuolio radimo funkcija:

```

Brief summary of this function.
Suranda galios suolius pagal uzduotus parametrus
function [Suolis, t, Pradzios_peakas, Pabaigos_peakas] = Find_steps(Data, te, tm,
Pmin, sigmapmax, pmin, BSA)

%BSA = te+tm+te;
t = 1:1:length(Data);

%cia is esmes viska tikrinu is eiles pagal paveiksleli ;;TLDR
for i = 1:1:length(t)-BSA %for1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if (te==1)

sigma1= std(Data(i:i+tm)); %(12)(3)
sigma2= std(Data(i+tm+te:i+tm+te+tm)); %(13)(4)

if (sigma1<=sigmapmax&&sigma2<=sigmapmax)

    if((abs(Data(i+tm+te)-Data(i+tm))>=pmin)) %kai i<=j<=i+te %(15)(6)
        %adds(i+tm)=Data(i);
        % %isskaidyti vidurkiai (10)(1)
        M1= i;
        M1_2= i+tm;
        M2= i+te+tm;
        M2_2= i+te+tm+tm;

        Suolis(i+tm)=mean(Data(M2:M2_2))-mean(Data(M1:M1_2));
        Pradzios_vidurkis(i+tm)=sigma1;
        Pradzios_peakas(i+tm)=Data(i+tm);
        Pradzios_vieta(i+tm)=i+tm;

        Pabaigos_vidurkis(i+tm+te)=sigma2;
        Pabaigos_peakas(i+tm+te)=Data(i+tm+te);
        Pabaigos_vieta(i+tm+te)=i+tm+te;

        %adds2(i+tm)=(mean(Data(M2:M2_2))-mean(Data(M1:M1_2)))+Data(i+tm);
        if (abs(Suolis(i+tm))<= Pmin)
            Suolis(i+tm)=0;
            Pradzios_vidurkis(i+tm)=0;
            Pradzios_peakas(i+tm)=0;
            Pradzios_vieta(i+tm)=0;

            Pabaigos_vidurkis(i+tm+te)=0;
            Pabaigos_peakas(i+tm+te)=0;
            Pabaigos_vieta(i+tm+te)=0;
        end
    end
end

end
end

```

```

if (te==2) %negerai veikia
    sigma1= std(Data(i:i+tm)); %(12)(3)
    sigma2= std(Data(i+tm+te:i+tm+te+tm)); %(13)(4)

    if((abs(Data(i+tm+te-1)-Data(i+tm))>=pmin) && (abs(Data(i+tm+te)-Data(i+tm))>=pmin)) %kai i<=j<=i+te %(15)(6)
        %adds(i+tm)=Data(i);

        % %isskaidyti vidurkiai (10)(1)
        M1= i;
        M1_2= i+tm;
        M2= i+te+tm;
        M2_2= i+te+tm+tm;

        Suolis(i+tm)=mean(Data(M2:M2_2))-mean(Data(M1:M1_2));
        Pradzios_vidurkis(i+tm)=sigma1;
        Pradzios_peakas(i+tm)=Data(i+tm);
        Pradzios_vieta(i+tm)=i+tm;

        Pabaigos_vidurkis(i+tm+te)=sigma2;
        Pabaigos_peakas(i+tm+te)=Data(i+tm+te);
        Pabaigos_vieta(i+tm+te)=i+tm+te;

        if (abs(Suolis(i+tm-1))>0 && abs(Suolis(i+tm))>0)
            %cia baigtas darbelis

            Pradzios_vidurkis(i+tm)=Pradzios_vidurkis(i+tm-1);
            Pradzios_peakas(i+tm)=Pradzios_peakas(i+tm-1);
            Pradzios_vieta(i+tm)=Pradzios_vieta(i+tm-1);

            Pradzios_vidurkis(i+tm-1)=0;
            Pradzios_peakas(i+tm-1)=0;
            Pradzios_vieta(i+tm-1)=0;

            Pabaigos_vidurkis(i+tm+te)=Pabaigos_vidurkis(i+tm+te-1);
            Pabaigos_peakas(i+tm+te)=Pabaigos_peakas(i+tm+te-1);
            Pabaigos_vieta(i+tm+te)= Pabaigos_vieta(i+tm+te-1);

            Pabaigos_vidurkis(i+tm+te-1)=0;
            Pabaigos_peakas(i+tm+te-1)=0;
            Pabaigos_vieta(i+tm+te-1)=0;
            Suolis(i+tm-1)=0;
        end

    elseif(abs(Data(i+tm+te-1)-Data(i+tm)) >= pmin) && (abs(Data(i+tm+te)-Data(i+tm))
<= pmin)
        %adds(i+tm)=Data(i);
        % %isskaidyti vidurkiai (10)(1)

        M1= i;
        M1_2= i+tm;
        M2= i+te+tm;
        M2_2= i+te+tm+tm;

        Suolis(i+tm)=mean(Data(M2:M2_2))-mean(Data(M1:M1_2));
        Pradzios_vidurkis(i+tm)=sigma1;
        Pradzios_peakas(i+tm)=Data(i+tm);
        Pradzios_vieta(i+tm)=i+tm;

        Pabaigos_vidurkis(i+tm+te)=sigma2;
        Pabaigos_peakas(i+tm+te)=Data(i+tm+te);
        Pabaigos_vieta(i+tm+te)=i+tm+te;

```

```

        if (abs(Suolis(i+tm))<= Pmin)
            Suolis(i+tm)=0;
            Pradzios_vidurkis(i+tm)=0;
            Pradzios_peakas(i+tm)=0;
            Pradzios_vieta(i+tm)=0;

            Pabaigos_vidurkis(i+tm+te)=0;
            Pabaigos_peakas(i+tm+te)=0;
            Pabaigos_vieta(i+tm+te)=0;
        end
    end
end
end %for1

```

Datos radimo funkcija:

```

Suranda imti pagal uzduota laika duomenyse
function [Vieta] = Surasti_vieta_duomenyse(duomenys, laikas)
for i=1:1:length(duomenys)
    if (duomenys(i)==laikas)
        Vieta = i;
        break;
    end
end
end
end

```

3 priedas. Konferencijos pažymėjimas

Reg. No. 026



**KAUNO
TECHNIKOS
KOLEGIJA**

CERTIFICATE

Žygimantas Vilkelis

has participated with a presentation entitled
**IMPLEMENTATION AND INVESTIGATION OF SYNCHRONIZED
SYSTEM OF TWO ELECTRICITY METERS**

in the international scientific conference
**ENGINEERING AND EDUCATIONAL TECHNOLOGIES: COMBINATION
OF GENERAL AND ENGINEERING COMPETENCES IMPLEMENTING
THE EU GREEN DEAL** on 26 April, 2023.

Director dr. Lina Girdauskienė

11-05-2023