



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

HEMODIALIZE GYDOMŲ PACIENTŲ PAVOJINGŲ ŠIRDIES ARITMIJŲ STEBĖJIMO SISTEMA

Baigiamasis magistro projektas

Deividas Kybartas

Projekto autorius

doc. dr. Mantas Lukoševičius

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

HEMODIALIZE GYDOMŲ PACIENTŲ PAVOJINGŲ ŠIRDIES ARITMIJŲ STEBĖJIMO SISTEMA

Baigiamasis magistro projektas

Programų sistemų inžinerija (6211BX011)

Deividas Kybartas

Projekto autorius

doc. dr. Mantas Lukoševičius

Vadovas

doc. dr. Šarūnas Packevičius

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Deividas Kybartas

HEMODIALIZE GYDOMŲ PACIENTŲ PAVOJINGŲ ŠIRDIES ARITMIJŲ STEBĖJIMO SISTEMA

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, **Deivido Kybarto**, baigiamasis projektas tema „**Hemodialize gydomų pacientų pavojingų širdies aritmijų stebėjimo sistema**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kybartas, Deividas. „Hemodialize gydomų pacientų pavojingų širdies aritmijų stebėjimo sistema“. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Mantas Lukoševičius; Kauno technologijos universitetas, informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: Technologiniai mokslai, programų sistemų inžinerija

Reikšminiai žodžiai: QRS-T kampas, EKG, FPG, aritmijos, hemodializė, inkstų nepakankamumas

Kaunas, 2020. 75 p.

Santrauka

Inkstų nepakankamumas, bėgant metams, tampa vis dažniau nustatomu sveikatos sutrikimu. Žmonės kenčiantys nuo inkstų nepakankamumo, pasižymi pasikartojančiais sveikatos pablogėjimais. Siekiant palaikyti kuo geresnę sveikatos būklę, pacientas turi dažnai lankytis medicinos įstaigose, kuriose atliekamas širdies darbo stebėjimas, hemodializė bei įvairūs kraujo tyrimai, norint įvertinti kraujyje esančių elektrolitų kiekius. Visgi, tai pacientams sukelia daug nepatogumų, todėl imta ieškoti būdų, galinčių palengvinti šios pacientų grupės diagnostiką. Viso projekto tikslas yra sukurti sistemą nustatančią elektrolitų disbalansą neinvaziniu būdu – iš EKG ar FPG, o mano darbo tikslas – prisidėti kuriant sistemą paciento duomenų rinkimui bei ištirti elektrolitų nustatymo iš EKG algoritmo variantus.

Šiame darbe yra apžvelgti 6 įrenginiai, kurie namų sąlygomis gali atlikti EKG ar FPG. Taip pat yra palyginama kiek laiko gali būti įrašinėjama EKG, kurios derivacijos yra gaunamos ir kaip vyksta duomenų analizavimas. Dalis apžvelgtų įrenginių gali nustatyti prieširdžių virpėjimus ir nereguliarų širdies ritmą ir apie tai informuoti naudotojus. Šio tyrimo metu buvo apžvelgiami ir pašalinių triukšmų, esančių tarp dominančių signalų, apdorojimo filtrai. Jie yra reikalingi iš EKG pašalinti nereikalingus triukšmus ir palikti tik tuos signalus, kurie yra sukelti paciento širdies.

Techninis šio darbo tikslas – sukurti sistemą, kuri padėtų surinkti pacientų duomenis apie jų vartojamus maisto produktus ir vaistus, o gydytojams ir tyrėjams stebėti paciento būklę. Iš suvestų paciento duomenų, sistema skaičiuoja gautus medžiagų kiekius. Gydytojas taip pat gali suvesti papildomus duomenis, gautus iš kraujo tyrimų, ir priskirti juos konkrečiam pacientui, kad pabaigus naudotis sistema, duomenys būtų iš karto sugeneruojami ir pateikiami tyrėjui tolimesniems tyrimams. Nors sistema siunčia priminimus pastebėjusi, kad pacientas nesuvedė suvartotų produktų, gydytojas pats gali išsiųsti aktyviuosius pranešimus su rekomendacijomis. Paciento sistema veikia su „Android“ operacine sistema, o gydytojo – „Android“ ir „iOS“ operacinėmis sistemomis. Tuo tarpu tyrėjui yra sukurtas internetinis puslapis.

Darbo metu buvo analizuojamas pacientų naudojimas sistema, taip nustatant jos privalumus bei trūkumus. Taip pat buvo tyrinėjamas QRS-T kampas bei bandoma nustatyti elektrolitų kiekį kraujyje, turint paciento kardiogramą. QRS-T kampas buvo skaičiuojamas iš pacientų EKG. Tiriamojo darbo metu suskaičiuoti du kampai – vienas iš 4, 7 ir 12 derivacijų, o kitas iš 3, 5 ir 11. Šie duomenys buvo koreliuojami kartu su turimais kraujo tyrimo rezultatais: kalio, kalcio, magnio, laktato, pH, chloro, natrio, bikarbonato ir triozės fosfato kiekiais, kad būtų galima atlikti regresijas su skirtingais algoritmais. Tyrimo imtis – 21 pacientas, kurių amžiaus vidurkis – 68 metai (nuo 37 iki 90 metų).

Kybartas, Deividas. Hemodialysis Patients' System for Monitoring Cardiac Arrhythmias. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Mantas Lukoševičius; The Faculty of Informatic, Kaunas University of Technology.

Study field and area: technological sciences, software system engineering

Keywords: QRS-T angle, ECG, PPG, arrhythmias, hemodialysis, kidney failure

Kaunas, 2020. 75.

Summary

Kidney failure, over the years, becomes an increasingly common health disorder. People suffering from kidney failure constantly experience recurrent health problems. In order to maintain a good health, a patient should frequently visit medical facilities to have cardiac monitoring analysis, hemodialysis and various blood tests to assess the levels of electrolytes in the blood. However, this causes many inconveniences to patients, so ways have been sought to facilitate the diagnosis of this group of patients. The aim of the whole project is to create a system for detecting electrolyte imbalance in a non-invasive way - from ECG or PPG, and the aim of my work is to contribute to the development of a system for patient data collection and to study the options for electrolytic electrolyte detection.

In this research were reviewed 6 devices that can perform an ECG or PPG at home. It compares how long an ECG can be recorded, which derivations are obtained, and how the data is analyzed. Part of those devices can detect atrial fibrillation and irregular heartbeat and inform users about it. Filters for processing extraneous noise between the signals of interest were also reviewed. They are needed to remove unnecessary noise from the ECG and leave only those signals that are caused by the patient's heart.

The technical goal of this work is to create a system that would help collect data from patients about their food and medications usage and allow physicians and researchers to monitor the patient's condition. From the pooled data, the system calculates the amounts of material obtained. The physician may also compile additional data from blood tests and assign them to a specific patient so that the data is generated immediately upon use of the system and submitted to the researcher for further testing. Although the system sends reminders when it notices that the patient has not filled the products they have consumed, the doctor can send active messages with recommendations. The patient's system works with the "Android" operating system, while the doctor's system with the "Android" and "iOS" operating systems. Meanwhile, for researchers has been created a website.

During the work, the patients' use of the system was analyzed, thus determining its advantages and deficiencies. The QRS-T angle was also examined and an attempt was made to determine the amount of electrolytes in the blood from the patient's cardiogram. The QRS-T angle was calculated from the ECG. In this research there were calculated two angles - one from 4, 7 and 12 leads and the other from 3, 5 and 11 leads. These data were correlated with the available blood test results: potassium, calcium, magnesium, lactate, pH, chlorine, sodium, bicarbonate, and triose phosphate levels to get regressions with different algorithms. Analysis were done using data of 21 patients with a mean age of 68 years (from 37 to 90 years).

Turinys

Paveikslėlių sąrašas	8
Lentelių sąrašas	10
Terminų sąrašas.....	11
Įvadas.....	12
1. Analizė.....	13
1.1. Skirtumai tarp elektrokardiogramos ir fotopletizmografijos	13
1.2. EKG aparato veikimas.....	14
1.3. FPG aparato veikimas.....	14
1.4. Egzistuojantys sprendimai.....	14
1.4.1. D-Heart	15
1.4.2. „KardiaMobile“.....	15
1.4.3. „KardiaMobile 6L“.....	17
1.4.4. „KardiaBand“	17
1.4.5. „Apple watch series 4“ įrenginys.....	18
1.4.6. QardioCore Wireless ECG Monitor.....	20
1.4.7. Produktų santraukos palyginimas	21
1.5. Skaitmeninių signalų apdorojimas.....	21
1.6. Triukšmo filtrai.....	23
1.6.1. IIR filtrai	24
1.6.2. FIR filtrai	26
1.7. Dažniausiai naudojami filtrai.....	27
1.7.1. „Savitzky-Golay“ filtrai.....	28
1.7.2. FIR filtrų langų projektavimo metodas.....	29
1.7.3. Vilnelių transformacija	29
1.7.4. Slenkamojo vidurkio filtras.....	29
1.7.5. Medianinis filtras (angl. <i>Median Filter</i>)	30
1.7.6. Baterforto užtvarinis filtras (angl. <i>Butterworth notch</i>)	30
1.8. QRS-T kampas	30
2. Reikalavimų specifikacija.....	32
2.1. Suinteresuoti asmenys	32
2.1.1. Užsakovas	32
2.1.2. Pirkėjas.....	32
2.1.3. Kiti sprendimus priimančias asmenys	32
2.1.4. Vartotojai.....	32
2.2. Projekto apribojimai	33
2.2.1. Apribojimai sprendimui.....	33
2.2.2. Diegimo aplinka.....	33
2.2.3. Bendradarbiaujančios sistemos.....	34
2.2.4. Komerciniai specializuoti programų paketai	34
2.2.5. Numatoma darbo vietos aplinka	34
2.2.6. Sistemos kūrimo terminai	34
2.2.7. Sistemos kūrimo biudžetas	34
2.2.8. Svarbūs faktai ir prielaidos	34
2.3. Funkciniai reikalavimai	35

2.3.1.	Veiklos kontekstas	35
2.3.2.	Veiklos padalinimas.....	35
2.3.3.	Panaudos atvejai.....	36
2.3.4.	Panaudos atveju sąrašas	36
2.3.5.	Funkciniai reikalavimai	40
2.4.	Nefunkciniai reikalavimai	41
2.4.1.	Reikalavimai sistemos išvaizdai	41
2.4.2.	Reikalavimai panaudojamumui	41
2.4.3.	Reikalavimai vykdymo charakteristikoms.....	41
2.4.4.	Reikalavimai sistemos priežiūrai	42
2.4.5.	Reikalavimai saugumui.....	42
2.4.6.	Kultūriniai – politiniai reikalavimai.....	42
2.4.7.	Teisiniai reikalavimai.....	42
3.	Sistemos projektas.....	43
3.1.	Įvadas.....	43
3.2.	Sistemos architektūra.....	43
3.2.1.	Architektūros tikslai ir apribojimai.....	43
3.2.2.	Sistemos statinis vaizdas.....	44
3.2.3.	Sistemos dinaminis vaizdas	46
3.2.4.	Duomenų modelis	49
3.2.5.	Rezultatas	50
4.	Tyrimas	56
4.1.	Techninis klinikinis tyrimas	56
4.1.1.	Įvadas	56
4.1.2.	Duomenų rinkimo procesas	56
4.1.3.	Rezultatai	57
4.2.	Ekspirimentinis tyrimas	60
4.2.1.	Įvadas	60
4.2.2.	Tyrimo rezultatai.....	61
4.2.3.	Rezultatai	69
	Išvados	70
	Literatūros sąrašas	71
	Priedai.....	76
	1. priedas. Informacija apie straipsnį.....	76

Paveikslėlių sąrašas

1.1 pav. ECG ir PPG signalai.....	13
1.2 pav. EKG atlikimas ligoninėje	14
1.3 pav. PPG prietaiso pavyzdys.....	14
1.4 pav. D-heart pavyzdys.....	15
1.5 pav. „KardiaMobile“ įranga.....	16
1.6 pav. „KardiaMobile“ naudojimo pavyzdys.....	16
1.7 pav. „KardiaMobile 6L“ naudojimo pavyzdys.....	17
1.8 pav. „KardiaMobile 6L“ įranga.....	17
1.9 pav. „KardiaBand“ veikimui reikalingos apyrankės pavyzdys.....	18
1.10 pav. „KardiaBand“ pavyzdys	18
1.11 pav. „Apple watch series 4“ nugarėlės sandara	19
1.12 pav. „Apple watch series 4“ įrenginio pavyzdys	19
1.13 pav. „QardioCore“ pavyzdys	20
1.14 pav. EKG signalas su pašaliniu triukšmu ir be jo	22
1.15 pav. EKG signalas su bazinės linijos dreifu.....	22
1.16 pav. EKG turi įtakos elektros linijos (50/60 Hz) trukdžiai	22
1.17 pav. EKG signalas su elektromiografiniu (EMG) triukšmu.....	23
1.18 pav. EKG paveikti elektrodo judesio artefaktai	23
1.19 pav. IIR filtrų blokų schema.....	25
1.20 pav. Klasikinių IIR filtrų pavyzdžiai.....	26
1.21 pav. IIR filtrų blokų schema.....	27
1.22 pav. Filtrų palyginimas.....	28
1.23 pav. QRS-T kampas	31
2.1 pav. Sistemos diegimo diagrama.....	33
2.2 pav. Sistemos veiklos kontekstas	35
2.3 pav. Panaudos atvejų diagrama	36
3.1 pav. Sistemos paketų diagrama	44
3.2 pav. Sistemos klasių diagrama	45
3.3 pav. „MVVM“ modelis	46
3.4 pav. asmens kodo tikrinimas	46
3.5 pav. Registruotų produktų atvaizdavimas sekų diagrama.....	47
3.6 pav. Žetono generavimas sekų diagrama	48
3.7 pav. Produktų registravimas veiklos diagrama	48
3.8 pav. Sistemos duomenų bazės diagrama.....	49
3.9 pav. Programėlės prisijungimo ekranas	50
3.10 pav. Internetinio puslapio prisijungimo ekranas	50
3.11 pav. Programėlės maisto registravimo ekranas	51
3.12 pav. Programėlės maisto registravimo ekranas.....	51
3.13 pav. Programėlės maisto istorijos ekranas	52
3.14 pav. Programėlės aktyviųjų pranešimų langas	52
3.15 pav. Programėlės failų iš laikrodžio nuskaitymo ekranas.....	53
3.16 pav. Programėlės pacientų sąrašas	54
3.17 pav. Internetinio puslapio pacientų sąrašas	54
3.18 pav. Sugeneruoti paciento suvartotų elektrolitų kiekiai.....	55
3.19 pav. „Kidnis“ laikrodis prijungtas prie „Android“ programėlės.....	55
4.1 pav. Programėlės funkcionalumo naudojimo diagrama.....	58
4.2 pav. Produktų suvedimo laikas	58
4.3 pav. Eksperimento schema.....	60
4.4 pav. Kalio regresijos modelis.....	64
4.5 pav. Kalcio regresijos modelis	64

4.6 pav. Magnio regresijos modelis	65
4.7 pav. HCO ₃ regresijos modelis	65
4.8 pav. pH regresijos modelis	65
4.9 pav. GAP regresijos modelis	66
4.10 pav. Laktato regresijos modelis.....	66
4.11 pav. Chloro regresijos modelis.....	66
4.12 pav. Natrio regresijos modelis.....	67
4.13 pav. Širdies ritmo įtaka QRS-T kampui.....	68

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė	Produktų palyginimų santrauka.....	21
1.2 lentelė	Pagrindiniai IIR ir FIR filtrų skirtumai	24
1.3 lentelė	IIR ir FIR filtrų palyginimo pranašumai arba trūkumai.....	24
1.4 lentelė	IIR filtrų privalumai ir trūkumai.....	25
1.5 lentelė	FIR filtrų privalumai ir trūkumai.....	27
2.1 lentelė	“Užsistatyti priminimus” panaudos atvejis	36
2.2 lentelė	“Registruoti vartojamus vaistus” panaudos atvejis	37
2.3 lentelė	“Registruoti maisto produktus” panaudos atvejis.....	37
2.4 lentelė	“Pasirinkti datą ir laiką” panaudos atvejis.....	37
2.5 lentelė	“Įtraukti pacientą” panaudos atvejis.....	37
2.6 lentelė	“Sukurti paciento paskyrą” panaudos atvejis	38
2.7 lentelė	“Peržiūrėti pacientų sąrašą” panaudos atvejis	38
2.8 lentelė	“Peržiūrėti pasirinkto paciento valgymo racioną” panaudos atvejis	38
2.9 lentelė	“Peržiūrėti pasirinkto paciento informaciją” panaudos atvejis	39
2.10 lentelė	“Redaguoti paciento informaciją” panaudos atvejis.....	39
2.11 lentelė	“Palikti pranešimą pacientui” panaudos atvejis	39
2.12 lentelė	Pirmas funkcinis reikalavimas.....	40
2.13 lentelė	Antras funkcinis reikalavimas	40
4.1 lentelė	Maisto produktų kategorijos su kiekiais.....	57
4.2 lentelė	Regresijų rezultatai su QRS-T kampo 4, 7 ir 12 derivacijomis.....	61
4.3 lentelė	Regresijų rezultatai su QRS-T kampo 3, 5 ir 11 derivacijomis.....	62
4.4 lentelė	Regresijų rezultatai su QRS-T kampo 4, 7, 12 ir 3, 5, 11 derivacijomis.....	63
4.5 lentelė	Geriausi regresijų rezultatai.....	64
4.6 lentelė	Geriausi pagal RMSE	67
4.7 lentelė	Geriausi pagal R^2	67
4.8 lentelė	Širdies ritmo koreliacija su QRS-T kampu	69

Terminų sąrašas

- API** (angl. *Application Programming Interface*) – aplikacijų programavimo sąsaja;
- Ca** – kalcis (cheminis elementas);
- Cl** – chloras (cheminis elementas);
- EKG** – elektrokardiograma;
- EMG** – elektromiografija yra elektrodiagnostinės medicinos technika, skirta įvertinti ir registruoti griausių raumenų sukuriama elektrinį aktyvumą;
- Medžių sprendimų ansamblis pogrūpiais**(angl. *Ensemble off trees bagged*) - metodas kuris sujungia kelis sprendimų medžius, kad būtų geresnis nuspėjamas našumas nei naudojant vieną sprendimų medį. Duomenys yra suskirstyti į atskirus pogrūpius, kurie skirti apmokyti skirtingus medžius.
- FPG** – fotopletizmografija;
- GAP** – triozinis fosfatas (metabolitas);
- HCO₃** – bikarbonatas (šalutinis organizmo metabolizmo produktas);
- HTTP** (angl. *Hypertext Transfer Protocol*) – protokolas skirtas dalintis informacija internete;
- K** – kalis (cheminis elementas);
- Laktatas** – organinė rūgštis;
- Mg** – magnis (cheminis elementas);
- Na** – natris (cheminis elementas);
- R²** (angl. *R - squared*) – determinacijos koeficientas;
- RMSE** (angl. *Root Mean Squared Error*) – šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos;
- SVM** (angl. *Support Vector Machines*) – atraminių vektorių klasifikatorius – binarinis, prižiūrimojo mokymosi tipo klasifikatorius;
- URL** (angl. *Uniform Resource Locator*) – tai internetinio resurso adresas kurio pagalba mūsų naršyklė gali jį surasti tarp kitų milijonų puslapių internete.

Įvadas

Sveiki inkstai iš kraujyje esančių apykaitos medžiagų išskiria šlapimą, taip užtikrinant kenksmingų medžiagų pašalinimą iš organizmo. Inkstai subalansuoja tam tikrų elementų kiekį žmogaus kraujyje (pvz., natrio, kalio, kalcio) ir gamina hormonus, kurie kontroliuoja kraujospūdį. Visgi, šis gyvybiškai svarbus organas dėl tokių priežasčių kaip cukrinis diabetas, policitinė inkstų liga ir kita, gali nustoti tinkamai funkcionuoti [1]. Pacientai, pasižymintys lėtinėmis inkstų ligomis, patiria širdies ritmo sutrikimus, įskaitant prieširdžių virpėjimą, skilvelių aritmijas ir kartais net staigią širdies mirtį [2]. Siekiant pagerinti inkstų veiklą ir sumažinti jų nepakankamumo sukeltus padarinius, vienas dažniausių terapijos būdų yra hemodializė, kurios metu dializatoriumi iš kraujo išfiltruojamos organizmui kenksmingos medžiagos bei vanduo [3]. Nepaisant didelės pacientų gydymo pažangos, širdies ir kraujagyslių ligos išlieka pagrindine dialize gydomų žmonių mirties priežastimi [4]. Norint pagerinti šių pacientų kliniką, būtina nuolat stebėti jų širdies darbą, kad esant pablogėjimui būtų galima imtis priemonių.

Vienas iš pagrindinių metodų norint ištirti širdies darbą yra elektrokardiograma (EKG). Ji fiksuoja širdies bioelektrinius potencialus ir parodo širdies susitraukimų ritmą ir greitį, leidžiančius diagnozuoti širdies veiklos pokyčius [5]. Paprastai testas atliekamas prie rankų, kojų ir krūtinės pritvirtinus daugybę mažų, lipnių jutiklių, vadinamų elektrodais, kurie yra sujungti laidais į EKG registravimo aparatą [6]. Nors širdies darbo stebėjimo technologijos, naudojančios EKG, buvo nuolat tobulinamos siekiant padidinti dėvėjimo patogumą bei matavimo tikslumą, didelių pokyčių nebuvo gauta. Mokslininkai pradėjo ieškoti alternatyvių metodų. Vienas iš jų – fotopletizmograma (FPG). FPG pagrįstas infraraudonaisiais spinduliais ir žalios šviesos diodais, kurie patekę į audinį atsispindi. Atspindėta šviesa yra proporcinga kraujo tūrio pokyčiams. Kadangi ši technologija geba nustatyti širdies darbo pokyčius įvairiose kūno dalyse, mokslininkai šį metodą vis dažniau pritaiko kasdieniam naudojimui [7].

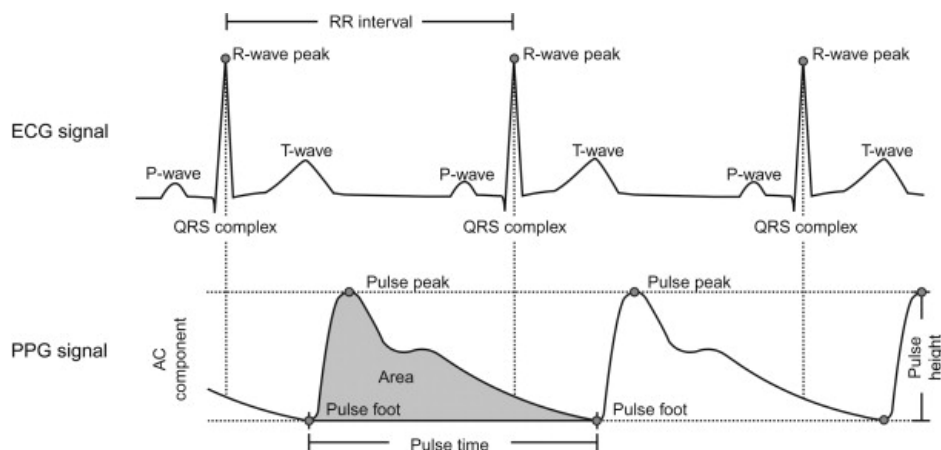
Tobulėjant mokslui, atsirado įrenginių, kurių pagalba žmogus gali visą parą stebėti savo širdies ritmą ar kraujospūdį neišėjęs iš namų. Tai ypač svarbu rizikos grupei priskirtiems žmonėms, kuriems priklauso ir hemodialize gydomi žmonės. Širdies veiklos sutrikimus, pavyzdžiui, aritmijas, gali sukelti ir tam tikros medžiagos, esančios maisto produktuose ar vaistų sudėtyje esančios dalys. Taigi, siekiant efektyviai padėti žmonėms, naudojami ne tik EKG ar FPG duomenys, bet taip pat ir jų vedami dienoraščiai, kuriuose pacientai sužymi dienos veiklą, t. y. kada ir kokius vaistus vartojo, kokį maistą valgė ir panašiai. Turint šiuos duomenis, galima įvertinti žmogaus širdies darbą ir sužinoti vartojamų medikamentų ar maisto produktų poveikį sklandžiam širdies funkcionavimui.

Šio tyrimo metu buvo siekiama sukurti sistemą, kurios pagalba būtų galima sekti pacientų maisto ar medikamentų vartojimą bei nuolat stebėti vartotojų būklę, o surinkus šiuos duomenis, įskaitant ir EKG, rasti būdus, kurie padėtų lengviau įvertinti pacientų sveikatos bei kraujyje esančių elektrolitų kiekių pokyčius. Tokios sistemos poreikis yra ypač didelis, nes ji palengvintų gydymo procesą ne tik pacientams, bet taip pat ir gydytojams.

1. Analizė

1.1. Skirtumai tarp elektrokardiogramos ir fotopletizmografijos

EKG metodas matuoja širdies elektrinį aktyvumą, naudojant kelis elektrodus. Tuo tarpu FPG – optinis arterijos tūrio matavimas atliekamas naudojant fotodiodą. Abiem atvejais gaunama informacija, kurią naudojant gali būti nustatomas paciento širdies ritmas [8]. 1.1 paveikslėlyje vaizduojami skirtumai tarp EKG ir FPG signalų.



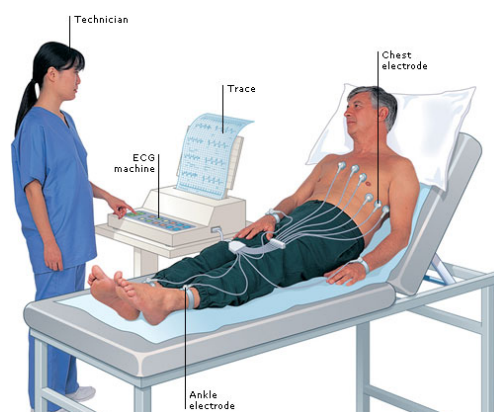
1.1 pav. ECG ir PPG signalai. (A) P banga žymi prieširdžių susitraukimą, QRS bangų grupė skilvelių sistolinį, o T banga – skilvelių diastolinį susitraukimą, RR intervalas – širdies ritmas; (B) „Pulse foot“ – signalo pradžia, „Pulse peak“ – intensyviausia signalo vieta, „Pulse time“ – pulso trukmė [9]

EKG pavaizduoja širdies skleidžiamus elektrinius signalus. Kai plaka širdis, elektriniai signalai per kūno skysčius teka iki odos, ant kurios uždėjus elektrodus yra matuojamas širdies darbas [10]. EKG parodo širdies ritmą, taip pat jo padidėjimą dėl pakilusio kraujospūdžio bei ar nėra buvę širdies priepuolio. Elektrokardiogramos rezultatai paprastai vaizduojami bangų pavidalu, įskaitant P bangą, QRS bangų grupę ir T bangą. P banga žymi prieširdžių susitraukimą, QRS bangų grupė skilvelių sistolinį, o T banga – diastolinį susitraukimą. Laiko intervalas tarp R ir R bangų parodo širdies ritmą. Trumpesnis RR intervalas rodo, kad širdies ritmas didesnis [11].

Fotopletizmografija (FPG) yra neinvazinis metodas, skirtas kraujo tūrio pokyčiams fotoelektriniu būdu nustatyti. Kai tam tikras šviesos bangos ilgis pasiekia odos paviršių, kraujagyslių susitraukimas ir išsiplėtimas turės įtakos šviesos sklidimui kiekvieno širdies plakimo metu. Raumenys, kaulai, venos ir kitos dalys, esančios po oda, pasižymi pastovia šviesos sugertimi. Tačiau kraujas dėl arterinės kraujotakos yra kitoks, todėl pasikeičia ir šviesos absorbcija. Priklausomai nuo kraujo tėkmės, absorbuojama tam tikra tos šviesos dalis, leidžianti kitai daliai praeiti ar atsispindėti. Optinis jutiklis nustato tam tikrą šviesos srautą, praleidžiamą (arba atsispindintį) iš kraujotakos, sukuriant bangos formą, identifikuojančią impulsų bangą. Ši banga taip pat gali būti naudojama širdies ritmui nustatyti [4].

1.2. EKG aparato veikimas

EKG įrašyti reikia specialaus prietaiso. Elektriniams signalams einant per širdį, EKG monitorius registruoja šių signalų stiprumą ir laiką. EKG yra laikomas standartu diagnozuojant aritmijas ir daugelį širdies anomalijų. Jis gali būti naudojamas net ir norint pamatyti ūminius širdies priepuolius ar net praeityje įvykusių įrodymus. Kadangi tradiciniams EKG registratoriams ir Holterio monitoriams reikalingas odos paruošimas ir profesionalus pritaikymas gydytojo kabinete (1.2 pav.), jais negali naudotis asmenys, neturintys medicininės patirties [9, 10]. Kadangi nuo aritmijų kenčiantiems žmonėms, o ypač priklausantiems tokiai rizikos grupei, kaip hemodialize gydomi, reikalingas pastovus širdies



1.2 pav. EKG atlikimas ligoninėje [12].

darbo stebėjimas, atsirado poreikis tokių

1.3. FPG aparato veikimas

Kaip minėta anksčiau, fotopletizmografijai gauti reikia aukšto intensyvumo žalią šviesą skleidžiančių diodų (LED) ir fotodetektoriaus arba infraraudonųjų spindulių, kurie padeda stebėti širdies impulsus neinvaziniu būdu [13]. Palyginti su EKG, FPG lengviau nustatomas, šis metodas patogesnis ir ekonomiškesnis. FPG klinikose kaip pirštų ir (arba) kojų pirštų spaustukai yra paplitę ir oksimetrai (1.3 pav.). Būtent FPG populiarėja kaip vartotojui pritaikyti nešiojamieji įtaisai, kurie turi nuolatinę ir ilgalaikę širdies darbo stebėjimo funkciją, nesukeliantys odos sudirginimo [14]. Visgi, nors FPG laikomas alternatyva EKG širdies ritmui įvertinti, tokioms anomalijoms kaip prieširdžių virpėjimas nustatyti naudojant FPG vis dar iškyla sunkumų [15].



1.3 pav. PPG prietaiso pavyzdys [16].

1.4. Egzistuojantys sprendimai

Naujausi klinikiniai EKG prietaisai yra grindžiami senųjų prietaisų koncepcija. Naudojant miniatiūrines elektronines grandines, kurios palaiko „Bluetooth“, „Wi-Fi“ ir veikia kartu su išmaniais telefonais, šis naujas prietaisų mišinys gali fiksuoti EKG ir diagnozuoti aritmijas vartotojui patogesniais įrenginiais.

Italų įmonė „D-Heart“ suprojektavo pirmąjį pasaulyje EKG prietaisą, kuris yra toks pat patikimas kaip ligoninės EKG ir gali būti naudojamas žmogaus, neturinčio medicininės patirties. Šis prietaisas gali veikti su „iPhone“ ar „iPad“ per „Bluetooth“ ir gali būti naudojamas kiekvieną kartą, kai norima patikrinti širdies darbą. Tai tapo paskata kitoms įmonėms kurti panašius, konkurencingus produktus. Visgi jų pateikiamų duomenų išsamumas skiriasi.

1.4.1. D-Heart

Tai yra prietaisas, susietas su išmaniaisiais telefonais, kuris gali registruoti 8 arba 12 derivacijų EKG. Šį prietaisą ir programinę įrangą sukūrė Italijoje, Genujos mieste, esanti kompanija „D-Heart“. Kompanija pagrindinį dėmesį skiria kaimams ir vietoms, kur tokios technologijos yra sunkiai prieinamos [17]. Sistema leidžia savarankiškai nusiųsti gautus rezultatus visą parą veikiančiai telekardiologijos tarnybai arba savo pasirinktam gydytojui. Oficiali telekardiologijos tarnybos būstinė yra Milane, „San Raffaele“ ligoninėje. Ten dirbantys žmonės peržiūri EKG ir pateikia išvadas remdamiesi simptomais ir širdies kraujagyslių anamneze.

Nors sistema vietoj dirbtinio intelekto, kuris galėtų identifikuoti prieširdžių virpėjimą ar nereguliarų širdies ritmą, turi visą parą veikiančią telekardiologijos centrą, dirbtinis intelektas naudojamas



1.4 pav. D-heart pavyzdys [18].

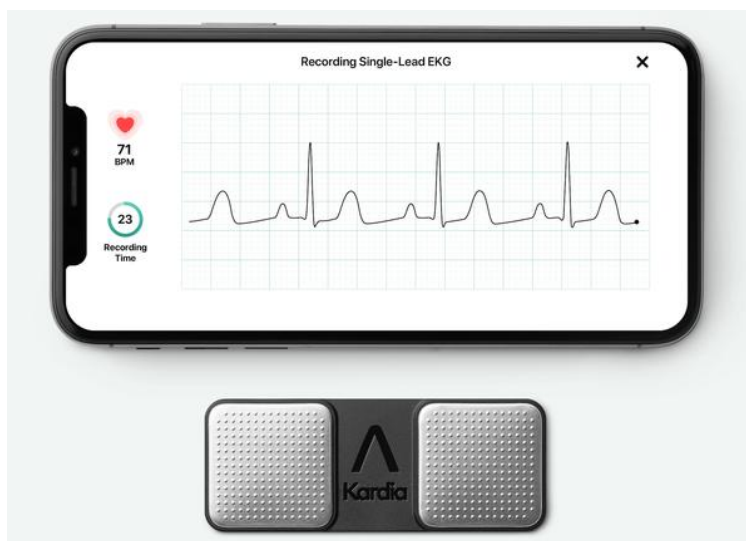
nustatyti, kur vartotojas turėtų dėti elektrodus. Iš pradžių įkeliama vartotojo krūtinės nuotrauka ir programa virtualiais taškais parodo, kur turėtų būti priklijuojami elektrodai (1.4 pav.) [18].

Naudojant 8 elektrodus D-heart maksimalus ECG laikas yra 60 sekundžių, o naudojant 12 elektrodų maksimalus ECG laikas yra 12 sekundžių. Su 8 elektrodais kurie yra pridedami prie krūtinės galima gauti I, II, III, aVR, aVL, aVF, V2, ir V5 derivacijas. Naudojant 12 elektrodų papildomai galima gauti V3, V4 ir V6 derivacijas.

„D-heart“ turi ir savo programėlę „iOS“ ir „android“ operacinėms sistemoms. Programėlėje galima matyti savo EKG derivacijas realiu laiku ir jos istoriją. Signalams į telefoną perduoti yra naudojamas „Bluetooth“ ryšys. Programėlėje galima susieti savo gydytojo kontaktus iš savo telefono kontaktų sąrašo, kuriam savarankiškai vartotojas galės persiųsti gautus signalus. Norint pradėti pilnai naudotis sistema būtina užsiregistruoti ir pateikti savo kūno svorį, ūgį, gimimo metus, lytį, gyvenamąją vietą bei vardą ir pavardę. Taip pat ši programėlė leidžia pagrindiniam vartotojui pridėti naujų žmonių sąrašą ir atlikti jiems EKG su esančiais elektrodais, prieš tai pasirinkus, kuris žmogus šiuo metu atlieka EKG. Šis funkcionalumas visą sistemą padaro dar labiau lankstesne [19].

1.4.2. „KardiaMobile“

„KardiaMobile“ sistema – Jungtinių Amerikos Valstijų „Alivecor“ įmonės sukurtas produktas. Ši įmonė yra medicinos prietaisų ir dirbtinio intelekto kūrėja, kuri prekiauja EKG aparatine ir programine įranga, kuri yra skirta mobiliems įrenginiams. Šis produktas leidžia bet kur ir bet kada atlikti EKG naudojant specialius elektrodus. „KardiaMobile“ pavyzdys vaizduojamas 1.5 paveikslėlyje.



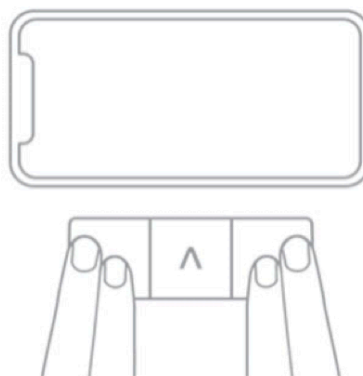
1.5 pav. „KardiaMobile“ įranga [20].

Šios įrangos privalumai:

- šis produktas JAV maisto ir vaistų administracijos patvirtintas kaip klinikinio laipsnio asmeninis EKG monitorius. „KardiaMobile“ EKG nustato per 30 sekundžių;
- jis geba aptikti prieširdžių virpėjimą, brachikardiją, tachikardiją ar normalų širdies ritmą;
- kompanija turi geriausias kardiologijos specialistus bei yra sukaupusi daugiau nei 60 milijonų EKG įrašų. Pastarasis faktas patvirtina, kad turint tiek daug įrašų galima kuo tiksliau apmokyti dirbtinį intelektą;
- EKG galima laikyti telefone, o rezultatus pasidalinti su gydytoju nusiuntus jam elektroniniu paštu [21].

„KardiaMobile“ kūrėjai, norėdami pasiekti pilną programos funkcionalumą, sudarė ją iš dviejų dalių.

- **Pirmoji dalis yra elektrodai.** „KardiaMobile“ turi du elektrodus kurie gali būti laikomi kišenėje ar pritaisyti prie telefono nugarėlės. Iš pradžių vartotojas ant elektrodų turi pridėti abiejų rankų vieną ar du pirštus (1.6 pav.). Tuomet yra siunčiami ultragarsiniai signalai kuriuos priima išmanusis telefonas. Su šiais elektrodais yra gaunama I derivacija, kuri yra gaunama ir standartiniuose EKG aparatuose, kurie yra ligoninėje arba gydytojo kabinete.



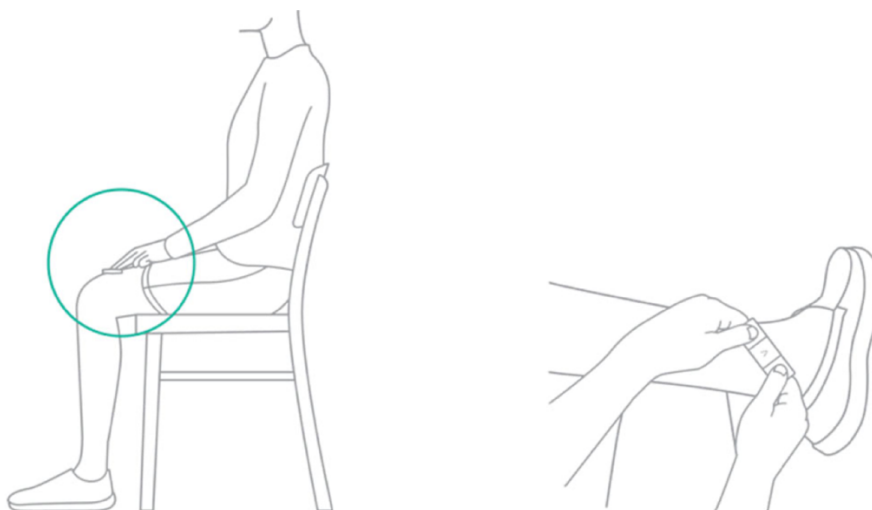
1.6 pav. „KardiaMobile“ naudojimo pavyzdys [20].

- **Antroji sistemos sudedamoji dalis yra programinė.** Būtina į savo išmanųjį telefoną įsidiegti programinę įrangą kuri yra svarbi pilnai veikiančios sistemos dalis.

Programinė įranga yra skirta „iOS“ ir „Android“ operacinėms sistemoms. Kadangi sistema yra medicininis įtaisas, įmonė turi laikytis federalinių ir tarptautinių reguliacijų [22].

1.4.3. „KardiaMobile 6L“

Vėliau buvo išleista patobulinta „KardiaMobile“ versija – „KardiaMobile 6L“. Pastaroji turi sudėtingesnę techninę įrangą. Kitoje priedo pusėje yra integruotas trečiasis elektrodas, kuris turi būti pridėdamas ant kairės kojos žemiau kelio ar prie kulkšnies vidinės pusės. Tuo tarpu prie kitų dviejų elektrodų pridėdami vienas ar du rankų pirštai (1.7 pav.). Su šia versija galima gauti standartinės derivacijas – I, II ir III ir sustiprintas galunių derivacijas – aVR, aVL ir aVF (1.8 pav.). Gauti kardiogramų rezultatai atitinka standartinius EKG įrenginius, esančius ligoninėse ar gydytojų kabinetuose. Sistema suteikia galimybę visus asmeninius įrašus laikyti jų debesyje [21].



1.7 pav. „KardiaMobile 6L“ naudojimo pavyzdys [24].



1.8 pav. „KardiaMobile 6L“ įranga [23].

1.4.4. „KardiaBand“

„KardiaBand“ EKG sprendimas yra skirtas „Apple watch“ 1-3 serijoms. Šiai sistemai reikalinga apyrankė su elektrodu, kuri tinka visoms „Apple watch“ serijoms, išskyrus originaliai pirmajai

versijai (1.9 pav.). Šis sprendimas skirtas 1-3, nors tinka ir 4-5 laikrodžio versijoms, kurioms sukurtas papildomas funkcionalumas. Jis apžvelgtas kitame skyrelyje (žr. 1.4.5. „Apple watch series 4“ įrenginys).



1.9 pav. „KardiaBand“ veikimui reikalingos apyrankės pavyzdys [24].

„KardiaBand“ sprendimas sukurtas Jungtinių Amerikos Valstijų „Alivecor“ kompanijos. Pastaroji yra pirmoji iš JAV maisto ir vaistų administracijos gavusi leidimą gaminti medicinos prietaiso priedą prie „Apple watch“.

Veikimo principas yra labai paprastas. Ant elektrodo reikia pridėti priešingos rankos pirštą, negu yra uždėtas laikrodis, ir palaikyti 30 sekundžių. Norint, kad funkcionalumas būtų veikiantis, reikia įdiegti jau minėtą „Kardia“ programinę įrangą.

Priede yra tik vienas elektrodas, o antrasis yra pačiame laikrodyje, todėl taip yra sudaroma elektrinė grandinė. Šis metodas pateikia I derivaciją. Rezultatą galima stebėti laikrodžio ekrane ir realiu laiku pamatyti gautą rezultatą, t.y. ar širdies ritmas yra normalus (2.10 pav.). Kadangi tai yra „Apple“ ekosistemos papildinys būtina turėti telefono įrenginį su „iOS“ operacine sistema [25].

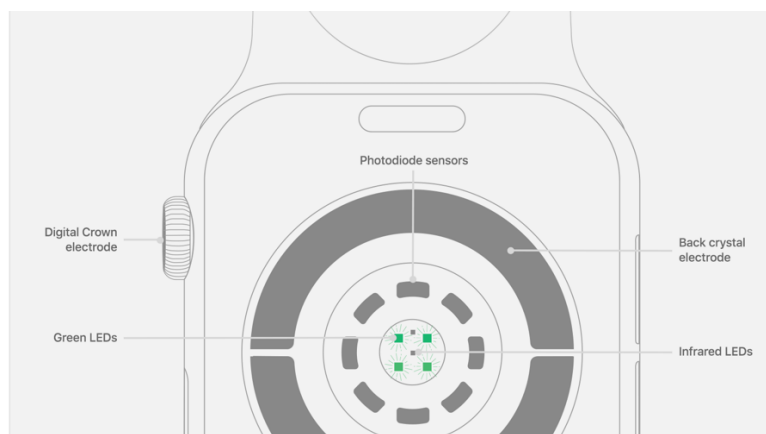


1.10 pav. „KardiaBand“ pavyzdys [24].

1.4.5. „Apple watch series 4“ įrenginys

Šio įrenginio naudojimui būtina turėti iPhone arba iPad. Išleidus naują „Apple watch“ 4 modelį, kartu su juo, „Apple“ kompanija išleido savo EKG sistemą ir algoritmus, kurie gali nustatyti prieširdžių virpėjimus ir nereguliarų širdies ritmą (aritmijas). Nebereikalingu tampa „KardiaBand“ priedas. Visgi, jei labiau pasitikima šios kompanijos produktu, algoritmais ir funkcionalumu, jo naudojimas galimas [26].

Jeigu sistema per 48 valandas netinkamą širdies ritmą aptinka penkis iš šešių kartų, vartotojas yra įspėjamas pranešimu. Vartotojas yra tikrinamas automatiškai kas dvi valandas, priklausomai nuo fizinės veiklos. Kadangi laikrodis nugarinėje dalyje turi žalią šviesos diodą, širdies ritmas nustatomas FPG metodu. „Apple“ kompanija, galima sakyti, „pilna koja“ įžengė į skaitmeninės medicinos pasaulį. Kompanijos algoritmai sugeba, ne tik iš EKG, bet ir iš FPG duomenų nustatyti netolygų širdies ritmą. Kadangi kraujas yra raudonas, todėl jis atspindi raudoną šviesą ir sugeria žalią. Taigi laikrodis naudodamas žalius LED ir sujungdamas juos su fotodiodais, gali nustatyti per riešą tekančio kraujo kiekį (2.11 pav.). Norėdami gauti tikslius duomenis, šie šviesos diodai mirksi šimtus kartų per sekundę. Verta paminėti, kad vartotojas, šios technologijos pagalba, realiu laiku gali stebėti savo pulsą ir sekti jo pokyčius [27].



1.11 pav. „Apple watch series 4“ nugarėlės sandara [27].

Norint atlikti EKG kuris gali aptikti prieširdžių virpėjimą, tam reikia pridėti priešingos rankos, negu ant kurios yra laikrodis, pirštą ant ratuko, esančio laikrodžio šone. Ratukas yra sudarytas iš titaninio elektrodo (kuris nukonkuravo „KardiaBand“ priedą, pardavinėtą prie ankstesnių laikrodžio versijų), o elektrodas laikrodžio nugarėlėje – iš chromo silicio anglies nitrido. Yra papildomų sąlygų, kurias pateikia „Apple“ kompanija tiems, kas nori nustatysi savo EKG naudojantis jų programine ir technine įranga. Pagal JAV maisto ir vaistų administracijos leidimą, žmogus turi būti bent 22-iejų metų ir niekada neturėjęs prieširdžių virpėjimo [28]. Žinoma visas šis funkcionalumas yra palaikomas naujesnėse laikrodžio versijose (1.12 pav.).



1.12 pav. „Apple watch series 4“ įrenginio pavyzdys [29].

1.4.6. QardioCore Wireless ECG Monitor

„QardioCore“ tai kompanija esanti JAV, San Franciske, sukūrusi elektrodų juosteles, kurios yra pritvirtinamos ant krūtinės. Šis produktas yra patvirtintas JAV maisto ir vaistų administracijos. Produktas sukurtas bendradarbiaujant su gydytojais, o siekiant įrodyti prietaiso matavimo tikslumą, atlikti klinikiniai tyrimai [30].

„QardioCore“ sugeba gauti I derivacijos EKG, kurią realiu laiku galima matyti savo telefono ekrane, pasinaudojant kompanijos sukurta programėle. Duomenys yra perduodami „Bluetooth“ ryšiu. Programėlė skirta tik „iOS“ operacinei sistemai.

Sistema nesugeba analizuoti EKG duomenų ir negali vartotojui automatiškai pateikti gautų rezultatų, tačiau prietaisas yra skirtas nepertraukiamam 24 valandų EKG stebėjimui, priešingai nei dauguma panašių įrenginių, kurie skirti atlikti įprastą 30 sekundžių EKG [17, 30]. Šis prietaisas puikiai tinka Hotlerio monitoringui.

Vartotojas savo duomenis gali nusiųsti gydymo įstaigai, jeigu ši yra taip pat prisiregistravusi į „QardioCore“ sistemą [17].

„QardioCore“ programėlė yra suderinama tik su „iOS“ operacine sistema ir orientuojasi į sklandžią vartotojo patirtį su „Apple“ įrenginiais, kurių operacinės sistemos versijos yra 10-ta arba naujesnės. Artimiausiu metu kompanija neturi planų „Android“ operacinei sistemai sukurti šią programėlę. 1.13 paveikslėlyje vaizduojamas „QardioCore“ sistemos pavyzdys.



1.13 pav. „QardioCore“ pavyzdys [31].

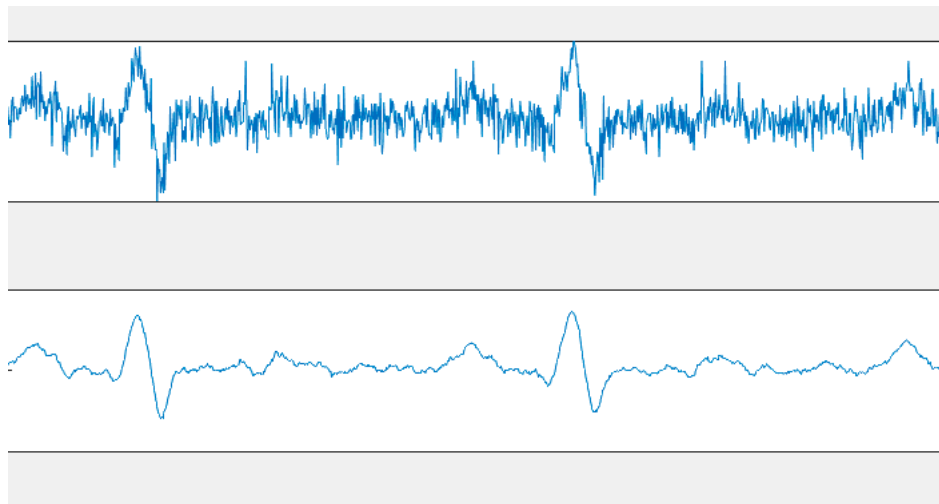
1.4.7. Produktų santraukos palyginimas

1.1 lentelė Produktų palyginimų santrauka

	„D-Heart“	„KardiaMobile“	„KardiaMobile6L“	„KardiaBand“	„Apple watch 4“	„QardioCore“
Derivacijos	I, II, III, aVR, aVL, aVF, V2, V5, V3, V4, V6	I	I, II, III, aVR, aVL, aVF	I	I	I
Laikas	60s naudojant 8 elektrodus 12s naudojant 12 elektrodų	30s	30s kiekvienai derivacijai	PPG pagal fizinį aktyvumą ECG 30s	PPG pagal fizinį aktyvumą ECG 30s	24 valandos
PPG	Nėra	Nėra	Nėra	Yra	Yra	Nėra
Anomalijų nustatymas	Automatinis duomenų siuntimas gydytojui	Prieširdžių virpėjimas ir nenormalų širdies ritmą	Prieširdžių virpėjimas, brachikardija, tachikardija ar nenormalų širdies ritmą	Prieširdžių virpėjimas ir nenormalų širdies ritmą	Prieširdžių virpėjimas, nenormalų širdies ritmą ir automatinis duomenų siuntimas gydytojui	Automatinis duomenų siuntimas gydytojui
Operacinių sistemų palaikymas	„iOS“ / „Android“	„iOS“ / „Android“	„iOS“ / „Android“	„iOS“	„iOS“	„iOS“

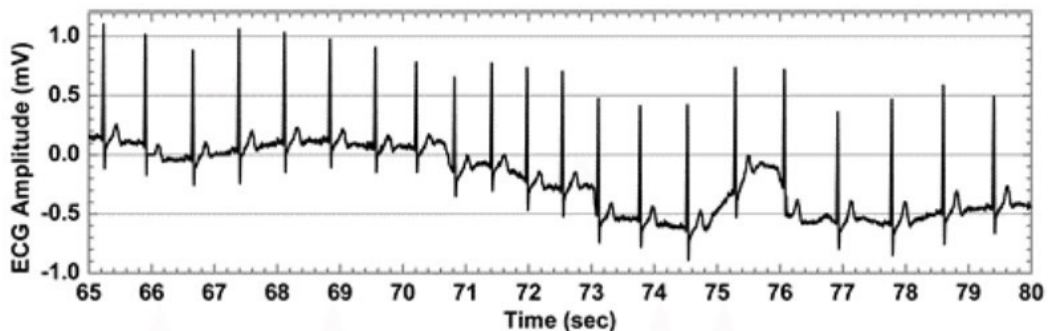
1.5. Skaitmeninių signalų apdorojimas

Atliekant EKG visuomet yra tikimybė, kad tyrimo rezultatuose bus pašalinių triukšmų. Signalas gali būti iškraipytas žmogaus fiziologinių ar kitų išorinių veiksnių sukulto triukšmo. Kuo ilgesnis EKG stebėjimo laikas, tuo didesnė tikimybė, kad signalas bus iškraipytas pašalinių veiksnių [32]. Triukšmas, dar kitaip vadinamas artefaktais, yra nepageidaujami signalai, sujungiami su EKG signalu ir tai tampa kliūtimi gydytojams, norint nustatyti tikrąją paciento diagnozę. Dėl šios priežasties, pradedant analizuoti turimą EKG, reikia pašalinti pašalinius triukšmus, naudojant tinkamus signalo apdorojimo metodus. Daugiausia yra keturių tipų artefaktų, su kuriais susiduria EKG signalai: bazinės linijos trukdžiai, elektros linijų trukdžiai, EMG triukšmas ir elektrodų judėjimas [33]. Kaip atrodo signalas su pašaliniais triukšmais ir be jų pavaizduota 1.14 paveikslėlyje.



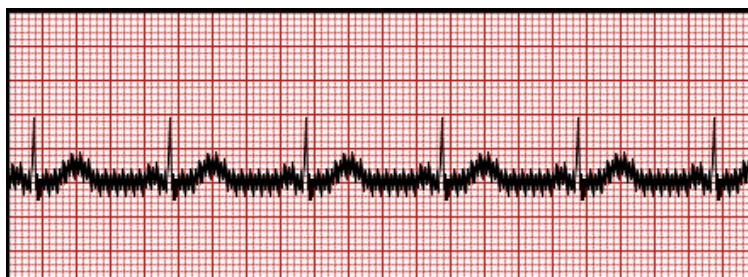
1.14 pav. EKG signalas su pašaliniu triukšmu ir be jo

- 1) **Bazinės linijos dreifas** yra efektas, kai signalo bazinė ašis (x ašis) nebūna tiesi, o juda aukštyn ir žemyn. Tuomet pasislenka ir dominantis signalas. Dažniausiai kitimo ribos yra apie 0,5 Hz. Taip gali nutikti dėl netinkamų elektrodų (elektrodo ir odos varžos), paciento judesių ir kvėpavimo. Visgi kūno judesiai bei stresas šią paklaidą gali dar labiau padidinti. Kadangi šis signalas yra žemo dažnio, šio triukšmo filtravimui galima naudoti ribotos impulsinės reakcijos (FIR) aukšto dažnio nulinės fazės filtravimą, kurio riba yra 0,5 Hz. 1.15 paveiksle parodytas tipiškas EKG signalas, paveiktas šios klaidos [33].



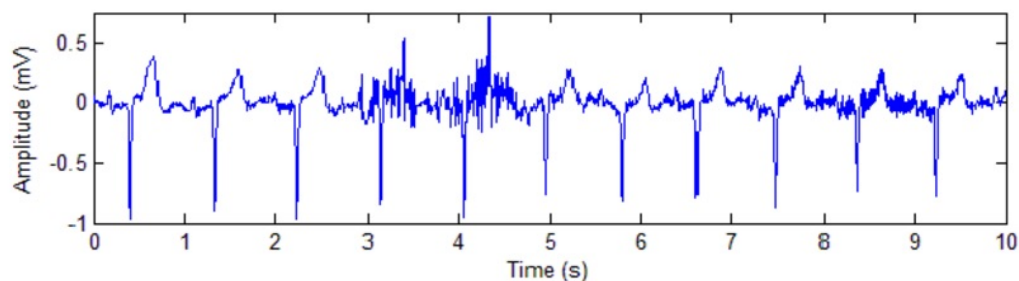
1.15 pav. EKG signalas su bazinės linijos dreifu [33].

- 2) **Elektros linijų trukdžiai.** Elektromagnetiniai laukai, kuriuos sukelia elektros signalai, rodo bendrą triukšmo šaltinį EKG, taip pat kaip ir bet kuris kitas iš kūno paviršiaus registruojamas bioelektrinis signalas. Tokiam triukšmui būdingi sinusoidiniai 50 ar 60 Hz trukdžiai, kuriuos sunku išaiškinti, nes mažos amplitudės bangos negali būti patikimai apibrėžtos, pavyzdžiui P ir T bangos, ir gali būti naudojamos klaidingos. 1.16 pav. rodo EKG signalą, kuriam įtaką daro elektros linijos trikdžiai [33].



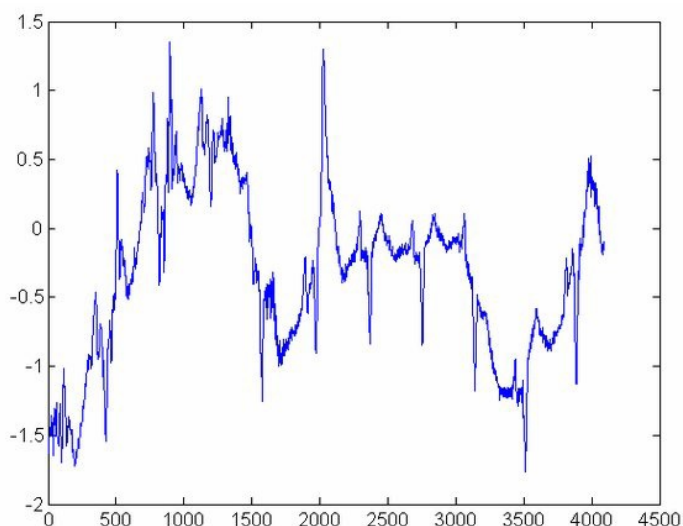
1.16 pav. EKG turi įtakos elektros linijos (50/60 Hz) trukdžiai [33].

- 3) **Elektromiogramos (EMG) triukšmas** sukuriamas dėl raumens elektrinio aktyvumo. EMG sudaro maksimalius 10 KHz dažnius. EKG bangas gali trikdyti ir sugadinti paviršinė EMG, o tai sukelia sunkumų apdorojant ir analizuojant duomenis. Žemiau pateiktame 1.17 paveikslėlyje parodytas EKG signalas, kurį sutrikdė EMG triukšmas [34].



1.17 pav. EKG signalas su elektromiografiniu (EMG) triukšmu [33].

- 4) **Elektrodų judesio artefaktai** yra trumpalaikiai bazinės linijos pokyčiai, dažniausiai apimantys diapazonus nuo 1 iki 10 Hz, kuriuos, elektrodo judesio metu, sukelia elektrodo ir odos varžos pokyčiai [39]. EKG signalas, paveiktas elektrodo judesio artefakto, parodytas žemiau (1.18 pav.).



1.18 pav. EKG paveikti elektrodo judesio artefaktai [33].

1.6. Triukšmo filtrai

Linijiniams arba netiesiniams aukšto pralaidumo filtrams, tokiems kaip neribotos impulsinės reakcijos (IIR) ir ribotos impulsinės reakcijos (FIR), sukurti buvo taikyta daugybė būdų. Abiejų paskirtis yra išvalyti nepageidaujamus triukšmo signalus nuo dominančio EKG. IIR filtrų veikimas paprastai yra nepriimtinas dėl netiesinės fazės atsako, dėl kurio EKG signalas iškraipomas. Nors signalų mažinimas galėtų sumažinti FIR sudėtingumą, šio filtro įvestas laiko uždelsimas vis dar yra nepriimtinas, ypač kai jis naudojamas trumpalaikiams signalams [35]. Šių dviejų filtrų tipų palyginimai aprašomi 1.2 ir 1.3 lentelėse.

1.2 lentelė Pagrindiniai IIR ir FIR filtrų skirtumai [Adaptuota pagal 36].

IIR FILTRAI	FIR FILTRAI
Projektuojant IIR filtrus, atsižvelgiama į visus neribotos impulsinės reakcijos pavyzdžius.	Projektuojant FIR filtrus, atsižvelgiama tik į N impulsų atsako pavyzdžius.
IIR filtro konstravimas apima analoginio filtro suprojektavimą pirmiausia pagal norimas specifikacijas ir po to pavertimą skaitmeniniu IIR filtru.	FIR filtrą su norimomis specifikacijomis galima sukurti tiesiogiai naudojant tam tikrus metodus (pvz., lango metodus).
IIR filtrai turi analogišką ekvivalentą.	FIR filtrai neturi analoginio ekvivalento.
IIR filtrui reikia esamų išvesties pavyzdžių , be esamų ir buvusių įėjimų, kad būtų galima gauti dabartinius išėjimus.	FIR filtrui reikalingos tik ankstesnės ir dabartinės įvestys, kad būtų galima gauti dabartinę išvestį. Jiems nerūpi praeities rezultatai .
IIR filtro projektavimo specifikacijose nurodomos tik norimos jo dydžio reakcijos savybės .	FIR filtro projektavimo specifikacijos nurodo tiek dydį, tiek fazės reakciją .
Fiziškai realizuojami neribotos impulsinės reakcijos filtrai neturi tiesinių fazių charakteristikų .	Fiziškai įgyvendinamus FIR filtrus galima lengvai suprojektuoti atsižvelgiant į tiesines fazės charakteristikas .
IIR filtrai yra rekursyvūs .	FIR filtrai nėra rekursyvūs . Tačiau įmanoma sukurti ir rekursinius FIR filtrus.
Neribotos impulsinės reakcijos filtrų perdavimo funkcijos turi ir polius, ir nulius .	Ribotos impulsinės reakcijos perdavimo funkcijos turi tik nulius .

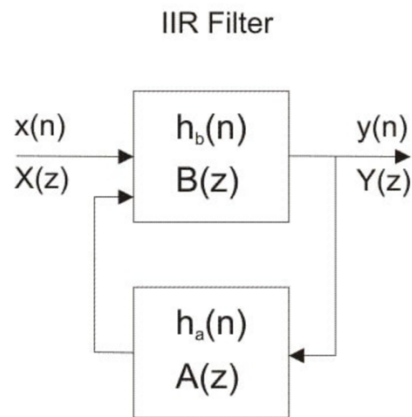
1.3 lentelė IIR ir FIR filtrų palyginimo pranašumai arba trūkumai. ↑ – pranašumas prieš kitą filtrą, ↓ – trūkumas prieš kitą filtrą [Adaptuota pagal 36].

SAVYBĖS	IIR FILTRAI	FIR FILTRAI
Filtro stiprumas	↓	↑
Energijos sunaudojimas	↓	↑
Stabilumas	↓	↑
Reikalingos atminties kiekis	↓	↑
Greičiau pritaikomas	↓	↑
Jautrumas	↑	↓
Efektyvumas	↑	↓
Lengvumas naudotis	↑	↓
Filtro koeficientų kiekis	↑	↓

1.6.1. IIR filtrai

Skaitmeniniai filtrai, kurie turi būti įdiegti rekursyviai, yra vadinami neribotos impulsinės reakcijos (IIR) filtrais, nes teoriškai šių filtrų atsakas į impulsą niekuomet nenusistovi iki nulio. Praktiškai daugelio IIR filtrų reakcijos asimptomiškai artėja prie nulio, o baigtiniame pavyzdžių skaičiuje, dėl skaitmeninių kompiuterių baigtinio žodžio ilgio, gali pasiekti nulį [37]. IIR filtro dizainas

grindžiamas impulsų perdavimo funkcijos $G(z)$, atitinkančios filtro specifikacijos reikalavimus, identifikavimu. Tai gali būti padaryta sukuriant analoginį prototipą ir tada jį modifikuojant impulsų perdavimo funkcija, arba sukuriant tiesiogiai skaitmeninį [38]. Begalinio impulsų atsako filtras yra unikalus, nes jame naudojamas grįžtamojo ryšio mechanizmas. Tam reikalingi dabartiniai ir ankstesni išvesties duomenys. Nors IIR filtras yra sunkiau suprojektuoti, jie yra efektyviai skaičiuojami, ir paprastai yra pigesni (1.19 pav.).



1.19 pav. IIR filtrų bloką schema. [39]

IIR filtro perdavimo funkcija [Adaptuota pagal 39]:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)z^{-n} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$

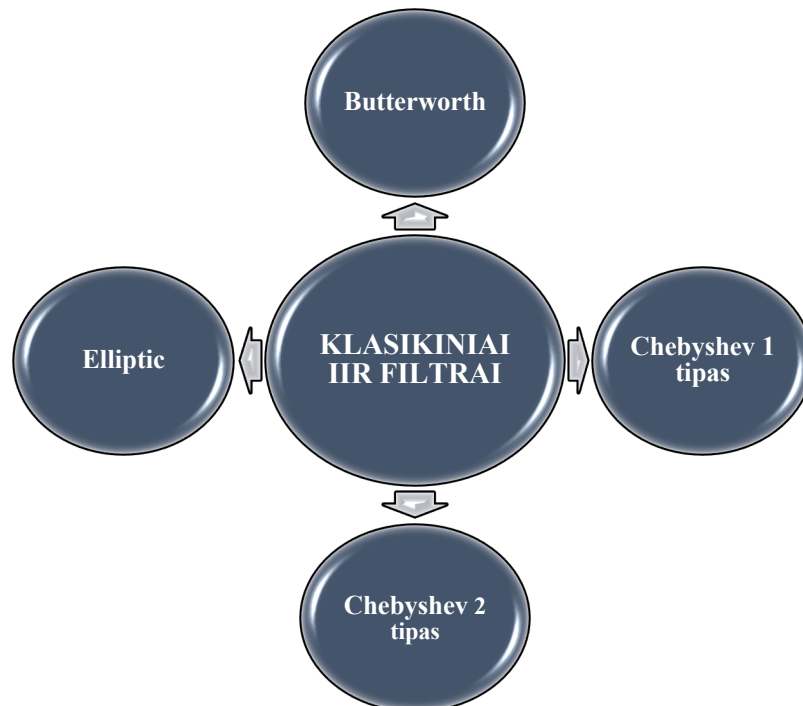
Norint suprojektuoti stabilų ir veikiantį IIR filtrą, būtina paisyti šių reikalavimų:

- 1) Perkėlimo funkcija ($H(z)$) turėtų būti racionali z funkcija, o z koeficientai turėtų būti realūs;
- 2) Poliai (reikšmės, kai vardiklio pasisukimas 0 / išvestis yra begalinė) turėtų būti z plokštumos vieneto apskritime;
- 3) Nulių skaičius turėtų būti mažesnis arba lygus polių skaičiui;
- 4) Efektyviam konvertavimui iš analoginio filtro į skaitmeninį s -plokštumos įsivaizduojama ašis turėtų būti nukreipta į z plokštumos vienetinį apskritimą. Tai nustato tiesioginį ryšį tarp analoginio ir skaitmeninio dažnio dviejose srityse;
- 5) Kairioji s plokštumos pusė turėtų būti z -plokštumos vieneto apskritimo vidinėje pusėje [39; 40].

1.4 lentelėje pateikiami IIR filtro privalumai bei trūkumai, o 1.20 paveikslėlyje klasikiniai IIR filtrų pavyzdžiai.

1.4 lentelė IIR filtrų privalumai ir trūkumai. [Adaptuota pagal 41]

PRIVALUMAI	TRŪKUMAI
IIR filtrai yra universalūs	Neturi tiesinės fazės atsako
Lengvai pritaikomi	Negali būti taikomas sveikųjų skaičių matematikai
Nebrangūs	Turi didelę tikimybę būti nestabilūs



1.20 pav. Klasikinių IIR filtrų pavyzdžiai. [Adaptuota pagal 41]

1.6.2. FIR filtrai

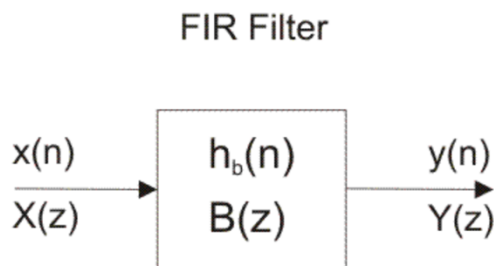
FIR filtrai yra ypač naudingi tais atvejais, kai reikalingas tikslus tiesinis fazės atsakas. FIR filtras paprastai įgyvendinamas ne rekursyviu būdu, o tai garantuoja stabilų filtrą. FIR filtrų dizainas iš esmės susideda iš dviejų dalių:

- Suderinimo problema;
- Realizacijos problema.

Aproksimacijos etape atsižvelgiama į specifikaciją ir suteikiama perdavimo funkcija keturiais žingsniais. Jie yra šie:

- 1) Dažniausiai pasirenkamas norimas arba idealus atsakas;
- 2) Pasirenkama leistina filtrų klasė (pvz., FIR filtrų N ilgis);
- 3) Pasirinktas suderinimo kokybės matas;
- 4) Geriausiam filtrų perdavimo funkcijai surasti pasirinktas metodas arba algoritmas.

Realizacijos dalis skirta struktūros, reikalingos perkėlimo funkcijai įgyvendinti, pasirinkimui, kuri gali būti schemos arba programos pavidalu [42] (1.21 pav.).



1.21 pav. IIR filtrų blokų schema. [42]

FIR filtro perdavimo funkcija [Adaptuota pagal 43]:

$$H(z) \triangleq \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n z^{-n} = \sum_{n=0}^M b_n z^{-n}$$

Yra trys gerai žinomi FIR filtrų projektavimo būdai:

- 1) Lango metodas;
- 2) Dažnio atrankos technika;
- 3) Optimalūs filtrų projektavimo metodai [44].

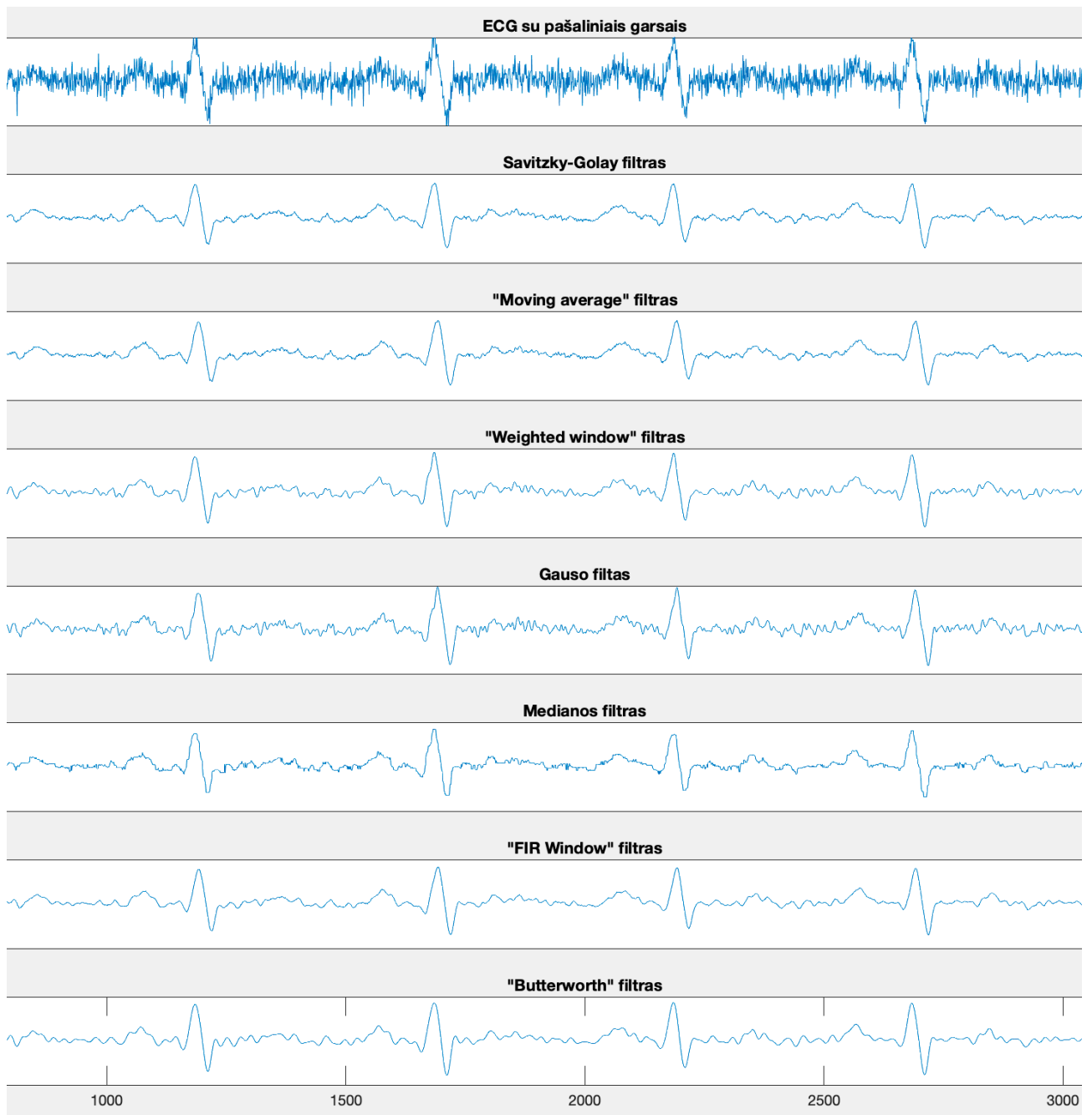
1,5 lentelėje pateikiami FIR filtro privalumai bei trūkumai.

1.5 lentelė FIR filtrų privalumai ir trūkumai. [Adaptuota pagal 45]

PRIVALUMAI	TRŪKUMAI
FIR filtras yra stabilus ir paprastas	Dideli saugojimo reikalavimai
Filtrai veikia tiesiškai	Neįmanoma imituoti analoginio filtro prototipo
Lengva optimizuoti	Norint įdiegti FIR filtrą, reikalingi sudėtingi skaičiavimo metodai
Maža triukšmo paklaida	Brangus dėl didelio užsakymo
Tiek rekursinis, tiek ne rekursinis filtras gali būti suprojektuotas naudojant FIR projektavimo metodus	Reikalauja daug atminties bei laiko
FIR filtro kūrimo technologijos yra lengvai pritaikomos	Sunkus įgyvendinimas

1.7. Dažniausiai naudojami filtrai

Aukšto dažnio filtrai pašalina žemo dažnio komponentus, tokius kaip judesio artefaktas, kvėpavimo svyravimas ir pradinis klajoklis. Skirtingai nei žemo pralaidumo filtrai, analoginiai aukšto pralaidumo filtrai nemažina signalo, tačiau analoginiai aukšto pralaidumo filtrai patiria fazės poslinkį, veikiantį pirmąsias 5-10 signalo harmonijas. Tai reiškia, kad 0,5 Hz aukšto dažnio filtras, kurio dažnis yra žemesnis nei sukuria miokardas, vis tiek gali paveikti dažnius iki 5 Hz [46]. 1.22 paveikslėlyje pateiktas, dažniausiai naudojamu filtru palyginimas.



1.22 pav. Filtrų palyginimas

1.7.1. „Savitzky-Golay“ filtrai

„Savitzky-Golay“ filtrai naudojami norint dideliu dažnio diapazonu išlyginti nereikalingus triukšmo signalus. „Savitzky-Golay“ filtrai paprastai filtruoja mažiau aukšto dažnio signalo turinio, nei standartiniai vidutiniai FIR filtrai. Visgi jie mažiau sėkmingai panaikina triukšmą, kai jo lygis yra ypač didelis.

Filtravimas reiškia kiekvieno signalo taško pakeitimą tam tikru signalo verčių deriniu, esančiu judančiame lange, kurio centre yra taškas, darant prielaidą, kad netoliese esantys taškai matuoja beveik tą pačią pagrindinę vertę. Pavyzdžiui, slenkamieji vidurkio filtrai pakeičia kiekvieną duomenų tašką aplinkinių duomenų taškų vidurkiu. Jei nurodytas duomenų taškas turi k taškus į kairę ir k taškus į dešinę, kai bendras lango ilgis yra $L = 2k + 1$, slenkamasis vidutinis filtras pakeičiamas [47].

„Savitzky-Golay“ filtravimą galima laikyti apibendrintu slenkamuoju vidurkiu. Filto koeficientai išvedami atliekant nesvertinius tiesinius mažiausius kvadratus, tinkančius naudojant tinkamo laipsnio polinomą. SG filtras apskaičiuoja kiekvieno duomenų taško išlygintą vertę, įvertindamas vietinį polinomo atitikimą lange. Visų pirma, EKG signalas filtruojamas žemu dažniu, kad būtų pašalinta dauguma EKG signalo dažnio komponentų. Norint išvengti iškraipymų, kurių ribinis dažnis yra 0,8 Hz, naudojamas simetrinis FIR filtras. Tada SG filtras naudojamas bazinei linijai išgauti, o pradinis signalas atimamas iš pradinio signalo, kuris yra atidėtas. Išėjimas gaunamas neturint pradinio lygio [48].

Laiko eilučių išlyginimas naudojant 2-osios eilės polinomą ir 7 duomenų taškus. Šio konkretaus „Savitzky-Golay“ išlyginimo lygtis yra apibrėžta taip [Adaptuota pagal 49]:

$$y_t = (-2x_{t-3} + 3x_{t-2} + 6x_{t-1} + 7x_t + 6x_{t+1} + 3x_{t+2} - 2x_{t+3})/21.$$

1.7.2. FIR filtrų langų projektavimo metodas

Lango metodas skaitmeniniam filtrui projektuoti yra greitas, patogus ir patikimas, tačiau paprastai jis nėra optimalus. Tai lengvai suprantama atsižvelgiant į Furjė transformacijų konvoliucijos teoremą, todėl atliekamas instruktivus tyrimas po Furjė teoremas ir spektro analizės langus. Jį galima veiksmingai derinti su dažnio atrankos metodu.

Langų metodą sudaro paprasčiausias „langų atidarymas“, teoriškai idealus filtro impulsų atsakas $h(n)$, naudojant tam tikrą tinkamai parinktą lango funkciją $w(n)$ [50]:

$$h_w(n) = w(n) \times h(n), n \in \mathbb{Z}.$$

1.7.3. Vilnelių transformacija

Bangų transformacija skaido signalą į pagrindines funkcijas, žinomas kaip bangos. Įvairių signalų segmentų bangų tikslumas, skirtingu dažniu, apskaičiuojamas atskirai, todėl atliekama daugialypės skyros analizė (MRA). Šios bangos naudojamos pagal klasės rezultatų tipą. Ši technika bando nustatyti bendrą EKG signalo tendenciją. Įgyvendinant MRA, naudojamas „Shensa“ algoritmas, kuris atitinka stacionariųjų bangų transformacijos (SWT) apskaičiavimą. Šis metodas naudojamas pradiniam triukšmui nustatyti ir pašalinti. Norint nustatyti triukšmą, naudojant šį metodą, apskaičiuojami EKG signalo SWT su K skilimo lygiai. Tada visi koeficientai pasiekiami iki nulio ir sukuriami nauja seka. Apskaičiuojamas naujos sugeneruotos sekos atvirkštinis SWT ir tada gaunamas pradinis įvertinimas. Šis metodas suteikia gerą laiko skiriamąją gebą ir prastą dažnio skiriamąją gebą aukštaisiais dažniais, gerą dažnių skiriamąją gebą ir blogą laiko skiriamąją gebą žemuose dažniuose. Šios daugialypės skiriamosios gebos analizės savybės leidžia geriau naudoti signalus, turinčius aukšto dažnio komponentus trumpai, o žemą dažnį – ilgą laiką [50].

1.7.4. Slenkamojo vidurkio filtras

Slenkamojo vidurkio filtras yra paprastas žemų dažnių FIR filtras, paprastai naudojamas norint išlyginti imamų duomenų / signalo masyvą. Jis imasi įvesties pavyzdžių vienu metu ir paima tų pavyzdžių vidurkį ir sukuria vieną išvesties tašką. Tai yra labai paprasta LPF (žemo dažnio filtro) struktūra, kuri yra naudinga mokslininkams ir inžinieriams, norint išfiltruoti nepageidaujamą triukšmingą komponentą iš dominančių duomenų.

Didėjant filtro ilgiui (parametras), išvesties glotnumas didėja, o staigūs duomenų perėjimai tampa vis niūresni. Tai reiškia, kad šis filtras turi puikų laiko domeno atsaką, bet silpną dažnio atsaką [51].

Srauto duomenų slenkamasis vidurkis apskaičiuojamas su baigtiniu slenkančiu langu [Adaptuota pagal 52]:

$$movAvg = \frac{x[n] + x[n - 1] + \dots + x[n - N]}{N + 1}$$

1.7.5. Medianinis filtras (angl. *Median Filter*)

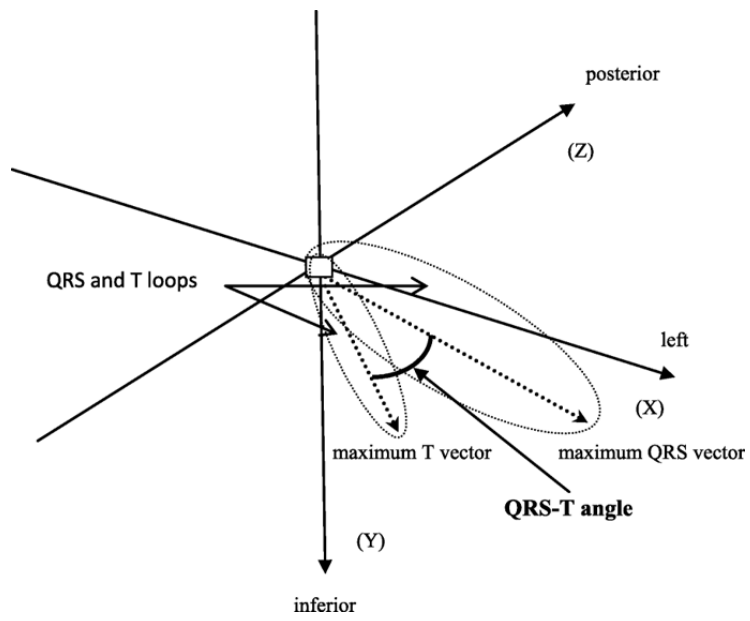
Medianinis filtras yra netiesinis filtras, naudojamas signalo išlyginimui. Tai ypač gerai pašalina impulso tipo triukšmą iš signalo. Yra daugybė šio filtro variantų, o DSP sistemose, kad būtų pašalintas triukšmas ir dėmelės iš vaizdų, dažnai naudojamas dvimatis variantas [53].

1.7.6. Baterforto užtvarinis filtras (angl. *Butterworth notch*)

Nuolatiniam MEG duomenų segmentui (sumaišytam su imituojamu linijos triukšmu) buvo pritaikytas 4-osios eilės Baterforto užtvarinis filtras (nulinės fazės dviejų pralaidų). 48-52 Hz dažnių diapazonas buvo naudotas sintetiniams bandymo signalams ir MEG duomenims su imituojamu svyruojančiu elektros linijos triukšmu. Prie staigaus MEG duomenų pridėto elektros tinklo triukšmo įjungimo ir pašalinimo buvo naudojamas 38-62 Hz dažnių diapazonas (apibrėžtas vieno praėjimo atveju). Tas pats filtras buvo taikomas ištisiniams EMG duomenų segmentams. Čia, siekiant atsižvelgti į EMG linijos triukšmo pobūdį, ribinės juostos dažnis buvo tarp 47-53 Hz (apibrėžtas vieno praėjimo atveju) ir atitinkamų harmonijų iki 500 Hz ($\Delta = \pm 3$ Hz) [54].

1.8. QRS-T kampas

Laikui bėgant buvo pastebėta, kad naudojant EKG duomenis ir jų kombinacijas galima įvertinti ir sudėtingesnes širdies anomalijas kaip ūminį miokardo infarktą, bendrą širdies nepakankamumą ar koronarinę širdies ligą [55]. Pastaruoju metu vis daugiau dėmesio skiriama erdviniam QRS-T kampui. Jis apibrėžiamas, kaip erdvinis kampas tarp QRS ir T bangų, kuris nusako skirtumus tarp skilvelių susitraukimo ir atsipalaidavimo. Žinoma, kad šios ašys EKG rodomos naudojant 3D 360 laipsnių vaizdą [56]. Mokslininkai nustatė, kad sveiko žmogaus QRS-T vertė svyruoja nuo 0 iki 90°, o padidėjęs šis kampas prognozuoja blogą širdies veiklą [57] (1.23 pav.).



1.23 pav. QRS-T kampas [58]

2. Reikalavimų specifikacija

2.1. Suinteresuoti asmenys

2.1.1. Užsakovas

Projekto užsakovas yra prof. dr. Vaidotas Marozas, KTU, Biomedicininės inžinerijos instituto direktorius. Užsakovas atsakingas už projekto reikalavimų pateikimą ir jų prioriteto nustatymą.

2.1.2. Pirkėjas

Pirkėjas yra sistemos užsakovas. Pirkėjo informacija - K. Baršausko g. 59-A453, Kaunas 51423, +370 (37) 407118, KTU.

2.1.3. Kiti sprendimus priimančiosios asmenys

LSMU Nefrologijos klinikos gydytojų komanda. Komandoje žmonės taip pat yra pasiskirstę rolėmis. Vieni atsakingi už maisto produktų surinkimą, kartu su jų maistinių medžiagų kiekiais. Kitų atsakomybės yra bendravimas su pacientais ir reikiamos informacijos rinkimas, kuri gali būti reikalinga projektui.

2.1.4. Vartotojai

Tai asmenų, kurie betarpiškai naudosis sistema, sąrašas. Kiekvienai vartotojų kategorijai reikia nurodyti šią informaciją:

- Vartotojo kategorija – pacientas;
- Vartotojo sprendžiami uždaviniai - pacientas gali registruoti suvartotus maisto produktus ar vaistus. Patyręs stresą ar susirgęs pacientas taip pat galės užregistruoti ir savo savijautą. Pacientas gali stebėti savo širdies ritmą, matyti priminimus apie reikalingų vaistų vartojimą;
- Patirtis dalykinėje srityje – patirtis nėra reikalinga;
- Patirtis informacinėse technologijose –visų pacientų IT žinios yra skirtingos;
- Papildomos vartotojo charakteristikos:
 - fizinės galimybės (negalia);
 - intelektualinės galimybės (negalia);
 - požiūris į darbą;
 - požiūris į IT;
 - apsimokymo poreikis;
 - kalbos įgūdžiai;
 - amžiaus grupė;
 - liga.

- Vartotojo kategorija – gydytojas;
- Vartotojo sprendžiami uždaviniai - gydytojas gali stebėti pacientų užregistruotus maisto produktus bei, esant poreikiui, juos redaguoti. Gydytojas pacientams gali priminti apie reikiamus vizitus, vaistų vartojimą;
- Patirtis dalykinėje srityje – gydytojas yra specialistas;
- Patirtis informacinėse technologijose – gydytojai dažniausiai yra geriau nei vidutiniškai susipažinę su IT;

- Papildomos vartotojo charakteristikos:
 - požiūris į darbą;
 - požiūris į IT;
 - apsimokymo poreikis.
- Vartotojų prioritetai - kiekvienai vartotojų grupei rekomenduojama suteikti prioritetą. Tai gali būti:
 - Pacientai - jų nuomonė ir pageidavimai svarbiausi;
 - Antraeiliai gydytojai - jei kyla konfliktas su pirmąja grupe – jų nuomonė turi didesnę įtaką;

2.2. Projekto apribojimai

Projekte dirba daugybė skirtingų sričių specialistų, todėl tai pristabdo projekto kūrimą. Reikalingas ypač tikslus informacijos suderinamumas. Dauguma srities specialistų neturi patirties dirbant prie projektų, kur egzistuoja ir informacinės sistemos projektavimas.

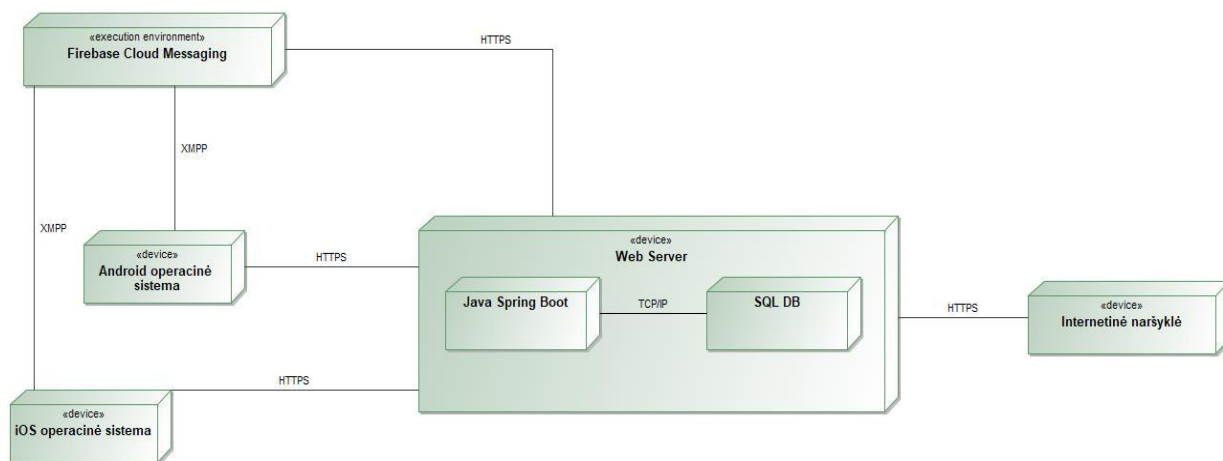
2.2.1. Apribojimai sprendimui

Sistemos serverio dalis, kurioje yra visi REST API, turi būti parašyta JAVA programavimo kalba, kadangi užsakovų turimi serveriai gali palaikyti šia kalba parašytą kodą. Taip pat ateityje esant poreikiui institute yra žmonių, kurie gebėtų sistemoje šia kalba daryti pakeitimus. Užsakovo serveris turi jau paruoštą konfigūraciją, todėl galima talpinti paruoštus konteinerius. Antras reikalavimas yra naudoti PostgreSQL – užsakovas, savo serveryje, turi šios duomenų bazės konfigūraciją. Taip pat ši duomenų bazė yra atviro kodo.

Kuriama kliento programinė įranga būtinai turi veikti su „Android“ operacine sistema, kadangi projektui yra nupirktos „Android“ operacinę sistemą turinčios planšetės. Pagal projekto planus, sistema planšetėje turi veikti su nemažesne negu 7.1 “Android” versija.

Sistema turi būtinai būti talpinama instituto serveriuose, o ne trečiųjų šalių. Diegimo diagrama pavaizduota 2.1 paveikslėlyje.

2.2.2. Diegimo aplinka



2.1 pav. Sistemos diegimo diagrama

2.2.3. Bendradarbiaujančios sistemos

Sistema komunuos su trečiųjų šalių „Firebase Cloud Messaging“ sistema, kurios paskirtis, šiuo atveju, užtikrinti aktyviuosius pranešimus į mobiliuosius įrenginius. Aktyvieji pranešimai yra siunčiami į mobilias programėles.

2.2.4. Komerciniai specializuoti programų paketai

Sistemos serverio dalis yra parašyta naudojant Spring Boot karkasą. Duomenų bazei valdyti naudojama *PostgreSQL*.

Sistemos serverio dalis kuriama MacOS X aplinkoje naudojant „IntelliJ“ programinę įrangą. Kaip studentas šia programine įranga, edukaciniais tikslais, gali naudotis nemokamai.

Kliento dalis yra kuriama MacOS X aplinkoje, naudojant „Android Studio“ integruotą programavimo aplinką, „Android“ operacinei sistemai ir „Xcode“ integruotą programavimo aplinką, „iOS“ operacinei sistemai. Šie įrankiai yra nuolatos nemokamai atnaujinami.

Kliento ir serverio dalis komunuos tarpusavyje interneto ryšiu, HTTPS protokolu.

REST API integracinių testų užtikrinimui yra naudojamas „Postman“ įrankis. Jis turi nemokamą versiją ir yra labai populiarus tarp REST API naudotojų.

Dirbant tiesiogiai su duomenų baze yra naudojamas „Data Grip“ įrankis. Edukaciniais tikslais yra prieinamas nemokamai.

2.2.5. Numatoma darbo vietos aplinka

Sistemos kūrimo metu darbo aplinka nėra svarbi, tačiau instituto darbuotojai, esant poreikiui, skirdavo asmeninę darbo vietą institute, KTU „Santakos“ slėnyje.

2.2.6. Sistemos kūrimo terminai

Šis magistrinis darbas yra tik nedidelė daug didesnio bendro KTU ir LSMU projekto KidneyLife dalis. Pagal Lietuvos mokslo tarybai KidneyLife pateiktą paraišką, projekto trukmė nurodoma 2018 m. 01 mėn. 02 d. - 2021 m. 12 mėn. 31 d. Prie projekto aš prisijungiau 2018 m. 09 mėn. kai įstojau į magistratūros studijas. Vėliau kaip instituto darbuotojas prie projekto pradėjau dirbti 2020 m. 02 mėn. 01 d.

2.2.7. Sistemos kūrimo biudžetas

Visam projekto įgyvendinimui skirta lėšų suma – 780991.25€. Šie duomenys buvo paimti iš Lietuvos mokslo tarybai pateiktos paraiškos, kuria pateikė projekto vadovas.

2.2.8. Svarbūs faktai ir prielaidos

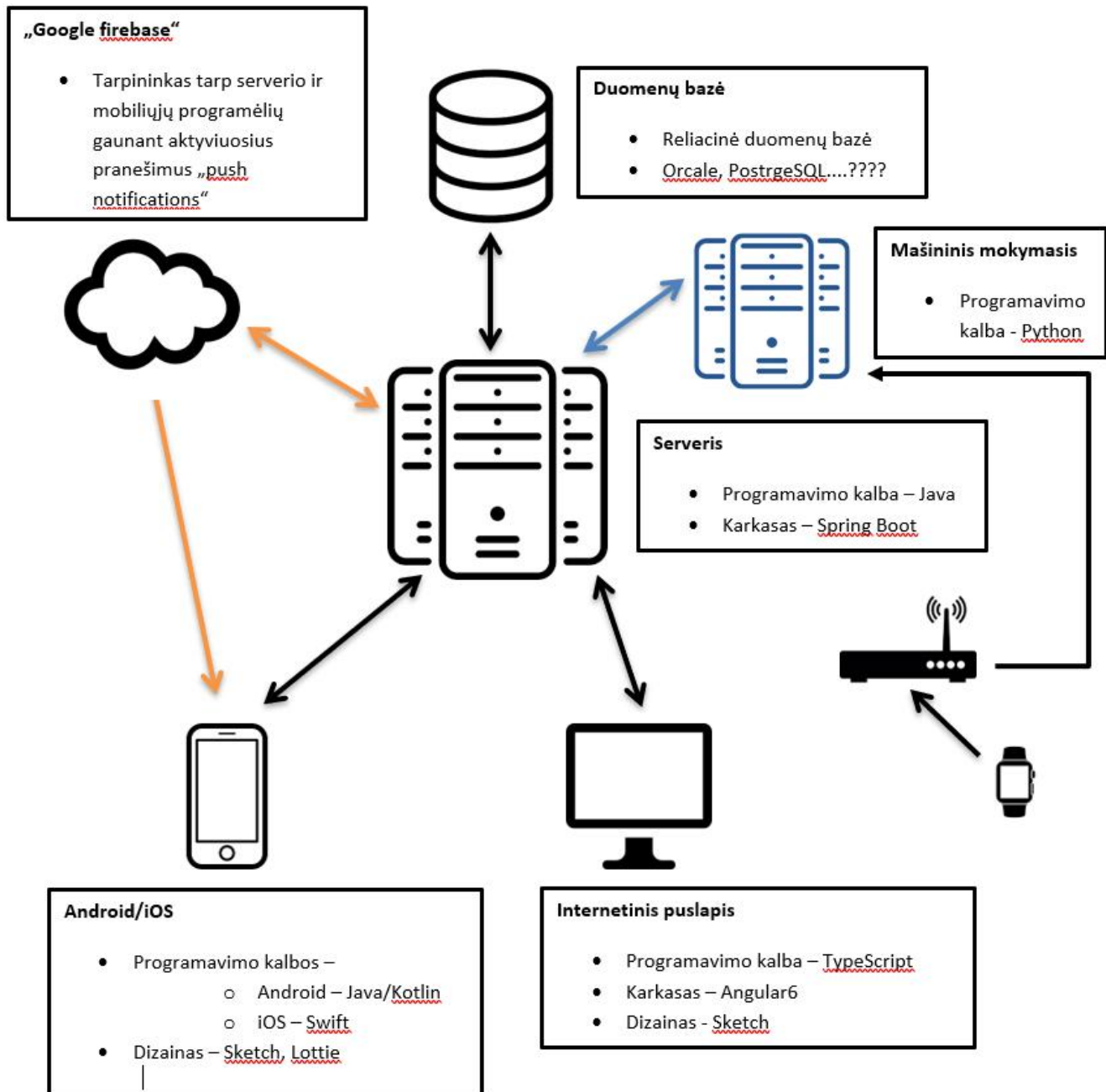
Prielaidos:

- Lėtas signalų perdavimas iš paciento apyrankės;

- Nuolatos pasibaigiantis paciento internetas;
- Nauji reglamentai dėl asmens duomenų saugojimo;
- Dėl mažos komandos patirties dirbant su panašaus pobūdžio projektais, sudėtingas sistemos projektavimas dėl dažnai besikeičiančių reikalavimų.

2.3. Funkciniai reikalavimai

2.3.1. Veiklos kontekstas



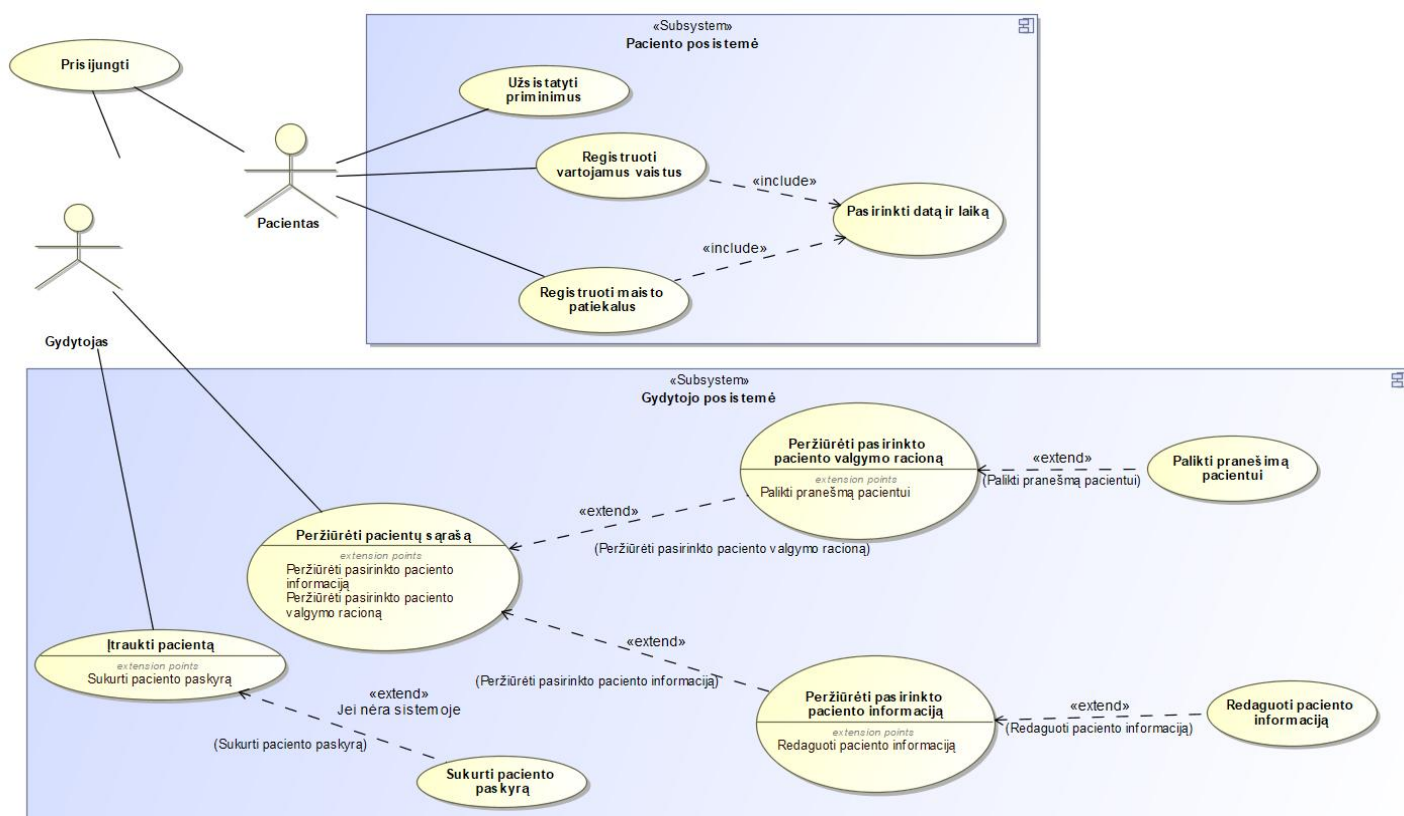
2.2 pav. Sistemos veiklos kontekstas

2.3.2. Veiklos padalinimas

- Vartotojo įvedimas ką valgė, kokius vaistus vartojo;
- Gydytojas gali peržiūrėti vartotojo suvestą valgytą maistą, suvartotus vaistus;

- Pastabas bei rekomendacijas vartotojui, gydytojas gali išsiųsti telefonu, elektroniniu paštu, aktyviuoju pranešimu;
- Vartotojas gali užsistatyti priminimus;
- Gydytojas vizualiai gali matyti kiekvieno žmogaus duomenis gautus iš laikrodžio;
- Gydytojas mato mašininio mokymosi pateiktus rezultatus;
- Prisijungimas prie sistemos, kad vartotojas ar gydytojas būtų atpažintas;
- Tyrėjas gali sugeneruoti ataskaitą apie pacientą;
- Tyrėjas gali suvesti papildomus duomenis apie pacientą.

2.3.3. Panaudos atvejai



2.3 pav. Panaudos atvejų diagrama

2.3.4. Panaudos atveju sąrašas

2.1 lentelė “Užsistatyti priminimus” panaudos atvejais

1. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Užsistatyti priminimus

Vartotojas/Aktorius: Pacientas

Aprašas: Pacientas gali savarankiškai užsistatyti jam priimtinus priminimus

Prieš sąlyga: Pacientas yra prisijungęs į sistemą

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Sistemoje nustatytas naujas priminimas

2.2 lentelė “Registruoti vartojamus vaistus” panaudos atvejis

2. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Registruoti vartojamus vaistus

Vartotojas/Aktorius: Pacientas

Aprašas: Pacientas gali registruoti kada ir kokius vaistus vartojo

Prieš sąlyga: Pacientas yra prisijungęs į sistemą ir pasirinkęs tinkamą registravimo kategoriją

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Sistema atidaro pacientui patvirtinimo langą

2.3 lentelė “Registruoti maisto produktus” panaudos atvejis

3. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Registruoti maisto produktus

Vartotojas/Aktorius: Pacientas

Aprašas: Pacientas gali registruoti kada ir kokius maisto produktus vartojo

Prieš sąlyga: Pacientas yra prisijungęs į sistemą ir pasirinkęs tinkamą registravimo kategoriją

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Sistema atidaro pacientui patvirtinimo langą

2.4 lentelė “Pasirinkti datą ir laiką” panaudos atvejis

4. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Pasirinkti datą ir laiką

Vartotojas/Aktorius: Pacientas

Aprašas: Pacientas gali pasirinkti savo laiką ir datą, negu siūlo sistema

Prieš sąlyga: Pacientas yra prisijungęs į sistemą ir pasirinkęs tinkamą registravimo kategoriją

Apimami PA: Pasirinkti datą ir laiką

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Sistemoje užregistruotas naujas suvartotas maisto produktas ar vaistas

2.5 lentelė “Įtraukti pacientą” panaudos atvejis

5. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Įtraukti pacientą

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali įtraukti pacientą į sistemą

Prieš sąlyga: Gydytojas atsidaręs pacientų langą

Išplečiami PA: Sukurti paciento paskyrą

Sužadinimo sąlyga: Sukurta nauja paciento paskyra

Po-sąlyga: Į sistemą įtrauktas pacientas

2.6 lentelė “Sukurti paciento paskyrą” panaudos atvejis

6. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Sukurti paciento paskyrą

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali sukurti naują paciento paskyrą

Prieš sąlyga: Gydytojas atsidaręs pacientų langą

Išplečiami PA: Sukurti paciento paskyrą

Sužadinimo sąlyga: Sukurta nauja paciento paskyra

Po-sąlyga: Į sistemą įtrauktas pacientas

2.7 lentelė “Peržiūrėti pacientų sąrašą” panaudos atvejis

7. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Peržiūrėti pacientų sąrašą

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali peržiūrėti visą pacientų sąrašą

Prieš sąlyga: Gydytojas atsidaręs pacientų langą

Išplečiami PA: Peržiūrėti pasirinkto paciento valgymo racioną; peržiūrėti pasirinkto paciento informaciją

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Peržiūrėtas pacientų sąrašas

2.8 lentelė “Peržiūrėti pasirinkto paciento valgymo racioną” panaudos atvejis

8. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Peržiūrėti pasirinkto paciento valgymo racioną

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali peržiūrėti pasirinkto paciento išsamų maisto racioną

Prieš sąlyga: Gydytojas atsidaręs pacientų langą

Išplečiami PA: Palikti pranešimą pacientui

Sužadinimo sąlyga: Pasirenkamas pacientas iš sąrašo

Po-sąlyga: Peržiūrėtas pasirinkto paciento maisto racionas

2.9 lentelė “Peržiūrėti pasirinkto paciento informaciją” panaudos atvejis

9. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Peržiūrėti pasirinkto paciento informaciją

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali peržiūrėti pasirinkto paciento išsamią informaciją

Prieš sąlyga: Gydytojas atsidaręs pacientų langą

Išplečiami PA: Redaguoti paciento informaciją

Sužadinimo sąlyga: Pasirenkamas pacientas iš sąrašo

Po-sąlyga: Peržiūrėtas pasirinkto paciento informacija

2.10 lentelė “Redaguoti paciento informaciją” panaudos atvejis

10. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Redaguoti paciento informaciją

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali redaguoti pasirinktą paciento informaciją

Prieš sąlyga: Gydytojas pasirinkęs pacientą

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Atnaujinta paciento informacija

2.11 lentelė “Palikti pranešimą pacientui” panaudos atvejis

11. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Palikti pranešimą pacientui

Vartotojas/Aktorius: Gydytojas

Aprašas: Gydytojas gali palikti pacientui pranešimą su rekomendacijomis

Prieš sąlyga: Gydytojas pasirinkęs pacientą

Sužadinimo sąlyga: -

Po-sąlyga: Pranešimas išsiųstas

2.3.5. Funkciniai reikalavimai

2.12 lentelė Pirmas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas #:</u>	<i>1</i>	<u>Reikalavimo tipas:</u>	<i>1</i>	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis #:</u>	<i>1</i>
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi pranešti gydytojui, jei paciento būklė pradeda prastėti				
<u>Pagrindimas:</u>	<i>Gydytojas</i> Nestebi paciento būklės visą parą, todėl reikalinga sistema, kuri stebėtų ją ir praneštų gydytojui.				
<u>Šaltinis:</u>	<i>Užsakovas</i>				
<u>Tikimo kriterijus:</u>	Sistema informuoja gydytoją, jei yra nuokrypių nuo nustatytų normų.				
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	<i>2</i>	<u>Užsakovo netenkinimas:</u>	<i>5</i>		
<u>Priklausomybės:</u>	<i>Nėra</i>	<u>Konfliktai:</u>	<i>Nėra</i>		
<u>Papildoma medžiaga:</u>	<i>Užsakovo pateiktas aparatas</i>				
<u>Istorija:</u>	<i>Užregistruotas 2018 spalio 18 d.</i>				

2.13 lentelė Antras funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas #:</u>	<i>2</i>	<u>Reikalavimo tipas:</u>	<i>2</i>	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis #:</u>	<i>2</i>
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi siųsti prognozes apie paciento sveikatą				
<u>Pagrindimas:</u>	Sistema gali paprasčiau susekti ką pacientas valgė ir kokie prognozuojami sveikatos sutrikimai ar pagerėjimai				
<u>Šaltinis:</u>	<i>Užsakovas</i>				
<u>Tikimo kriterijus:</u>	Sistema informuoja gydytoją, apie prognozuojamus sveikatos sutrikimus				
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	<i>1</i>	<u>Užsakovo netenkinimas:</u>	<i>5</i>		
<u>Priklausomybės:</u>	<i>Nėra</i>	<u>Konfliktai:</u>	<i>Nėra</i>		
<u>Papildoma medžiaga:</u>	<i>-</i>				
<u>Istorija:</u>	<i>Užregistruotas 2018 spalio 22 d.</i>				

2.4. Nefunkciniai reikalavimai

2.4.1. Reikalavimai sistemos išvaizdai

Bendri reikalavimai vartotojo sąsajai. Pavyzdžiui:

- lengvai skaitoma sąsaja;
- paprastas (nesudėtingas) panaudojimas;
- prieinamumas, kad vartotojas nesivaržytų naudodamas sistemą;
- atitinkantis kitus vartotojo naudojamus produktus (pavyzdžiui, Lotus Notes tipinės sąsajos imitavimas);
- balta ir mėlynos spalvos;
- neįkyri sąsaja (pavyzdžiui, nereikalaujanti pastoviai ką nors kelis kartus patvirtinti);
- medicininiai elementai;
- padidintas šriftas;
- „dropdown“ pakeisti į paveikslukus;
- Sąveika dažniau valdoma per paveikslukus, nei per tekstą;
- Gyvos animacijos.

Kuriant vartotojo sąsaja bus naudojami prototipai ir komentarai, kurie pabrėžia „iOS“ ir „Android“ vartotojų įpročius, kurie buvo gauti iš užsakovo raštu. Pagal turimus užrašus, buvo padaryti prototipai ir pagal užsakovo pastabas pataisyti taip, kad atitiktų jų lūkesčius ir poreikius. Jei prototipe nebuvo nurodytas konkretus langas, jį, kad atitiktų bendrąją tematiką, reikėjo pritaikyti pagal turimų prototipų elementus ir struktūrą.

2.4.2. Reikalavimai panaudojamumui

- Turi būti pritaikyta prastai matantiems žmonėms (padidintas šifras), kadangi dauguma vartotojų yra senyvo amžiaus žmonės. Visgi tai turi išlikti patrauklu ir jauniems žmonėms. Gydytojams turi būti paprastas ir aiškus valdymas, pagal pateiktus „iOS“, „Android“ ir Web standartus;
- Galimas anglų ir lietuvių kalbų pasirinkimas;
- Integruota galimybė klausytis parašyto teksto, sunkiau matantiems žmonėms;
- Sėkmingas pasinaudojimas iš pirmo karto;
- Naudoti įprastus UX šablonus, plačiai paplitusius kituose PĮ;
- Turi būti naudojama taisyklinga kalba, be žargonų, kad žmonės suprastų apie ką kalbama ir neįsižeistų;
- Telefono papurtymas – skambina gydytojui (nereikia ieškoti numerio), pagreitina ranka įvedamus procesus.

2.4.3. Reikalavimai vykdymo charakteristikoms

- Sistema turi teisingai komunikuoti duomenis tarp sistemos ir kliento prie bet kokių sąlygų;
- Pasiekiamumas – 100 proc.;
- Patikimumas – sistema neturi atsijungti dėl per didelio duomenų srauto, tačiau turi kaupti įvykusias klaidas į žurnalą;
- Sistema turi pranešti vartotojui apie interneto trikdžius tiek iš kliento, tiek iš serverio pusės. Turi neatlikti nereikalingų veiksmų esant šiems trikdžiams;
- Sistema turi apdoroti vienu metu daugiausiai 5000 vartotojų. Prie tokio srauto sistema neturi

„nulūžti“ ar veikti lėčiau;

2.4.4. Reikalavimai sistemos priežiūrai

- Privaloma kuo greičiau ištaisyti atsiradusias klaidas;
- Sistemos serverio dalis turi būti lengvai perkeliama prie kitų serverių;
- Reikia atsakyti į darbuotojų ir vartotojų klausimus iškilusius dėl sistemos;
- Sistema turi būti nuolat atnaujinama pagal naujausias OS versijas;

2.4.5. Reikalavimai saugumui

- Sistemoje esantys duomenys apsaugoti nuo neteisėtos prieigos;
- Sistemos duomenys vienareikšmiškai atitinka šaltinio perduotus (iš jo gautus) duomenis, kartu užtikrinant jų panaudojimo teisėtumą;
- Negalimas serverio bendravimas su nepatvirtintomis trečiosiomis šalimis;
- Serveris neturi saugoti jokios sesijos informacijos. Tai vienas iš sudėtingiausių reikalavimų ir, be to, susijęs su didele rizika, jei jo nepaisoma.

Reikia išskirti tris saugumo aspektus:

- konfidencialumas – sistemoje esantys duomenys apsaugoti nuo neteisėtos prieigos;
- vientisumas (angl. *integrity*) – sistemos duomenys vienareikšmiškai atitinka šaltinio perduotus (iš jo gautus) duomenis, kartu užtikrinant jų panaudojimo teisėtumą;
- pasiekiamumas – galimybė teisėtiems vartotojams per fiksuotą laiką pasinaudoti duomenimis.

2.4.6. Kultūriniai – politiniai reikalavimai

- Sistemoje negalima naudoti ką nors įžeidžiančių terminų ar iliustracijų;
- Pagal pasirinktą kalbą arba tautybę sistema turi pasveikinti su valstybinėmis tos šalies šventėmis.

2.4.7. Teisiniai reikalavimai

- Vartotojui turi būti leidžiama pasirinkti, kad jo duomenys būtų ištrinti iš sistemos serverių (GDPR įstatymas);
- Vartotojas turi būti supažindinamas su renkama informacija (GDPR įstatymas);
- Vartotojas turi sutikti su sistemos taisyklėmis prieš pradėdamas ja naudotis.

3. Sistemos projektas

3.1. Įvadas

Sistemos projekto paskirtis skirta laikytis nustatytų projekto standartų, suprasti kaip panaudoti esamus komponentus, kaip atlikti integraciją ir žinoti, kokie duomenys yra tikrinami bendraujant su sistema.

Dokumento naudotojai galės perprasti kokie sprendimai yra priimti kuriant programinę sistemą, sugebės identifikuoti esminius sistemos principus ir atskirti naudojamą sistemos posistemę, o prireikus integruoti naujas, laikantis nustatytos architektūros.

Šiame skyriuje yra pateikiami sistemos aspektai.

3.2. Sistemos architektūra

3.2.1. Architektūros tikslai ir apribojimai

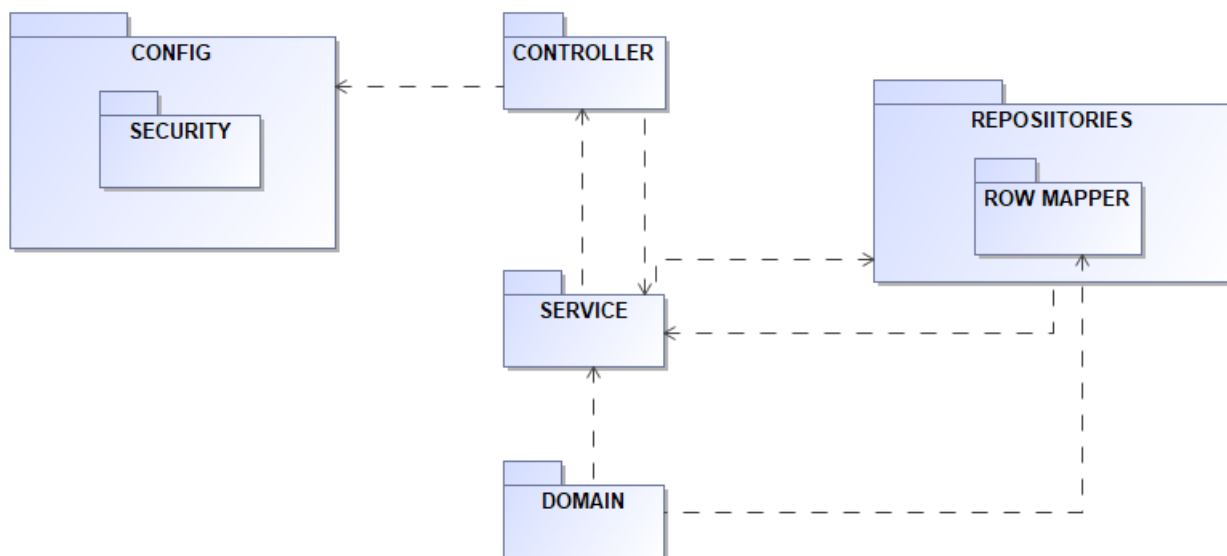
Architektūros tikslas nėra sugalvoti kažką naujo ir eksperimentuoti. Tikslas yra pritaikyti plačiai naudojamus architektūrinius modelius ir technologijas, kad kiekvienas prisidėsiantis prie sistemos tobulinimo ir plėtojimo galėtų pasinaudodamas dokumentacija suprasti, koku principu veikia tam tikri sistemos komponentai.

Sistemos kliento dalis bendrauja tiesiai per HTTP protokolą sudarant REST API. Šis sprendimas visiškai atskiria kliento dalį nuo serverio dalies. Taip pat šis sprendimas yra geras tuo, kad bet kuris klientas gali naudoti esamą API be jokių pakeitimų. Galimas labai lankstus serverio dalies perkėlimas į kitus serverius jeigu yra užtikrinamas tinkamas grąžinamas rezultatas nedarant jokių pakeitimų kliento dalyje, taip yra suteikiamas sistemos lankstumas. REST API sprendimas gali būti beveik bet kuria programavimo kalba, todėl tai suteikia lankstumo kuriant naujus komponentus rašant kita programavimo kalba ar tiesiog migruojant į kitą programavimo kalbą.

Mobilios programėlės buvo parašytos naudojant „native“ programėlių sprendimą. Sprendimas pasirinktas dėl greitesnio ir stabilesnio sistemos darbo, duomenų apsaugos, paprastesnio testavimo ir vartotojo patirties.

Dėl projekto vadovo iškeltų reikalavimų sistemai pasirinkta reliacinė duomenų bazė.

3.2.2. Sistemos statinis vaizdas



3.1 pav. Sistemos paketų diagrama

Pateikta paketų diagrama 3.1 paveikslėlyje atspindi REST API architektūrą Spring Boot karkase.

„Kontroleris“ yra atsakingas už API URL adreso generavimą ir nukreipimą į gilesnę serverio logiką, t.y. „kontroleris“ skirtas klientui, kadangi jis atsakingas už informacijos atvaizdavimą.

„Service“ atsakingas už visą komponento logiką, kreipimąsi į duomenų bazę su tam tikrais SQL sakiniiais. Taip pat servise įvyksta objektų pakeitimai į kitus ir užklausų nukreipimai į paskirtas vietas.

„Repositorijos“ paketas atsakingas už SQL sulipdymą ir iškvietimą. Šiame pakete galima rasti visas naudojamas SQL užklausas, kurios yra suskirstytos į klases pagal servisu. Taip pat šiame pakete yra pagrindinė logika, kuri atsakinga už bendravimą su duomenų baze.

„ROW mapper“ – iš duomenų bazės gautus įrašus suskirsto pagal domeno paketą, kuriame aprašyti visi objektai ir visa struktūra kas ir kaip turi būti atvaizduojama klientui. Paketo esančių klasių tikslas gautus duomenis iš duomenų bazės sudėti į naudojamus objektus.

Konfigūracijos pakete yra surašyti visi sistemos konfigūraciniai failai tokie kaip kas gali pasiekti vieną ar kitą funkcionalumą, nurodomi tam tikra HTTP protokolų konfigūracija. Pakete yra atskiras saugumo paketas, kuris atsakingas už vartotojų autentifikavimą ir autorizavimą. Esanti logika sugeneruoja vartotojui žetoną pagal kurį jis būna identifikuojamas.

Kaip matote iš klasių diagramos 3.2 paveikslėlis kiekvienas sluoksnis yra atskirame pakete, todėl labai paprasta plėtoti esamą architektūrą. Repositorijos pakete yra „DAO“ klasės, kuriose surašytos visos SQL užklausos. Jos išskirstytos į atskiras klases, kad būtų paprasčiau jas surasti ir panaudoti sistemoje. „RowMapper“ paketas veikia kaip integruotas plėtinys sistemoje, kuris susietas su gaunamais duomenimis iš duomenų bazės.

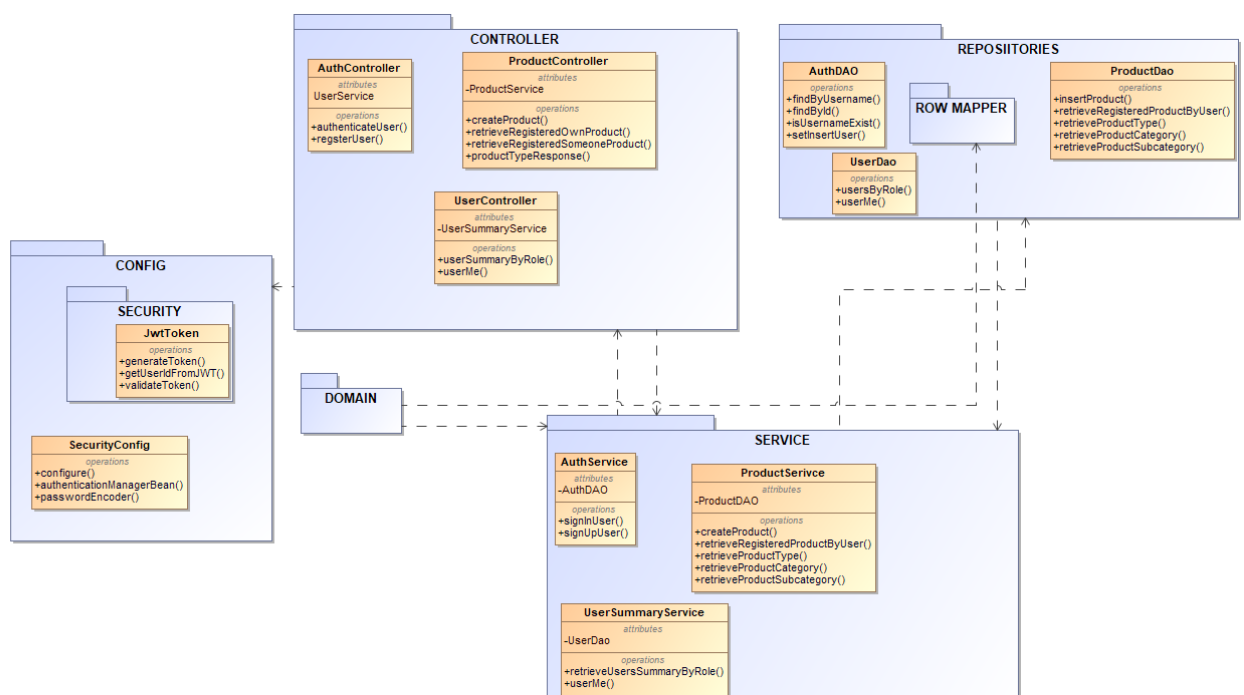
Saugos klasė generuoja ir tikrina žetonus, kurie yra unikalūs ir yra priskirti kiekvienam vartotojui, kad eitų atpažintį ir tinkamai autentifikuoti bei autorizuoti. Taip pat konfigūracijos klasė atsakinga už varduotojų srautų paskirstymą pagal roles, kuri atpažįstama būtent iš žetonų.

„MVVM“ šablonas (3.3 paveikslėlis) yra panaudotas „iOS“ ir „Android“ operacinių sistemų programėlių kūrimui. Šis šablonas pasirinktas dėl naudojamų karkasų, kurie yra pritaikomi būtent šiam šablonui. Vienas iš tokių pavyzdžių „iOS“ operacinėje sistemoje „SwiftUI“ karkasas, kuris skirtas deklaratyviai kurti vartotojo matomus vaizdus.

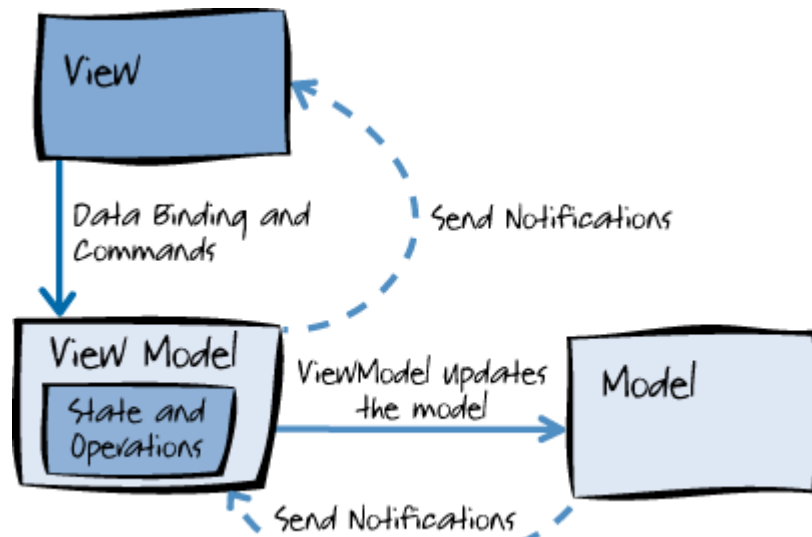
Modelį (angl. *Model*) galime vadinti domeno objektu. Modelis faktinius duomenis parodo kartu su informacija (jei ji reikalinga). Modelį gali sudaryti bet koks pasaulio objektas arba tiesioginio srauto perdavimo charakteristikos. Svarbu paminėti, kad modelyje yra tik informacija, bet ne serviso logika, kuri gali manipuluoti turima informacija.

Vaizdas (angl. *View*) yra tai ką mato vartotojas ir vienintelis dalykas su kuriuo vartotojas iš tikrųjų bendrauja. Kiekvienas vartotojo susidūrimas su vaizdu manipuluoja modelio savybėmis. Visa kodo logika, kuri komponuoja vaizdinius elementus yra atskirta nuo verslo logikos ir modelio savybių.

Vaizdo modelis (angl. *ViewModel*) yra pagrindinė trijų sudedamųjų dalis. Jo paskirtis išlaikyti vaizdo niuansus atskirai nuo modelio. Vaizdo modelis taip pat yra atsakingas už duomenų konvertavimą ir jų apdorojimą. Vienokius duomenis gauna iš vaizdo, tuomet jie apdorojami ir siunčiami į modelį pagal tas taisykles, kuriomis jis yra aprašytas. Iš esmės čia guli visa verslo logika.

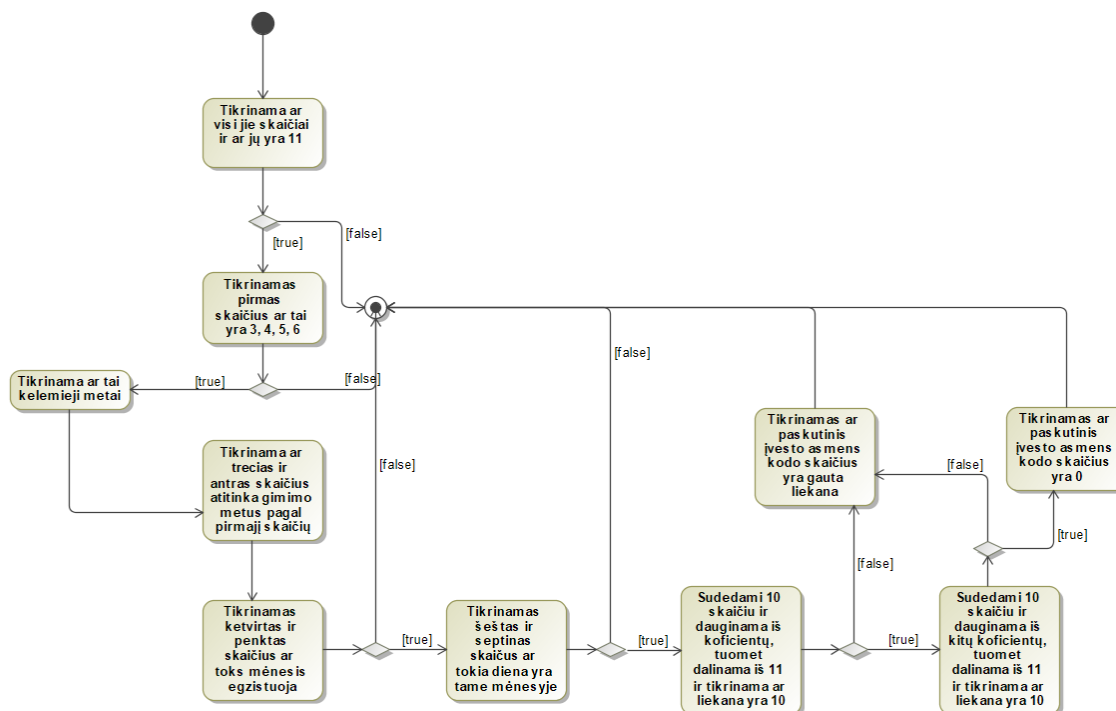


3.2 pav. Sistemos klasių diagrama



3.3 pav. „MVVM“ modelis [59]

3.2.3. Sistemos dinaminis vaizdas

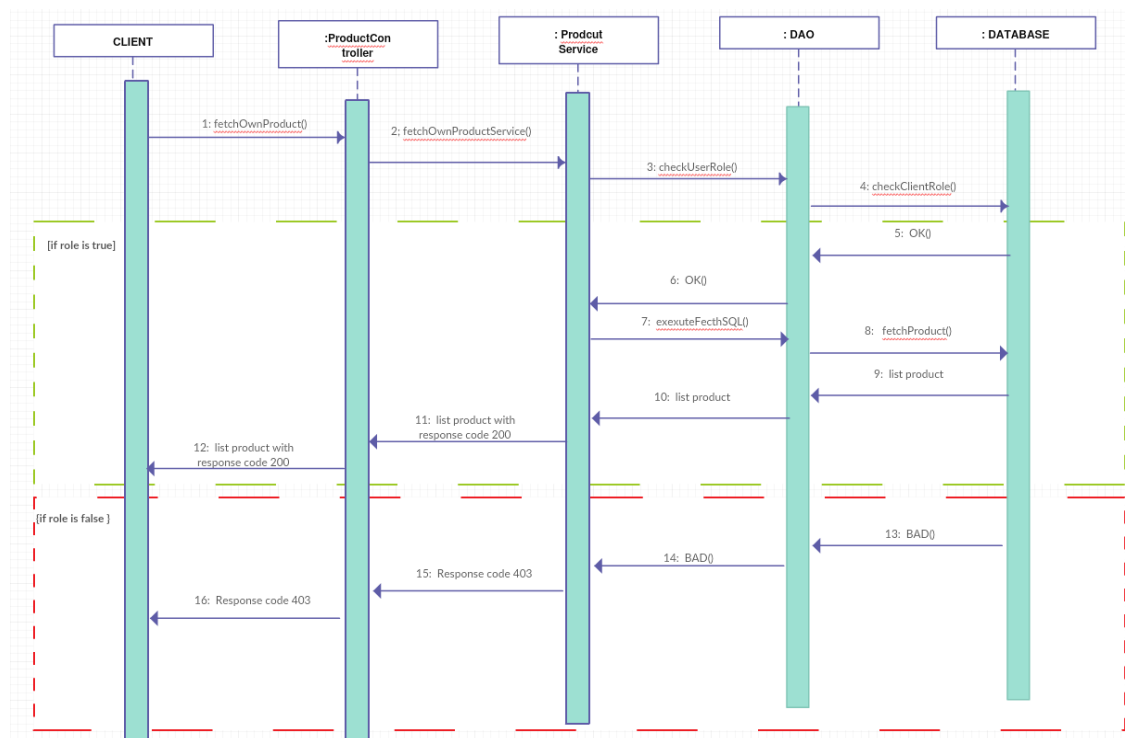


3.4 pav. asmens kodo tikrinimas

Asmens kodo tikrinimas reikalingas padėti gydytojui nesuklysti ir nustatyti ar asmens kodas yra galiojantis. Paveikslėlyje vaizduojama, kad asmens kodo tikrinimas prasideda nuo pirmojo skaitmens, kurio tikslas identifikuoti lytį. Jei pirmas skaitmuo yra tinkamas – tikrinamas mėnesis (4 ir 5 skaičius eilėje), kad nebūtų įvestas 14 ar kitas neegzistuojantis. Toliau tikrinama diena (6 ir 7), kad nebūtų įvesta tarkim birželio 31, kadangi birželis turi 30 dienų. Taip yra patikrinami keliamieji metai ir vasario mėnesis. Priešpaskutiniai trys skaitmenys gali būti atsitiktiniai, tačiau paskutinis skaičius yra gaunamas iš visų 10 turimų asmens kodo skaitmenų. Jis yra išskaičiuojamas pagal koeficientus.

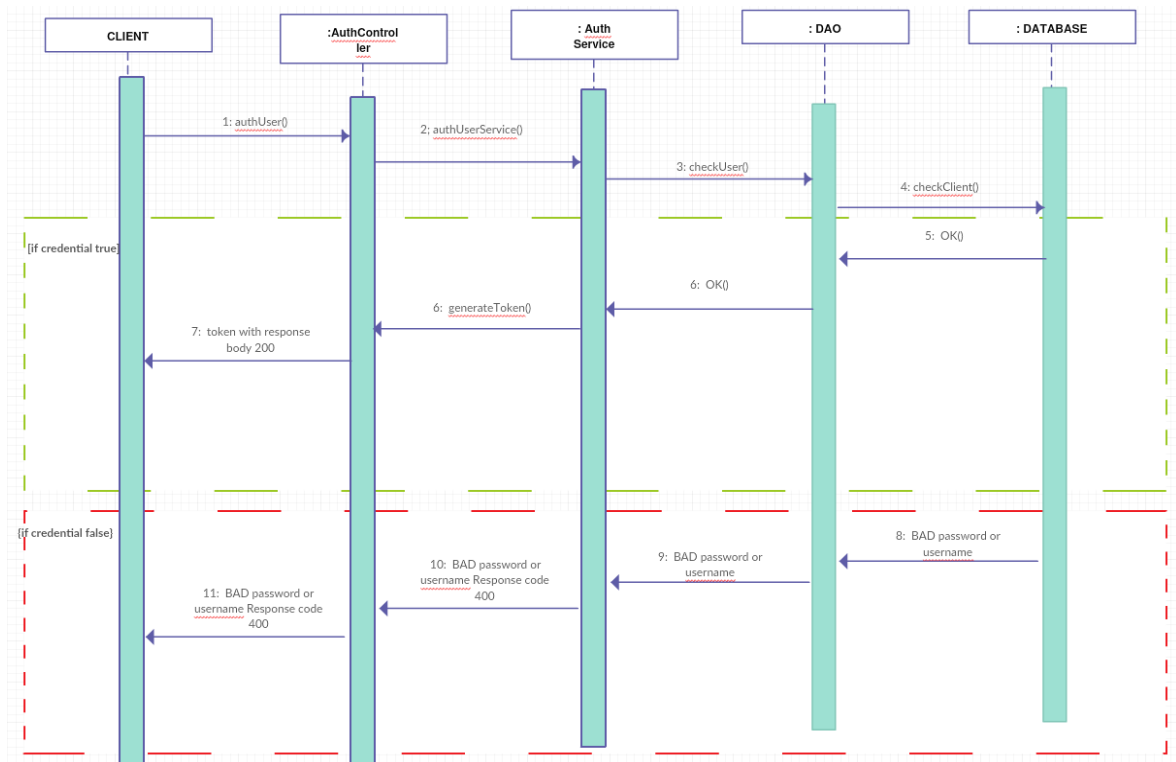
Jei asmens kodas užrašomas QWERTYUIOPL, tai:

$S = Q*1 + W*2 + E*3 + R*4 + T*5 + Y*6 + U*7 + I*8 + O*9 + P*1$ suma S dalinama iš 11, ir jei liekana nelygi 10, ji yra asmens kodo kontrolinis skaičius L. Jei liekana lygi 10, tuomet skaičiuojama nauja suma su tokiais svertiniais koeficientais: $S = Q*3 + W*4 + E*5 + R*6 + T*7 + Y*8 + U*9 + I*1 + O*2 + P*3$ ši suma S vėl dalinama iš 11, ir jei liekana nelygi 10, ji yra asmens kodo kontrolinis skaičius L. Jei vėl liekana yra 10, kontrolinis skaičius L yra 0. Pateiktame 3.4 paveikslėlyje, matoma veiklos diagrama kuri vaizduoja kaip veikia asmens kodo algoritmo tikrinimas.



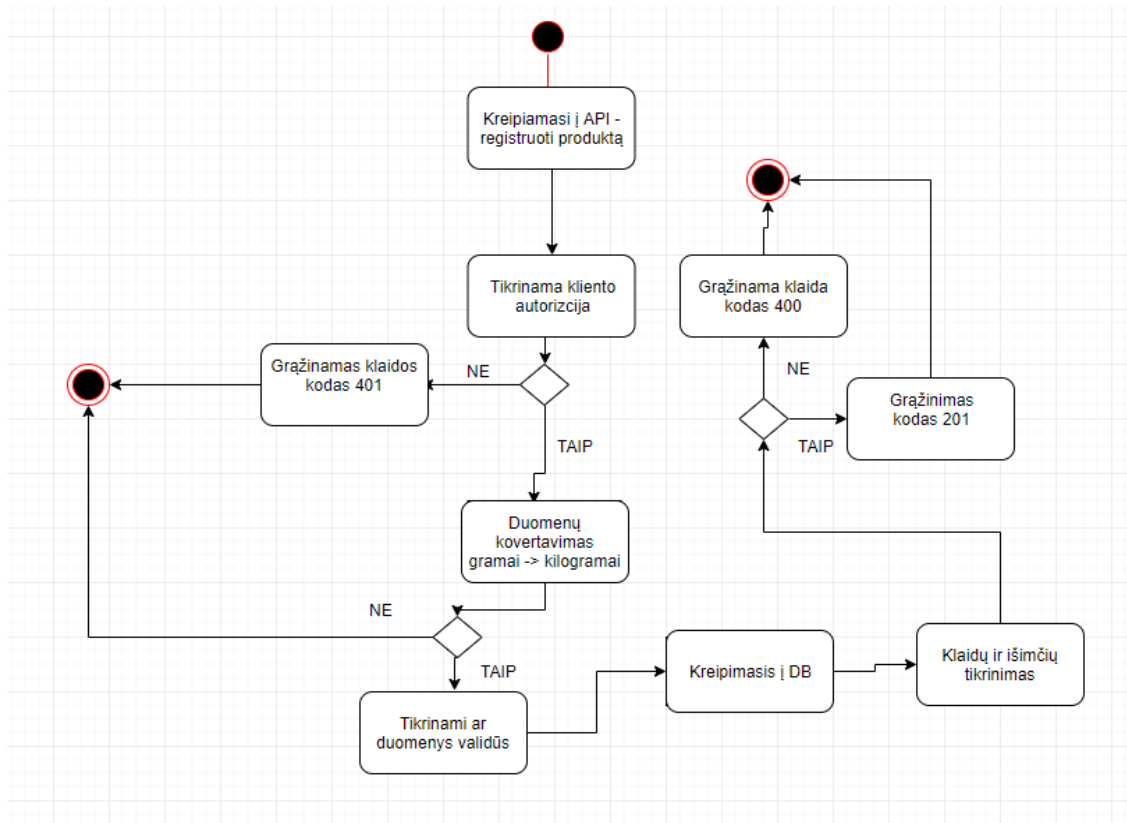
3.5 pav. Registruotų produktų atvaizdavimas sekų diagrama

Registruotų duomenų grąžinimas priklauso nuo kliento turimos rolės. Pacientas gali matyti tik savo registruotus duomenis, o gydytojas gali matyti visų pacientų registruotus duomenis. Gydytojas turi pasirinkti kurio paciento duomenis nori matyti, priešingai nei pacientas, nes sistema identifikuoja asmenį ir taip užtikrinamas konfidencialumas. Sekų diagrama šiai funkcijai pateikta 3.5 paveikslėlyje.



3.6 pav. Žetono generavimas sekų diagrama

Vartotojui prisijungus į sistemą yra sugeneruojamas žetonas, pagal kurį, pasikreipus į sistemą, vartotojas būna identifikuojamas. Kreipiantis be žetono į sistemą informacija nėra pasiekama. Sekų diagrama šiai funkcijai pateikta 3.6 paveikslėlyje.

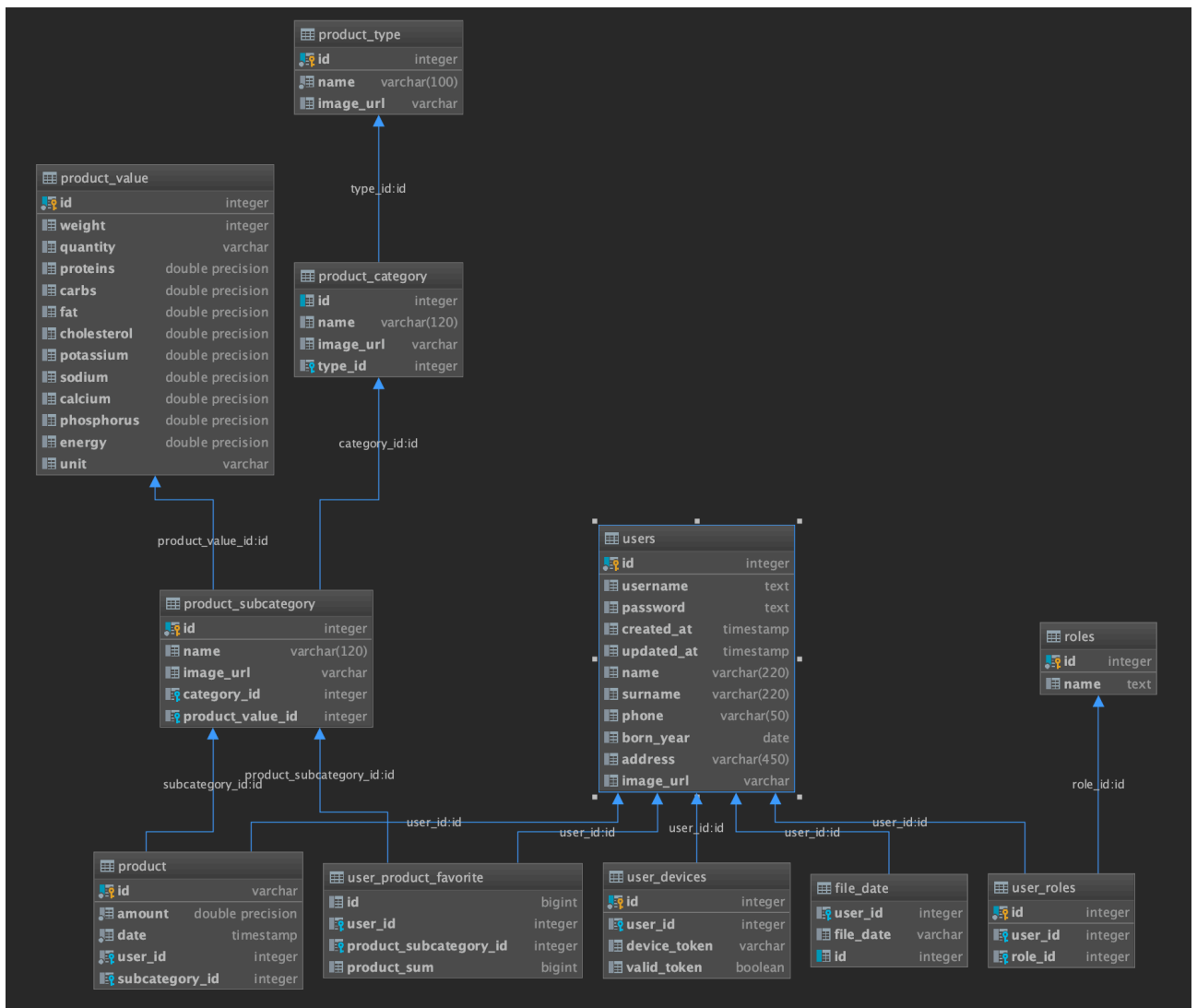


3.7 pav. Produktų registravimas veiklos diagrama

Paciento produktų ar vaistų registracija ganėtai paprasta ir pateikta 3.7 paveikslėlyje. Pacientas pagal paveikslėlius pasirenką norimą registruoti produktą, tuomet, jeigu reikia, yra pakeičiama produkto suvartojimo data, nes priešingu atveju data bus realus laikas. Taip pat yra pasirenkamas kiekis, kiek buvo suvartota pasirinkto produkto ir užklausa išsiunčiama.

3.2.4. Duomenų modelis

Projekto metu buvo sukurtos reliacinės duomenų bazės lentelės. Duomenų modelis pateiktas 3.8 paveikslėlyje.



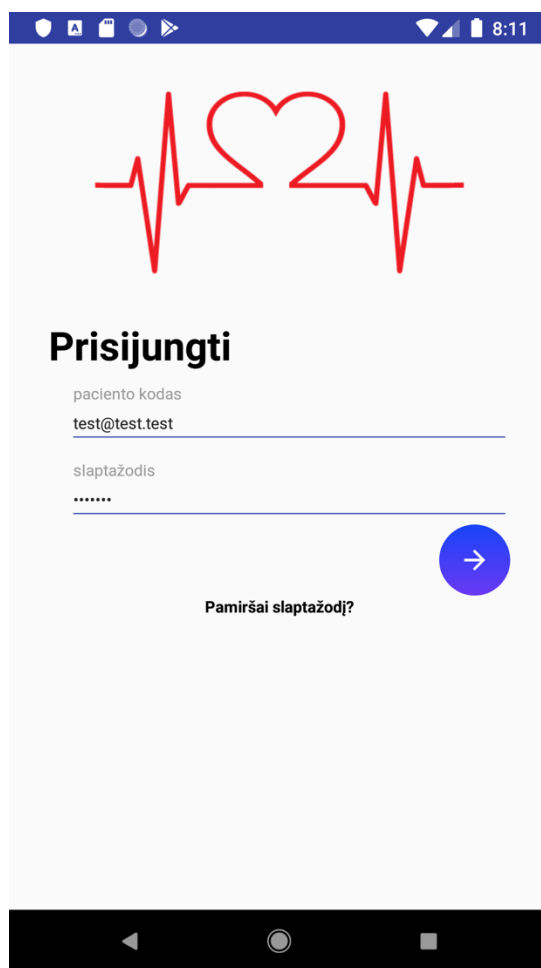
3.8 pav. Sistemos duomenų bazės diagrama

3.2.5. Rezultatas

Šiame poskyryje yra pateikti sistemos vartotojo sąsajos vaizdai.

Prisijungimo langas yra skirtas gydytojui arba pacientui prisijungti į sistemą. Prisijungimo langas atsiranda atsidarius programėlę.

Pacientui užtenka prisijungti viena kartą ir toliau prisijungimas vyksta automatiškai, priešingai nei gydytojui, kuriam šį veiksmą reikia atlikti kiekvieną kartą. Programėlės prisijungimo langas pavaizduotas 3.9 paveikslėlyje, o internetinio puslapio – 3.10 paveikslėlyje.



3.9 pav. Programėlės prisijungimo ekranas

Prisijungimas

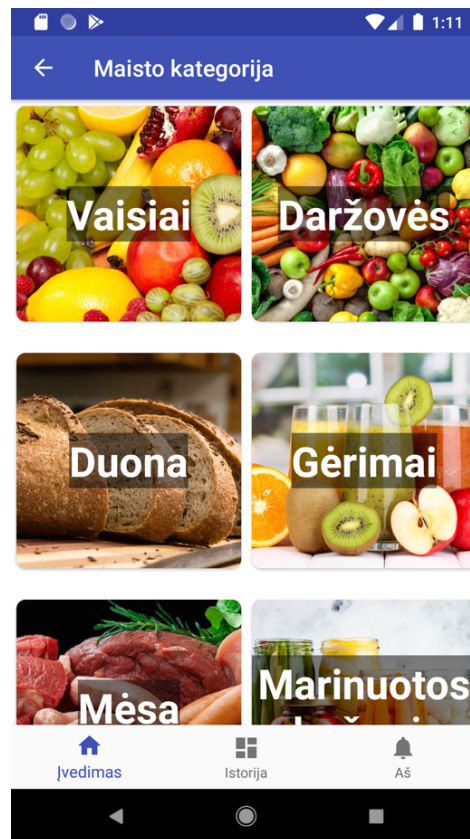
Vartotojo vardas

Slaptažodis

Prisijungti

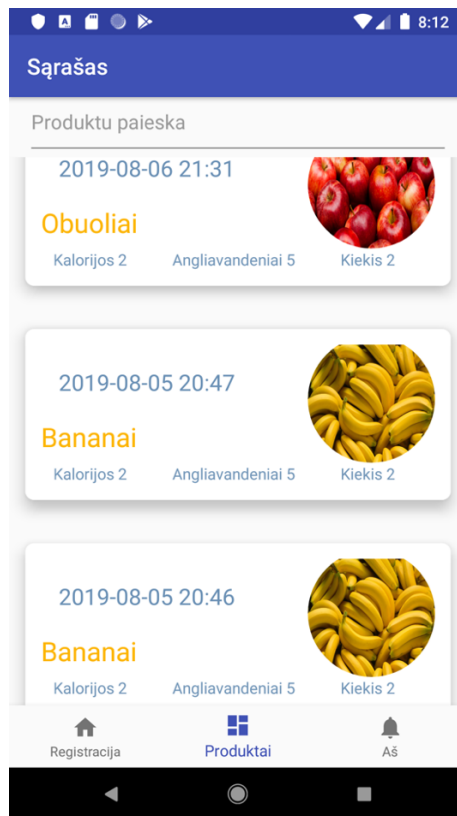
3.10 pav. Internetinio puslapio prisijungimo ekranas

Maisto pasirinkimo langas (3.11 ir 3.12 paveikslėliai) yra skirtas maisto produktų, iš siūlomų kategorijų, pasirinkimui. Pasirinkus tam tikrą maisto produktą galima pakeisti vartojimo laiką ir datą, kuri būna nustatyta esamo momento. Priklausomai nuo produkto reikia įvesti kiek gramų, mililitrų, puodelių ar panašiai buvo suvartota.



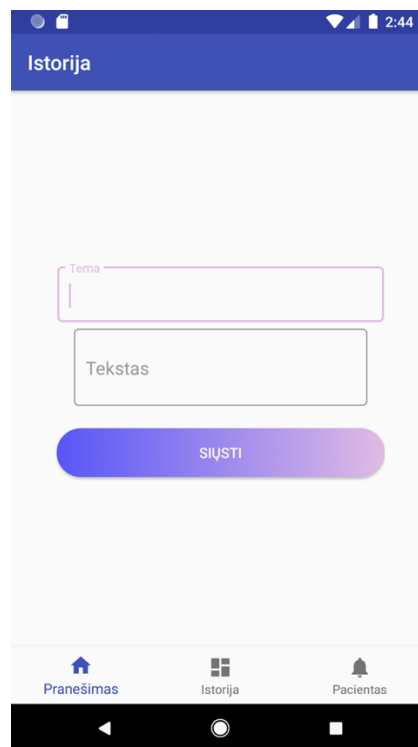
3.11 pav. Programėlės maisto registravimo ekranas 3.12 pav. Programėlės maisto registravimo ekranas

Langas 3.13 paveikslėlyje yra skirtas pacientams matyti kokius vaistus ar maisto produktus užregistravo, taip pat tikslią datą, medžiagų santykinę reikšmę bei kiekį. Gydytojas taip pat pasirinkęs tam tikrą pacientą gali matyti visą registruotų vaistų ar produktų istoriją.



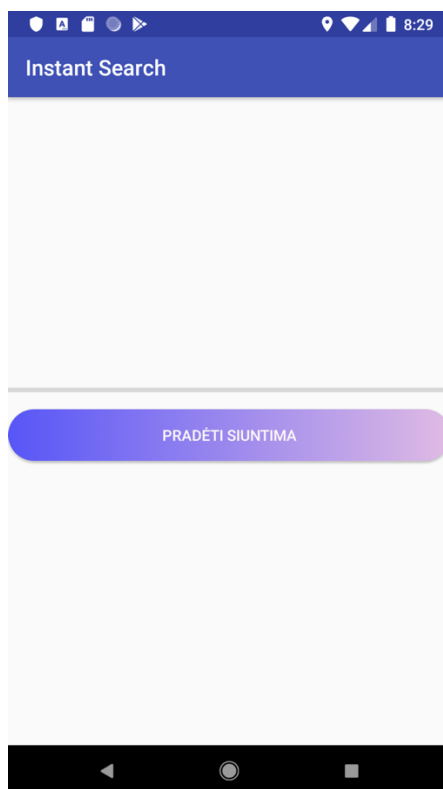
3.13 pav. Programėlės maisto istorijos ekranas

Pranešimų langas, 3.14 paveikslėlyje, išimtinai skirtas tik gydytojams, kad pacientams galėtų išsiųsti aktyviuosius pranešimus. Pranešimai gali būti siunčiami visiems vienu metu arba iš sąrašo išsirinkus reikiamą pacientą.



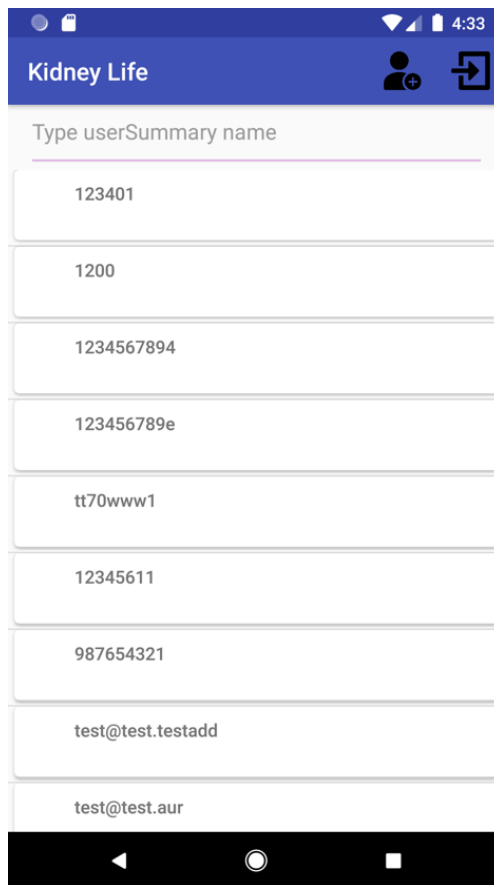
3.14 pav. Programėlės aktyviųjų pranešimų langas

Kai prie planšetės yra prijungiamas laikrodis „Kidnis“, automatiškai atveriamas failų siuntimo langas (3.15 paveikslėlis). Pacientas gali pradėti siųsti savo failus arba grįžti į maisto registravimo langą. Taip pat tai yra vienas iš būdų pakrauti laikrodį.

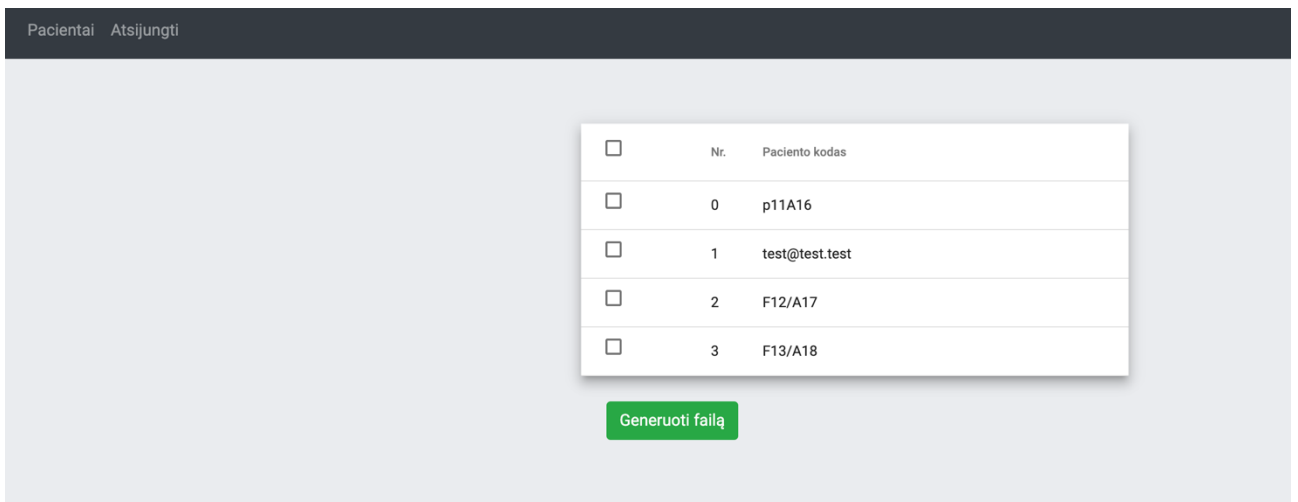


3.15 pav. Programėlės failų iš laikrodžio nuskaitymo ekranas

Sąrašas yra skirtas išskirtinai gydytojams matyti visą pacientų sąrašą (3.16 ir 3.17 paveikslėliai). Gydytojui prisijungus prie sistemos yra atveriamas pacientų sąrašas. Pacientą galima surasti pagal jo identifikacinį kodą pasinaudojant paieška, esančia lango viršuje. Pasirinkus vieną iš pacientų, atveriamas su juo susijusi informacija. Naudojantis interneto puslapiu, kiekvienam pacientui atskirai iš sistemos galima sugeneruoti surinktus duomenis (3.18 paveikslėlis).



3.16 pav. Programėlės pacientų sąrašas



3.17 pav. Internetinio puslapio pacientų sąrašas

Patient ID	Label	Date	Meal	Amou	Protei	Carbs	Fat	Chole	Potass	Sodiur	Calciu	Phosp	Energy
F13/A18		2020-02-10T15:05	Obuoliai	100.0 gramai	0,4	13	0,4	0	135	6	8	13	53
F13/A18		2020-02-10T17:14	Grikių kruopos	200.0 gramai	25,2	138,6	6,2	0	886	10	50	918	698
F13/A18		2020-02-10T17:22	Salotos	20.0 gramai	0,26	0,5	0,06	0	51	4	11,4	6	2,4
F13/A18		2020-02-10T17:22	Agurkai	100.0 gramai	0,8	2,3	0,2	0	184	9	21	29	11
F13/A18		2020-02-10T17:22	Grietinė 35%	50.0 gramai	1,2	1,55	15	53	50,5	16	31	43	146,5
F13/A18		2020-02-10T17:23	Graikiniai	20.0 gramai	3,7	2,92	12,08	0	193,2	1,2	21,2	84	131
F13/A18		2020-02-10T16:33	Mėlynės	100.0 gramai	0,7	11,5	0,6	0	71	8	11	13	44
F13/A18		2020-02-11T08:30	Juoda duona	50.0 gramai	3,7	25,65	0,65	0	124,5	211	13,5	102	108,5
F13/A18		2020-02-11T08:30	Sviestas 82.5%	20.0 gramai	0,14	0,16	16,52	50	3,4	2,8	4,2	5	148,8
F13/A18		2020-02-11T08:31	Obuoliai	100.0 gramai	0,4	13	0,4	0	135	6	8	13	53
F13/A18		2020-02-11T08:37	Kvietinės kruopos	300.0 gramai	34,5	0	0	0	633	30	81	894	1005
F13/A18		2020-02-11T16:01	Arbata be cukraus	150.0 mililitrai	0	0,45	0	0	55,5	4,5	0	1,5	0
F13/A18		2020-02-11T16:02	Balta duona	100.0 gramai	5,3	54,2	0,8	0	131	345	23	98	231
F13/A18		2020-02-11T17:28	Varškė 9%	100.0 gramai	16	3,5	9	37	104	40	216	88	160

3.18 pav. Sugeneruoti paciento suvartotų elektrolitų kiekiai

Sistema sėkmingai naudojama informacijos rinkimui ir yra toliau plėtojama keičiant esamą ir pridėdant naują funkcionalumą. „Android“ programėlė yra patalpinta „Google play“ parduotuvėje. Serverio dalis yra patalpinta instituto serveriuose, kartu su interneto puslapiu. Svarbu paminėti, kad sistema šiuo metu reikalinga ne tik duomenų surinkimui, bet ir jų apdorojimui ir saugojimui. Surinkti duomenys yra reikalingi tyrėjams ir gydytojams, kurie gali sekti paciento būklę. 3.19 paveikslėlyje yra pavaizduota sistema kartu su prijungtu laikrodžiu „Kidnis“, tyrimo metu.



3.19 pav. „Kidnis“ laikrodis prijungtas prie „Android“ programėlės

4. Tyrimas

4.1. Techninis klinikinis tyrimas

4.1.1. Įvadas

Projekto vykdytojas – Kauno technologijos universitetas, projekto numeris - 01.2.2-LMT-K-718-01-0030.

Projekto tikslas sukuriant informacinę sistemą surinkti paciento elektrolitų kiekį gaunamą iš maisto. Po tyrimo tyrėjas gali sugeneruoti per visą laikotarpį paciento suvartotų elektrolitų kiekį, kuriame išdėstytas kiekvienas produktas atskirai, kuriam yra nurodomas suvartotas kiekis, laikas ir produktui apskaičiuoti elektrolitai.

Prie projekto taip pat yra kuriamas laikrodis kartu su elektrodais, kurie matuoja paciento EKG, tačiau už šią dalį aš nesu atsakingas. Vienintelis dalykas, kad laikrodis prijungtas prie planšetės su esama mano sistema, duomenis turi persiūsti į instituto serverį.

Iš gydytojų nefrologų buvo gautas sąrašas su maisto produktais ir jų elektrolitų kiekiais, kurie buvo suvesti į sistemos duomenų bazę, o pacientų patogumui prie kiekvieno maisto produkto buvo surastas ir priskirtas paveikslėlis.

4.1.2. Duomenų rinkimo procesas

Duomenų rinkimo pradžiai reikėjo turėti veikiančią sistemą su duomenų baze, kurioje yra maisto produktai gauti iš gydytojų. Kad galėtume aptarti būsimos sistemos funkcionalumą ir nustatyti būsimų vartotojų auditoriją, iki sistemos kūrimo su Kauno klinikinės ligoninės gydytojais teko turėti keletą susitikimų. Susitikimų metu buvo diskutuojama apie maisto produktus, kaip būtų galima pateikti vartotojui jų įvedimą ir kokie tai produktai galėtų būti. Taip pat buvo bendraujama ir su būsimais vartotojais – pacientais. Pabendraurus su jais buvo bandoma išsiaiškinti, koks jų bendras suvokimas apie išmanius įrenginius, ar jie naudotųsi tokia sistema ir kaip jie įsivaizduoja suvartojamų produktų registravimą.

Sprendimas buvo priimtas, kad pacientai turėtų matyti paveiksliukus ir juos spaudant pasirinkti reikiamą maisto produktą, kurie yra suskirstyti į kategorijas. Kiekvienas produktas yra pasirenkamas atskirai, o ne iš karto visas patiekalas, kad būtų galima gauti kuo tikslesnę informaciją apie paciento gautus elektrolitus.

Pacientui dalyvaujant tyrime registruotus duomenis buvo galima stebėti realiu laiku, iš gautų duomenų daryti analizę ar maisto produktai, vaistai būdavo suvedami vieną kartą dienoje ar atsakingai buvo duomenys registruojami po suvartojimo. Prieš kiekvieną tyrimą su pacientu vykdavau į ligoninę jį apmokyti elgtis su sistema. Taip pat pacientui buvo pateikta ir dokumentacija jeigu jis pamirštų kaip naudotis sistema ar tiesiog norėtų labiau pasigilinti į jos veikimą.

Po tyrimo surinkti duomenys suformatuojami ir atiduodami tyrėjui, o aš iš duomenų analizuodavau paciento elgseną. 4.1 lentelėje yra pateiktas maisto produktų kategorijų sąrašas su kiekiais. Išvardintos kategorijos yra naudojamos tyrime nustatant paciento maisto racioną.

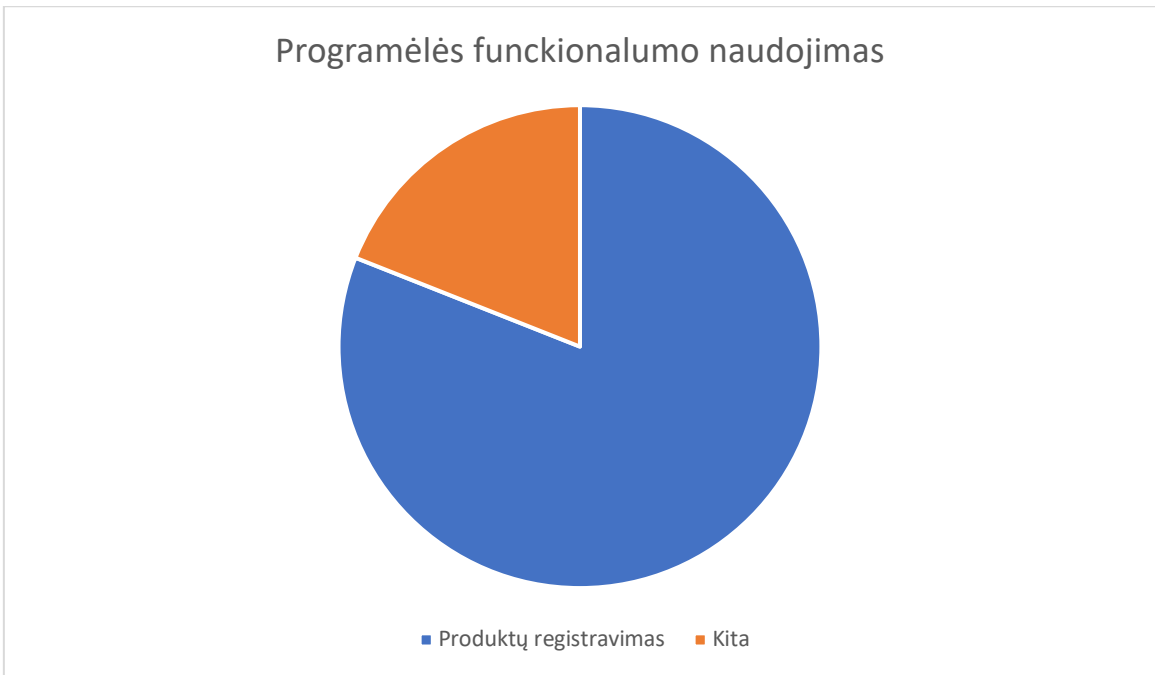
4.1 lentelė Maisto produktų kategorijos su kiekiais

Kategorija	Kiekis
Vaisiai	34
Daržovės	32
Duona	5
Kruopos	11
Pieno produktai	16
Riešutai	10
Sėklos	5
Pagardai ir priedai	14
Gėrimai	12
Mėsa	18
Žuvis	23
Grybai	5
Džiovinotos daržovės	4
Marinuotos daržovės	8
Džiovinoti vaisiai	8
Sultys	9

4.1.3. Rezultatai

Tyrimo tikslas buvo padaryti kuo paprastesnę sąsają, kad vyresnio amžiaus žmonėms pildant duomenis neiškiltų sunkumų. Visgi nebuvo įvertintas faktorius, kad pacientai negeba naudotis išmaniais įrenginiais, todėl tai apsunkino visą procesą, kadangi bandėme spręsti problemas programėlės lygyje. Taip pat paaiškėjo, kad po hemodializės daugumai pacientų svaigsta galva ir jie negali suvesti duomenų iš karto po jos, todėl projekto eigoje prireikė ir gydytojų įsiterpimo pildant duomenis. Buvo pacientų kuriems pasirodė, kad sistema netenkina jų lūkesčių ir viską surašydavo ant popieriaus lapo, netgi produktų pavadinimus, kurie nėra būtini. Taigi pacientai būdami atsakingi pateikia perteklinę informacijos kiekį, o iš to padarėm išvadą, kad jei mūsų sistemoje nėra pateiktas produktas, pacientui reikia leisti jį įvesti pačiam. Pastebėjus, kad pacientams sunku naudotis ne programėle, kaip manyta anksčiau, o pačiais įrenginiais – nuspręsta, laikinai, tyrimo metu, pacientams, gulintiems ligoninėje, pateikti atskirą programėlės versiją su ligoninės maisto sąrašu, o mes, jau turėdami duomenis duomenų bazėje galėsime suskaičiuoti suvartotą elektrolitų kiekį. Tyrimo metu pastebėta, kad pacientai išgeria nemažai vandens, tačiau jie nepateikė mums pastabų, kad sistemoje, negalima užregistruoti suvartoto vandens kiekio. Gydytojų pateiktame sąraše nebuvo pateiktas vanduo, todėl jo nebuvo ir duomenų bazėje, tačiau nors ir vėlyvoje projekto stadijoje, ši problema buvo surasta ir ištaisyta.

Išanalizavus duomenis, kiek vartotojai laiko praleidžia programėlėje, nustatyta, kad dauguma pacientų, nesidomėjo platesniais programėlės funkcionalumais ir atliko tik tiek, kiek buvo prašoma, t.y. užregistruoti vartotus maisto produktus ar vaistus. Pateikiau grafiką, kuriame nurodyta kiek vartotojų bandė pasinaudoti arba paieškoti kito programėlės funkcionalumo.



4.1 pav. Programėlės funkcionalumo naudojimo diagrama

Duomenys pateikti iš 46 vartotojų, tarp kurių yra ir instituto darbuotojai, kurie naudojami sistema, kad galėtų atrasti nepatogių ar sudėtingų dalykų. Iš gautų duomenų 4.1 paveikslėlyje matome, kad 81 proc. vartotojų programėle naudojosi tik produktų registravimui ir nebuvo nei kartą naudotasi kitu funkcionalumu, tokiu kaip registruotų produktų sąrašas, redagavimas, informacijos patikrinimas ar aktyviųjų pranešimų nepaspaudimas.

Iš pacientų gautų duomenų nustatėme, kad pacientai dažniausiai maistą suvedinėjo iš karto po maisto ar vaistų vartojimo (4.2 paveikslėlyje). Nedidelė pacientų dalis (25 proc.) visus duomenis suvedavo dienos pabaigoje ar kitą dieną.



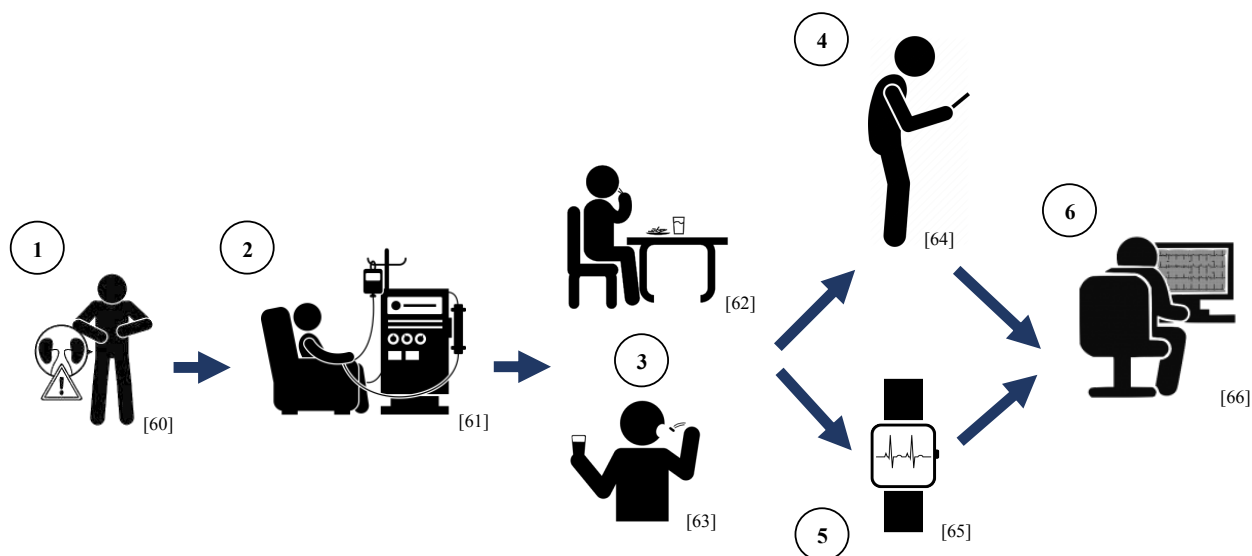
4.2 pav. Produktų suvedimo laikas

Pagrindinės komandos iškeltos problemos pagal tyrimo metu pacientų pateiktas pastabas ir surinktus duomenis:

1. „Android“ operacinės sistemos klaviatūros lietuviškų vertimų trumpiniai yra visiškai neaiškūs ir nesuprantami pacientams. Suvedus skaičius klaviatūroje pacientai nežino ką daryti toliau. Reikia paspausti „Atl.“ mygtuką. Deja, daliai pacientų iškilo klausimas ką reiškia „Atl.“, todėl šio mygtuko pavadinimą reikia keisti, pvz., „Atlikta“, „Įvesti“ ar panašų. Suvedus neteisingus skaičius klaviatūroje ir norint ištrinti reikia spausti <x mygtuką, tačiau tai nėra suprantama vyresnio amžiaus pacientams. Todėl šio mygtuko pavadinimą reikia keisti, pvz., „Ištrinti“, „Trinti“ ar panašų;
2. Datos ir laiko pasirinkimui yra panaudotas standartinis „Android“ komponentas, kurio pacientai nesugeba suprasti ir įvaldyti;
3. Gulintiems ligoninėje pacientams reikalingas susiaurintas maisto produktų sąrašas, t.y. pateiktas ligoninės meniu. Pacientams kartais sudėtinga įvertinti visas sudedamąsias patiekalo dalis ir jų kiekius, pvz. sriuba;
4. Pacientams iškyla problemų naudojantis ne pačia programėle, o įrenginiu;
5. Iš gautų duomenų matome, kad sistemoje kol kas nėra reikalingas paciento naujas funkcionalumo kūrimas. Turėtų būti tobulinamas esamas ir tik tyrėjams ir gydytojams pridedamas naujas;
6. Pacientams reikalingas automatinis priminimas, jeigu maistas yra nesuvedamas tą pačią dieną, kadangi vedant kitą dieną ar vakare, pacientai praleidžia detales ir duomenys tampa nevisiškai tikslūs;
7. Sunkiau skaitantiems ar turintiems mažiau patirties vartotojams, aktyvieji pranešimai turėtų būti su garsu „Priminimas, suveskite maisto produktus“, kurie galimai pagerintų tyrimo rezultatus.

4.2. Eksperimentinis tyrimas

4.2.1. Įvadas



4.3 pav. Eksperimento schema. (1) Inkstų nepakankamumą turintis žmogus; (2) Paciento gydymas hemodialize; (3) Paciento maisto, gėrimų bei vaistų vartojimas; (4) Suvartojimo pildymas programėlėje; (5) Nuolat stebimas paciento širdies ritmas; (6) Duomenų analizė.

Šio tiriamojo darbo imtį sudarė 21 žmonių grupė, turinčių inkstų nepakankamumą ir gydomų hemodialize (4.3 1, 2 pav.). Pacientai įtraukti į šį tyrimą, suvartotą maistą, gėrimus bei vaistus turėjo suvesti į sukurta programėlę (4.3 3, 4 pav.) (žr. 3 skyrius Sistemos projektas). Šių pacientų širdies darbas buvo nuolat stebimas bei buvo gauta kiekvienos minutės kardiograma (4.3 5 pav.). Gauti duomenys iš programėlės bei kardiogramos duomenys buvo analizuojami naudojant „Matlab“ programinę įrangą (4.3 6 pav.).

Tyrimo metu buvo apdorotos 21 paciento trijų dienų, įskaitant ir hemodializės laiką, kardiogramos, gautos iš dvylikos derivacijų. Prieš pradėdant paciento hemodializę, pacientui buvo atliktas pilnas kraujo tyrimas ir nustatyti kraujyje esantys elektrolitai ir jų kiekis. Hemodializė trunka keturias valandas, todėl kas valandą būdavo atliekamas dalinis kraujo tyrimas, siekiant išsiaiškinti elektrolitų kiekius. Priešpaskutinis pilnas kraujo tyrimas būdavo atliekamas iš karto po hemodializės, o paskutinis – dvi dienos po jos.

Iš kardiogramos bandoma nustatyti ar galima apskaičiuoti paciento elektrolitų kiekį kraujyje. Norint pradėti atlikti skaičiavimus būtina pašalinti pašalinius triukšmus iš kardiogramos ir surasti visus QRS taškus.

Nufiltravus visus nereikalingus triukšmus iš kardiogramos ir suradus QRS taškus pradėdama skaičiuoti:

- Širdies ritmas per minutę;
- RR intervalo vidurkis per minutę;
- QRS-T kampas panaudojant 4, 7 ir 12 derivacijas;
- QRS-T kampas panaudojant 3, 5 ir 11 derivacijas.

Pilno kraujo tyrimo metu nustatoma K, Ca, Mg, HCO₃, pH, GAP, laktato, Cl ir Na kiekiai. Tuo tarpu dalinio kraujo tyrimo metu – K, Ca, Cl ir Na kiekiai.

Tyrimo dalyvavusių pacientų amžiaus vidurkis yra 68 metai (nuo 37 iki 90 metų).

4.2.2. Tyrimo rezultatai

Iš suskaičiuotų duomenų buvo atliekamos regresijos, taip siekiant nustatyti koreliacijas tarp elektrolitų ir QRS-T kampo. Norima sužinoti ar įmanoma iš EKG nustatyti elektrolitų kiekį. Jei taip, tuomet kurį algoritmą naudojant būtų galima tiksliausiai nustatyti elektrolitų kiekį kraujyje, kuomet pagrindinis kintamasis yra QRS-T kampas, apskaičiuotas iš skirtingų derivacijų. Žemiau pateiktose 4.2, 4.3 ir 4.4 lentelėse yra pateikiamos matricos, kuriose pažymėta kaip tiksliai regresijų algoritmai nustato elektrolitų kiekį kraujyje. Lentelėse pateikiamas konkretaus algoritmo metodas, šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos (RMSE) ir determinacijos koeficientas (R²).

Tyrimo metu buvo naudojami 5 regresijos algoritmai su skirtingomis jų modifikacijomis. Visi algoritmai buvo panaudoti „Matlab“ programinėje įrangoje. Linijinio algoritmo buvo panaudotos 4 modifikacijos: paprastas linijinis, iteracinis, tvirtas(angl. *Robust*) ir laipsniškas. Medžio algoritmo 3 modifikacijos: paprastasis medis, vidutinis ir grubusis(angl. *Coarse*). Gauso algoritmų 4 modifikacijos: racionalus kvadratinis, eksponentinis kvadratinis, „Matern 5/2” ir paprastasis eksponentinis. Taip pat buvo panaudotas ir maišytų medžių (angl. *Ensembles of trees*) 2 algoritmo modifikacijos: rinkinių (angl. *Bagged*) ir padidinamasis (angl. *Boosted*). Daugiausiai modifikacijų panaudota su atraminių vektorių klasifikatoriaus algoritmu, su kuriuo tyrimo metu ir buvo gauti geriausi rezultatai. Panaudotos 6 modifikacijos: linijinis, kvadratinis, kubinis, paprastasis gauso, vidutinis ir grubusis gauso metodas.

Su visomis modifikacijos buvo atlikti skaičiavimai, o žemiau pateiktuose lentelių langeliuose, apačioje paminėtos geriausiai veikusios algoritmų modifikacijos.

Algoritmai pirmiausia yra grupuojami pagal RMSE. Kuo jis mažesnis, tuo nustatymo paklaida yra mažesnė. Lentelėse žalia spalva reiškia, kad šis algoritmas, atitinkamo elektrolito atžvilgiu, parodė geriausią rezultatą. Geltona spalva – kad šio algoritmo rezultatas yra geriausias, tačiau R² nebuvo didesnis už 0. Raudona spalva nurodo, kad šio elektrolito atžvilgiu tai yra pats netiksliausias algoritmas.

4.2 lentelė Regresijų rezultatai su QRS-T kampo 4, 7 ir 12 derivacijomis

	Ensemble of trees	Gaussian Process Regression	Tree	SVM	Linear
K	R-Squared: 0,30 RMSE: 1,0043 Bagged	R-Squared: 0,11 RMSE: 1,1308 Exponential	R-Squared: 0,05 RMSE: 1,1704 Medium	R-Squared: 0,10 RMSE: 1,142 Quadratic	R-Squared: 0,08 RMSE: 1,1507 Stepwise
Ca	R-Squared: -0,01 RMSE: 0,34488 Bagged	R-Squared: -0,01 RMSE: 0,34563 Squared Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 0,34362 Coarse	R-Squared: 0,07 RMSE: 0,33075 Medium Gaussian	R-Squared: -0,05 RMSE: 0,3519 Stepwise
Mg	R-Squared: -0,01 RMSE: 0,56592 Bagged	R-Squared: 0 RMSE: 0,55363 Rational Quadratic	R-Squared: 0 RMSE: 0,55357 Medium / Coarse	R-Squared: 0,13 RMSE: 0,54036 Coarse Gaussian	R-Squared: 0 RMSE: 0,55357 Stepwise
HCO₃	R-Squared: -0,12	R-Squared: 0,05	R-Squared: 0	R-Squared: 0,18	R-Squared: -1,20

	RMSE: 4,5209 Bagged	RMSE: 4,1677 Squared Exponential	RMSE: 4,278 Medium / Coarse	RMSE: 3,8846 Fine Gaussian	RMSE: 6,3448 Stepwise
pH	R-Squared: -0,05 RMSE: 0,078682 Bagged	R-Squared: 0,02 RMSE: 0,075937 Exponential/ Rational Quadratic	R-Squared: 0,01 RMSE: 0,076232 Medium	R-Squared: 0,13 RMSE: 0,07171 Fine Gaussian	R-Squared: -0,25 RMSE: 0,085938 Robust
GAP	R-Squared: -0,02 3,9254 Bagged	R-Squared: -0,14 4,1442 Exponential	R-Squared: 0,02 3,8537 Medium	R-Squared: 0,10 3,6944 Fine Gaussian	R-Squared: -0,19 4,2507 Robust
laktatas	R-Squared: 0,10 RMSE: 0,4768 Boosted	R-Squared: 0,06 RMSE: 0,48703 Squared Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 0,50255 Medium/ Coarse	R-Squared: 0,07 RMSE: 0,48434 Coarse Gaussian	R-Squared: 0,33 RMSE: 0,4105 Interactions
Cl	R-Squared: 0,09 RMSE: 2,3619 Bagged	R-Squared: -0,01 RMSE: 2,4811 Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 2,4738 Coarse	R-Squared: 0,03 RMSE: 2,4385 Fine Gaussian	R-Squared: -0,10 RMSE: 2,5947 Stepwise
Na	R-Squared: 0,09 RMSE: 2,0591 Bagged	R-Squared: 0,09 RMSE: 2,0651 Squared Exponential / Rational Quadratic	R-Squared: 0,16 RMSE: 1,985 Fine	R-Squared: -0,01 RMSE: 2,176 Medium Gaussian	R-Squared: 0,06 RMSE: 2,093 Linear

4.3 lentelė Regresijų rezultatai su QRS-T kampo 3, 5 ir 11 derivacijomis

	Ensemble of trees	Gaussian Process Regression	Tree	SVM	Linear
K	R-Squared: 0,22 RMSE: 1,0582 Bagged	R-Squared: 0,13 RMSE: 1,1196 Matern 5/2 GPR	R-Squared: 0,09 RMSE: 1,1445 Medium	R-Squared: 0,10 RMSE: 1,1675 Fine Gaussian	R-Squared: -0,09 RMSE: 1,2851 Robust
Ca	R-Squared: -0,03 RMSE: 0,3482 Boosted	R-Squared: 0,02 RMSE: 0,33968 Matern 5/2 GPR	R-Squared: 0 RMSE: 0,34362 Coarse	R-Squared: 0,14 RMSE: 0,32375 Medium Gaussian	R-Squared: -0,06 RMSE: 0,35435 Stepwise
Mg	R-Squared: -0,08 RMSE: 0,57448 Bagged	R-Squared: -0,02 RMSE: 0,5591 Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 0,55357 Medium/ Coarse	R-Squared: -0,2 RMSE: 0,58784 Fine Gaussian	R-Squared: 0 RMSE: 0,55357 Stepwise
HCO3	R-Squared: -0,15 RMSE: 4,5907 Bagged	R-Squared: -0,13 RMSE: 4,2835 Squared Exponential / Rational Quadratic	R-Squared: 0 RMSE: 4,278 Medium/ Coarse	R-Squared: -0,12 RMSE: 4,2712 Coarse Gaussian	R-Squared: -1,19 RMSE: 5,9593 Linear
pH	R-Squared: -0,06 RMSE: 0,07907 Bagged	R-Squared: -0,04 RMSE: 0,076453 Rational Quadratic	R-Squared: 0 RMSE: 0,076837 Medium	R-Squared: -0,16 RMSE: 0,080776 Coarse Gaussian	R-Squared: -0,03 RMSE: 0,077892 Stepwise
GAP	R-Squared: -0,08 RMSE: 4,0354 Bagged	R-Squared: -0,15 RMSE: 3,2812 Squared Exponential / Rational Quadratic	R-Squared: 0 RMSE: 3,8883 Medium	R-Squared: 0,02 RMSE: 3,0272 Fine Gaussian	R-Squared: -0,84 RMSE: 4,1453 Linear
laktatas	R-Squared: -0,03 RMSE: 0,51076 Boosted	R-Squared: -0,11 RMSE: 0,52909 Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 0,50255 Medium/ Coarse	R-Squared: 0 RMSE: 0,50549 Coarse Gaussian	R-Squared: -0,70 RMSE: 0,66079 Linear
Cl	R-Squared: 0,05 RMSE: 2,408 Bagged	R-Squared: -0,02 RMSE: 2,4209 Squared Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 2,4738 Coarse	R-Squared: -0,05 RMSE: 2,4562 Coarse Gaussian	R-Squared: 0,02 RMSE: 2,37 Stepwise

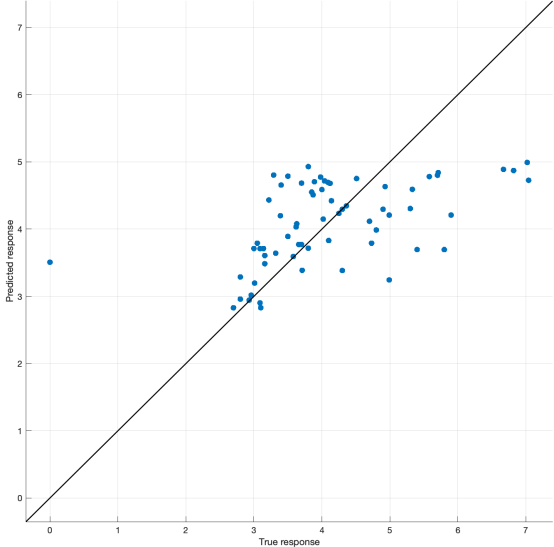
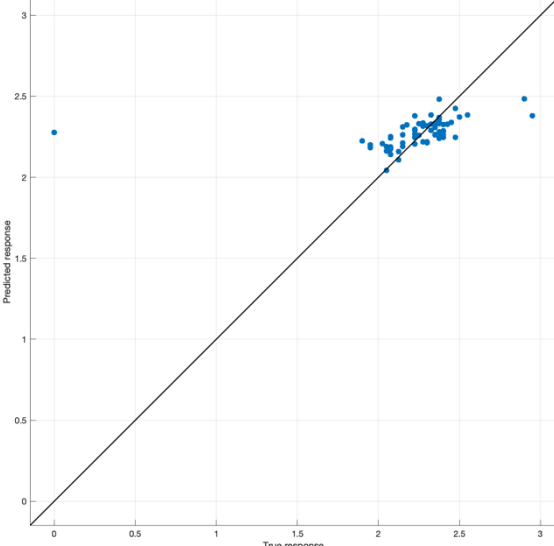
Na	R-Squared: 0,17 RMSE: 1,9703 Bagged	R-Squared: -0,07 RMSE: 2,0904 Squared Exponential	R-Squared: 0,11 RMSE: 2,0354 Fine	R-Squared: 0,15 RMSE: 1,8572 Fine Gaussian	R-Squared: 0,03 RMSE: 2,0439 Linear
----	--	--	--	---	--

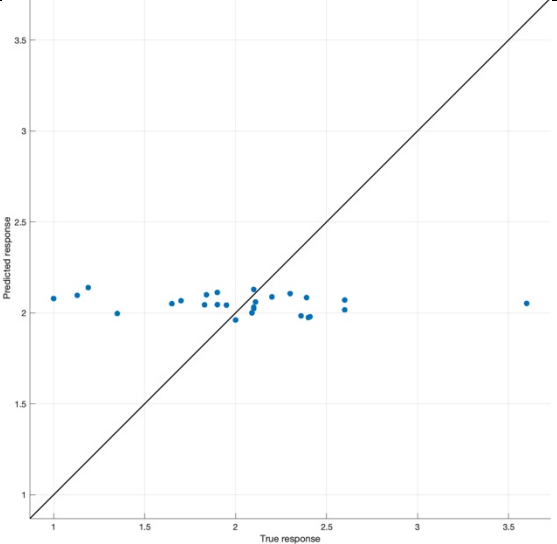
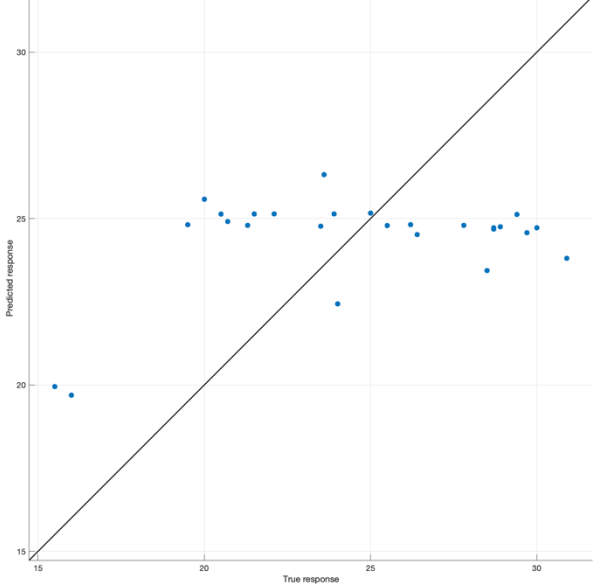
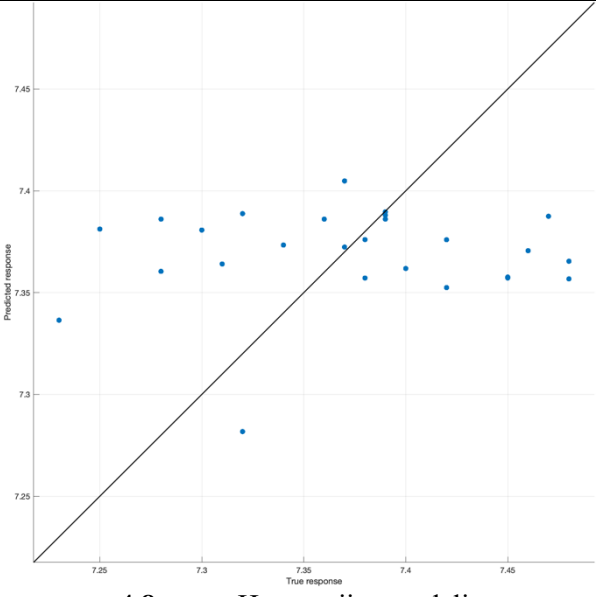
4.4 lentelė Regresijų rezultatai su QRS-T kampo 4, 7, 12 ir 3, 5, 11 derivacijomis

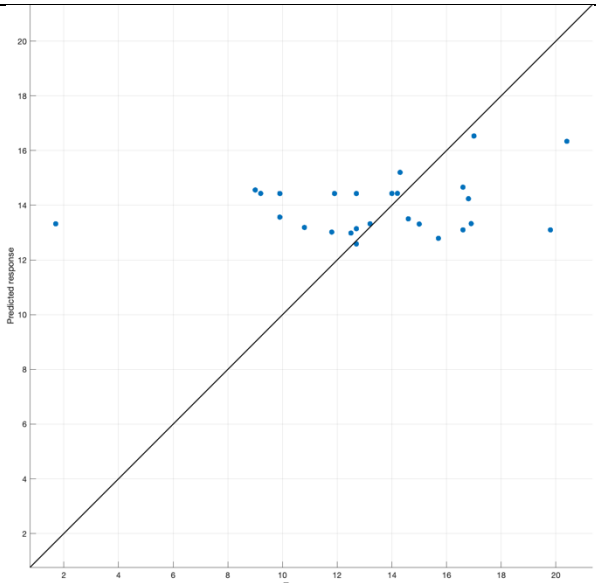
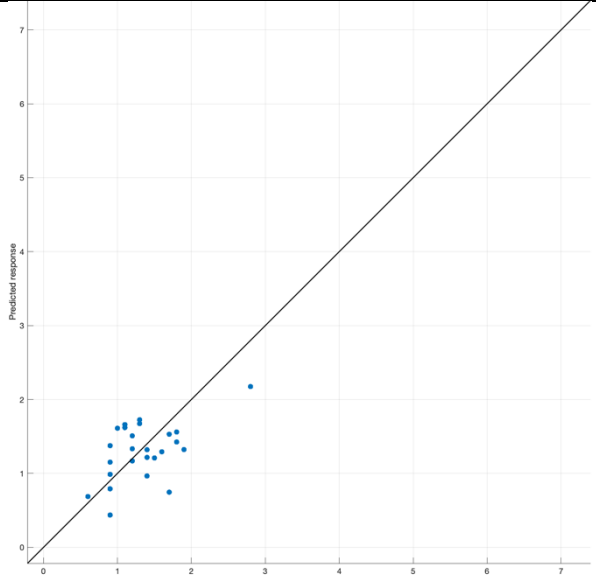
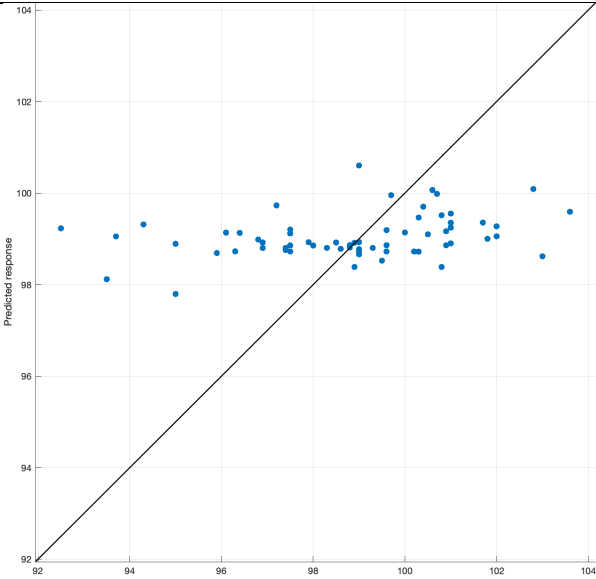
	Ensemble off trees	Gaussian Process Regression	Tree	SVM	Linear
K	R-Squared: 0,28 RMSE: 1,0313 Boosted	R-Squared: 0,18 RMSE: 1,1014 Matern 5/2 GPR	R-Squared: 0,05 RMSE: 1,1704 Medium	R-Squared: 0,16 RMSE: 1,1254 Quadratic	R-Squared: 0,07 RMSE: 1,1708 Stepwise
Ca	R-Squared: 0 RMSE: 0,34336 Bagged	R-Squared: 0 RMSE: 0,34408 Matern 5/2 GPR	R-Squared: 0 RMSE: 0,34362 Coarse	R-Squared: 0,15 RMSE: 0,3203 Medium	R-Squared: -0,07 RMSE: 0,35662 Stepwise
Mg	R-Squared: -0,02 RMSE: 0,55969 Bagged	R-Squared: -0,02 RMSE: 0,56646 Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 0,53708 Medium/ Coarse	R-Squared: 0 RMSE: 0,56537 Coarse Gaussian	R-Squared: 0 RMSE: 0,55357 Stepwise
HCO ₃	R-Squared: -0,14 RMSE: 4,5621 Bagged	R-Squared: 0 RMSE: 4,0353 Rational Quadratic	R-Squared: 0 RMSE: 4,278 Medium/ Coarse	R-Squared: -0,09 RMSE: 4,2151 Fine Gaussian	R-Squared: -3,79 RMSE: 8,815 Robust
pH	R-Squared: -0,10 RMSE: 0,080553 Bagged	R-Squared: -0,03 RMSE: 0,076217 Rational Quadratic	R-Squared: 0,01 RMSE: 0,076232 Medium	R-Squared: -0,05 RMSE: 0,076811 Fine Gaussian	R-Squared: -0,08 RMSE: 0,10069 Linear
GAP	R-Squared: -0,01 RMSE: 3,9028 Bagged	R-Squared: -0,20 RMSE: 3,3486 Squared Exponential	R-Squared: 0,02 RMSE: 3,8537 Medium	R-Squared: -0,01 RMSE: 3,0772 Fine Gaussian	R-Squared: -1,08 RMSE: 4,4162 Linear
Laktatas	R-Squared: 0,10 RMSE: 0,4768 Boosted	R-Squared: -0,11 RMSE: 0,53048 Exponential	R-Squared: 0 RMSE: 0,50255 Medium/ Coarse	R-Squared: 0,01 RMSE: 0,50295 Coarse Gaussian	R-Squared: 0,03 RMSE: 0,4945 Stepwise
Cl	R-Squared: 0,03 RMSE: 2,4374 Bagged	R-Squared: 0,07 RMSE: 2,3032 Squared / Exponential	R-Squared: 0,08 RMSE: 2,3778 Fine	R-Squared: 0,11 RMSE: 2,2598 Fine Gaussian	R-Squared: 0,05 RMSE: 2,3376 Stepwise
Na	R-Squared: 0,11 RMSE: 2,0334 Bagged	R-Squared: 0,11 RMSE: 1,8995 Squared Exponential / Rational Quadratic	R-Squared: 0,12 RMSE: 2,031 Fine	R-Squared: 0,17 RMSE: 1,8428 Fine Gaussian	R-Squared: -0,07 RMSE: 2,0844 Linear

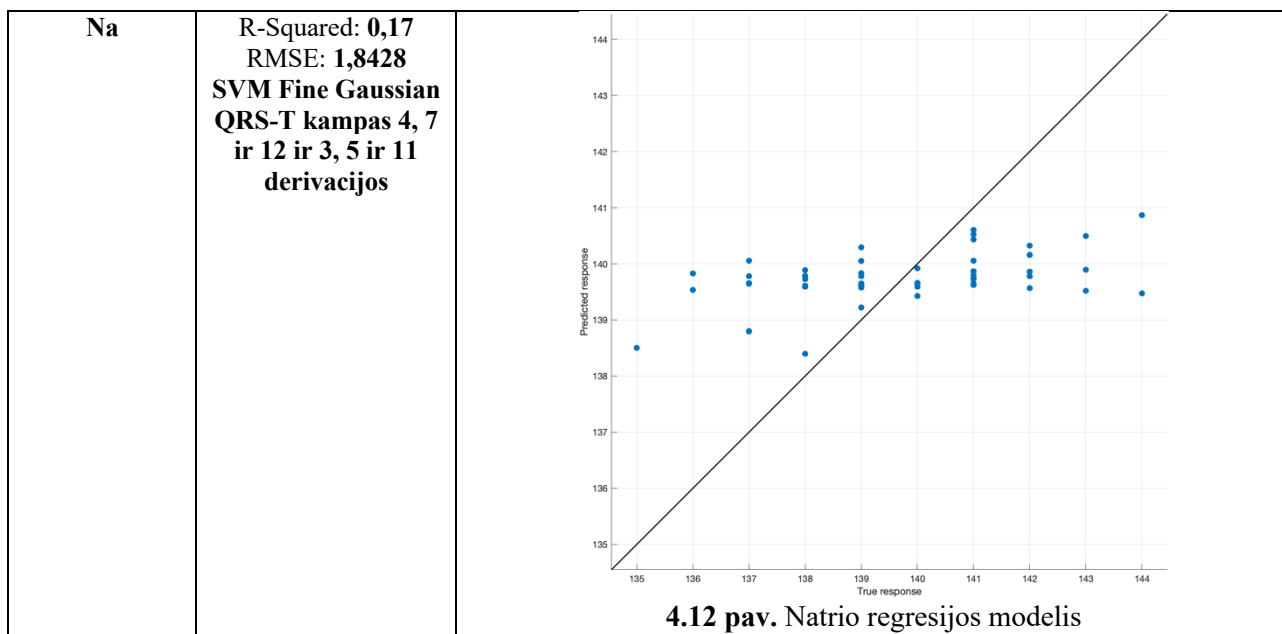
Iš lentelių duomenų matoma, kad QRS-T kampas suskaičiuotas iš 4, 7 ir 12 derivacijų pateikia tikslesnius duomenis negu QRS-T kampas iš 3, 5 ir 11 derivacijų arba abu kampus kombinuojant. 4.5 lentelėje yra pateikti geriausi regresijų rezultatai kartu su spėjimų modeliu. Rezultatai parodė, kad iš 9-ių elementų 6-ių (K, Mg, HCO₃, pH, GAP, laktatas) rezultatas buvo tikslesnis tik su QRS-T kampu, apskaičiuotu naudojant 4, 7 ir 12 derivacijas. Tuo tarpu naudojant QRS-T kampą iš 3, 5 ir 11 derivacijų, nei vieno elektrolito atžvilgiu nebuvo gautas tiksliausias rezultatas. Net 4-ių elementų (Mg, HCO₃, pH, laktatas) analizės atvejais naudojant šį kampą nepavyko viršyti aukštesnės nei nulinės determinacijos koeficiento ribos. Visgi, atliekant regresijas, duomenų masyve naudojant abu kampus, chloro ir natrio atvejais, gaunamas geresnis rezultatas, lyginant su analize, gauta, naudojant abu kampus atskirai. Tai parodė, kad pastarieji elementai nustatomi tiksliau, naudojant daugiau QRS-T kampų.

4.5 lentelė Geriausi regresijų rezultatai

Elementas	Regresijos rezultatas	Spėjimų modelis
<p>K</p>	<p>R-Squared: 0,30 RMSE: 1,0043 Ensemble Bagged QRS-T kampas 4, 7 ir 12 derivacijos</p>	 <p>4.4 pav. Kalio regresijos modelis</p>
<p>Ca</p>	<p>R-Squared: 0,15 RMSE: 0,3203 SVM Medium QRS-T kampas 4, 7 ir 12 ir 3, 5 ir 11 derivacijos</p>	 <p>4.5 pav. Kalcio regresijos modelis</p>

<p>Mg</p>	<p>R-Squared: 0,13 RMSE: 0,54036 SVM Coarse Gaussian QRS-T kampas 4, 7 ir 12 derivacijos</p>	 <p>4.6 pav. Magnio regresijos modelis</p>
<p>HCO3</p>	<p>R-Squared: 0,18 RMSE: 3,8846 SVM Fine Gaussian QRS-T kampas 4, 7 ir 12 derivacijos</p>	 <p>4.7 pav. HCO3 regresijos modelis</p>
<p>pH</p>	<p>R-Squared: 0,13 RMSE: 0,07171 Fine Gaussian SVM Fine Gaussian QRS-T kampas 4, 7 ir 12 derivacijos</p>	 <p>4.8 pav. pH regresijos modelis</p>

<p>GAP</p>	<p>R-Squared: 0,02 RMSE: 3,0272 SVM Fine Gaussian QRS-T kampas 4, 7 ir 12 derivacijos</p>	 <p>4.9 pav. GAP regresijos modelis</p>
<p>Laktatas</p>	<p>R-Squared: 0,33 RMSE: 0,4105 Linear Interactions QRS-T kampas 4, 7 ir 12 derivacijos</p>	 <p>4.10 pav. Laktato regresijos modelis</p>
<p>Cl</p>	<p>R-Squared: 0,11 RMSE: 2,2598 SVM Fine Gaussian QRS-T kampas 4, 7 ir 12 ir 3, 5 ir 11 derivacijos</p>	 <p>4.11 pav. Chloro regresijos modelis</p>



4.5 lentelėje matoma, kad šio tyrimo metu tiksliausius rezultatus pateikė vektorių klasifikatoriaus (SVM) regresijos algoritmas (7 elementai (Ca, HCO₃, Na, pH, Mg, Cl, GAP) iš 9). Tuo tarpu „Ensemble of trees bagged“ tiksliausius rezultatus parodė su K elementu, o linijinis algoritmas su laktatu.

Turint daugiau pacientų su atliktais kraujo tyrimais, vieną iš svarbiausių elementų – kalį, ganėtinai tiksliai būtų galima nustatyti realiu stebėjimo laiku. Pateiktoje 4.6 lentelėje matome elementus pagal mažiausią RMSE. Mažiausia paklaida nustatyta pH, tačiau jo tikslumas kuris matomas 4.7 lentelėje, palyginus su kitais elementais, nėra labai aukštas. Didžiausia paklaida nustatyta HCO₃, kuris nepasižymi ir aukštu patikimumu. Blogiausiai yra nustatomas GAP, nors jo paklaida nėra mažiausia, tačiau ji labai žema, o tikslumas artimas nuliui.

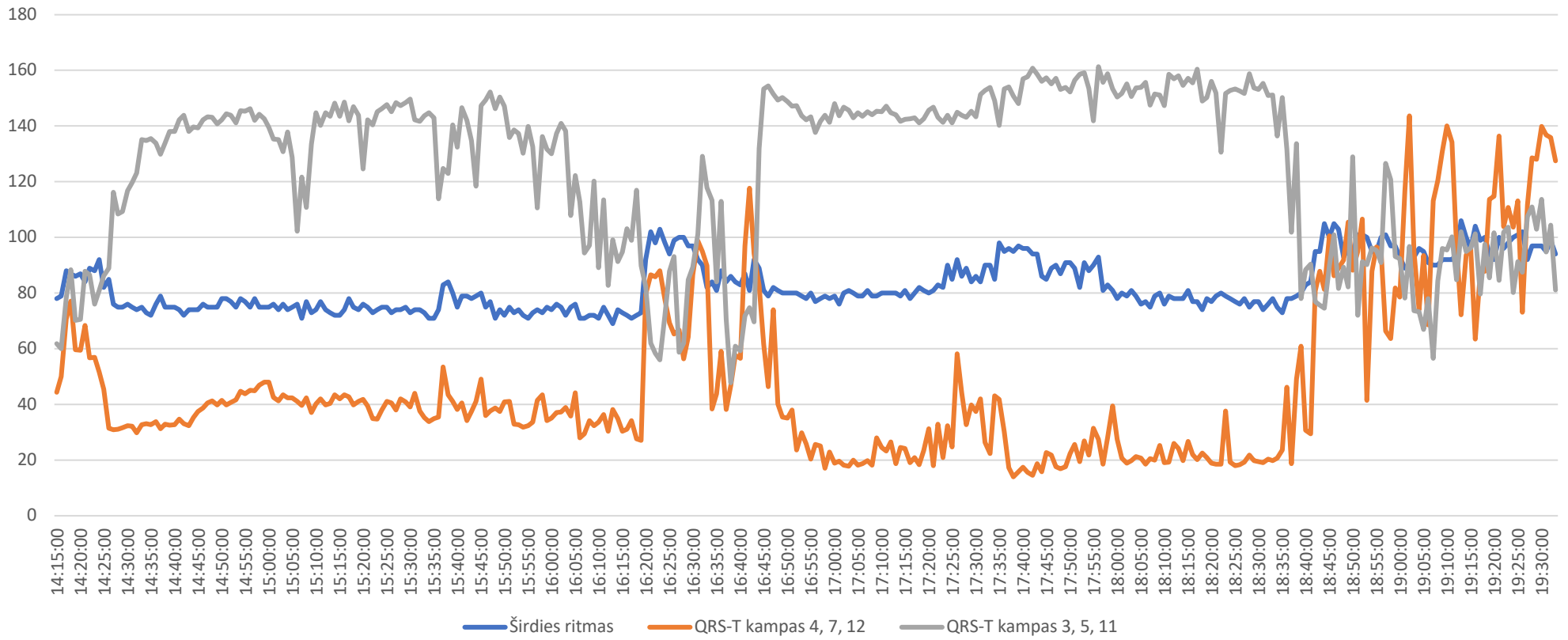
4.6 lentelė Geriausi pagal RMSE

Elementas	RMSE
pH	0,07171
Ca	0,3203
Laktatas	0,4105
Mg	0,54036
K	1,0043
Na	1,8428
Cl	2,2598
GAP	3,0272
HCO ₃	3,8846

4.7 lentelė Geriausi pagal R²

Elementas	R ²
Laktatas	0,33
K	0,30
HCO ₃	0,18
Na	0,17
Ca	0,15
pH	0,13
Mg	0,13
Cl	0,11
GAP	0,02

Širdies ritmo įtaka QRS-T kampui



4.13 pav. Širdies ritmo įtaka QRS-T kampui

4.13 paveikslėlyje matoma, kad širdies ritmas turi įtakos QRS-T kampui, suskaičiuoto iš 4, 7, 12 ir 3, 5, 11 derivacijų. Kampas keičiasi savo eiga, tačiau pagal grafikus matome, kad širdies ritmas turi įtakos kampo pokyčiams. Galima pastebėti ir tokių atvejų, kad staigus širdies ritmo šuolis į viršų, sukelia tokį patį rezultatą ir kampui. Kad įsitikinti širdies dažnio ir QRS-T kampų koreliacija, buvo atliktas linijinis koreliacijos skaičiavimas. Gauti rezultatai 4.8 lentelėje parodo, kad sąsaja yra labai stipri. Gauta p reikšmė įrodo, kad gauta koreliacija yra statistiškai patikima ($p < 0,05$). Lentelėje pažymima, kad QRS-T kampas, suskaičiuotas iš 4, 7, 12 derivacijų, labiau koreliuoja su širdies ritmu, negu QRS-T kampas – iš 3, 5, 11 derivacijų.

4.8 lentelė Širdies ritmo koreliacija su QRS-T kampu

	Koreliacijos koeficiento reikšmė	p reikšmė
QRS-T kampas 4, 7, 12	0.5655	$2.5152e^{-138}$
QRS-T kampas 3, 5, 11	0.4923	$1.4788e^{-36}$

4.2.3. Rezultatai

1. Geriausi regresijos rezultatai su kalciu, magniu, chloru, natriu, pH, bikarbonatu ir GAP, gauti naudojant atraminių vektorių klasifikatoriaus algoritimą (SVM);
2. Nustatant kalio cheminį elementą tinkamiausias yra „Ensemble of trees bagged” algoritmas;
3. Nustatant laktato kiekį kraujyje tinkamiausias linijinis regresijos algoritmas. Ši organinė rūgštis buvo nustatyta geriausiai iš visų elementų. Buvo gauta mažiausia šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos ir didžiausias determinacijos koeficientas;
4. QRS-T kampui matoma akivaizdi koreliacija su širdies ritmu;
5. QRS-T kampas suskaičiuotas iš 4, 7 ir 12 derivacijų yra tinkamesnis kintamasis nustatyti elektrolitus kraujyje iš širdies kardiogramos, nei iš 3, 5 ir 11 derivacijų.

Išvados

1. Atlikta įrenginių analizė parodė, kad pavojingų širdies ligų nustatymas egzistuojančiose sistemose vyksta tik iš įrenginio gauta informacija. Vartotojo suvesta rutina nėra fiksuojama ir nėra įtraukiama į kintamųjų sąrašą kuris padeda nustatyti širdies ligas;
2. Analizės metu išsiaiškinta, kad norint identifikuoti prieširdžių virpėjimą ir nereguliarų širdies ritmą užtenka atlikti I derivacijos EKG, o aptikti širdies aritmijas užtenka FPG;
3. Tyrimo metu išsiaiškinta, kad pacientams sunku naudotis ne tik programėlės specifiniu vartotojo sąsajos funkcionalumu, bet ir pačiu įrenginiu;
4. Išanalizavus pacientų įpročius, naudojant sukurtą sistemą, pastebėta, kad 81 proc. pacientų naudojo tik vieną sistemos funkcionalumą – maisto produktų ir vaistų registravimą. Visi kiti sistemos funkcionalumai buvo naudoti tik 19 proc. pacientų. Pagrindinis naudotas funkcionalumas yra tiesiogiai naudingas jų sveikatai ir tolimesniems tyrimams;
5. Tyrimo metu nustatyta, kad iš kardiogramos galima nustatyti žmonių, sergančių inkstų nepakankamumu, elektrolitų kiekį kraujyje, kai pagrindinis kintamasis yra QRS-T kampas;
6. Nustatytas geriausias regresijų algoritmas – atraminių vektorių klasifikatoriaus algoritmas (SVM), kuris pateikė daugiausiai tiksliausių rezultatų, nustatant elektrolitų kiekį kraujyje, naudojant QRS-T kampą, kuris buvo suskaičiuotas iš širdies kardiogramos;
7. Geriausiai nustatytas elementas kraujyje buvo laktatas. Determinacijos koeficientas gautas – 0,33, su paklaida – 0,4105. Blogiausiai nustatytas buvo GAP (metabolitas). Determinacijos koeficientas gautas – 0,02, su 3,0272 paklaida.
8. Nustatyta, kad širdies ritmas stipriai koreliuoja su QRS-T kampu. Rezultatui nustatytas labai didelis patikimumas. QRS-T kampo iš 4, 7, 12 derivacijų koreliacijos koeficientas su širdies ritmu buvo 0.5655, o $p = 2.5152e^{-138}$, kai tuo tarpu QRS-T kampo iš 3, 5, 11 derivacijų – atitinkamai 0.4923 su patikimumu $1.4788e^{-36}$.

Literatūros sąrašas

1. THE OFFICIAL FOUNDATION OF THE AMERICAN UROLOGICAL ASSOCIATION. Kidney (Renal) Failure. *Urology Care*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: [https://www.urologyhealth.org/urologic-conditions/kidney-\(renal\)-failure](https://www.urologyhealth.org/urologic-conditions/kidney-(renal)-failure);
2. TURAKHIA, Mintu P, et al. Chronic kidney disease and arrhythmias: conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Controversies Conference. *European Heart Journal*. 2018, vol. 39, no.24, p. 2314–2325;
3. NATIONAL INSTITUTE OF DIABETES AND DIGESTIVE AND KIDNEY DISEASES. Hemodialysis. *Kidney Failure*. 2018 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/kidney-failure/hemodialysis>;
4. VORONEANU, Luminita, et al. Arrhythmias in Hemodialysis Patients. *Journal of Nephrology* 2009, vol. 22, no. 6, p 716–725;
5. VIEŠOJI ĮSTAIGA KAROLINIŠKIŲ POLIKLINIKA. 12-kos derivacijų EKG užrašymas kabinete be gydytojo aprašymo. *Viešoji įstaiga Karoliniškių poliklinika*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://www.karpol.lt/shop/12-kos-derivaciju-ekg-uzrasymas-kabinete-be-gydytojo-aprasymo/>;
6. NHS APPS LIBRARY. Electrocardiogram (ECG). *NHS Apps Library*. 2018 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://www.nhs.uk/conditions/electrocardiogram/>;
7. GHAMARI, Mohammad, et al. A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics*. 2018. Vol. 4, no. 4, p 195-202;
8. TEXAS INSTRUMENTS. How to Measure ECG - ECG vs. PPG. *TI Training home*. 2017 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://training.ti.com/how-measure-ecg-ecg-vs-ppg>;
9. SAZONOV, Edward and Michael NEUMAN. Application of Optical Heart Rate Monitoring. In: *Wearable sensors*. USA: Academic Press, 2015, p. 105-129. ISBN 978-0-12-418662-0;
10. POLAR. What is optical heart rate tracking? *Polar*. 2017 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://www.polar.com/blog/optical-heart-rate-tracking-polar/>;
11. RICHTEK. ECG/PPG Measurement Solution. Richtek your power partner. 2018 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN057>;
12. INLIFE. Heart attack diagnosis and treatment. *INLIFE*. 2014 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://www.inlifehealthcare.com/2014/11/21/signs-of-heart-attack/heart-attack-diagnosis-and-treatment/>;
13. CHERIYEDATH, Susha. Photoplethysmography (PPG). *News Medical Life Sciences*. 2016 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: [https://www.news-medical.net/health/Photoplethysmography-\(PPG\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Photoplethysmography-(PPG).aspx);
14. Zhu, Q., Tian, X., Wong, C. W., & Wu, M. (2019). ECG reconstruction via ppg: A pilot study. In 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, BHI 2019 - Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
15. PEREIRA, Tania, et al. Photoplethysmography based atrial fibrillation detection: a review. *Npj Digital Medicine*. 2020. Vol. 3, no. 1;
16. KALSTEIN. Sabes que es la oximetria de pulso. *Kalstein*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://www.kalstein.cl/sabes-que-es-la-oximetria-de-pulso/>;
17. WALKER, Andrew, et al. Smartphone electrocardiogram monitoring: current

- perspectives. *Advanced Health Care Technologies*. 2018. Vol. 4, p. 15-24;
18. What is D-Heart. D-Heart. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://www.d-heartcare.com/what-is-dheart.html>;
 19. D-HEART. D-Heart portable ECG device technical description. *D-Heart*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: https://www.d-heartcare.com/assets/pdf/technical_data_sheet.pdf;
 20. ALIVECOR. KardiaMobile. *AliveCor*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://store.alivecor.com/products/kardiamobile>;
 21. ALIVECOR. Instructions for use (IFU) for KardiaMobile 6L (AC-019). *AliveCor*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <https://www.alivecor.com/ifus/kardiamobile6l/19LB01.01-en.pdf>;
 22. ALIVECOR. List of previously supported phones and tablets. *AliveCor*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <https://alivecor.zendesk.com/hc/en-us/articles/115015935767>;
 23. ALIVECOR. KardiaMobile 6L. *AliveCor*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://store.alivecor.com/products/kardiamobile6l>;
 24. ФАРАДЕЙ, Семен. Первый медицинский аксессуар для Apple Watch одобрен в США. *iSmart watch*. 2017 [žiūrėta 2020 m. balandžio 13d]. Prieiga per internetą: <https://ismartwatch.ru/8655-pervyj-meditsinskij-aksessuar-dlya-apple-watch-odobren-v-ssha>;
 25. PATENTLY APPLE. The FDA approves a new EKG reader in the form of an Apple Watch band that detects abnormal heart rhythm and AFib. *Patently Apple*. 2017 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://www.patentlyapple.com/patently-apple/2017/11/the-fda-approves-a-new-ekg-reader-in-the-form-of-an-apple-watch-band-that-detects-abnormal-heart-rhythm-and-afib.html>;
 26. KOSECKI, Danielle. Apple Watch ECG app: What cardiologists want you to know. *C|net*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://www.cnet.com/news/apple-watch-ecg-app-what-cardiologists-want-you-to-know/>;
 27. WAREABLE. Apple Watch heart rate guide: How to use all of Apple's HR features. *Wareable*. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <https://www.wareable.com/apple/apple-watch-heart-rate-monitor-guide-340>;
 28. CHEN, Angela. What the Apple Watch's FDA clearance actually means. *The verge*. 2018 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10d]. Prieiga per internetą: <https://www.theverge.com/2018/9/13/17855006/apple-watch-series-4-ekg-fda-approved-vs-cleared-meaning-safe>;
 29. APPLE. Taking an ECG with the ECG app on Apple Watch Series 4 or later. *Apple*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://support.apple.com/en-us/HT208955>;
 30. QARDIO. Is QardioCore Clinically Validated? *QARDIO*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 7d]. Prieiga per internetą: <https://support.getqardio.com/hc/en-us/articles/115000256725-Is-QardioCore-clinically-validated->;
 31. QARDIO. Wearable ECG/EKG. *QARDIOCORE*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <https://www.getqardio.com/qardio-core-wearable-ecg-ekg-monitor-iphone/>;
 32. GUDIŠKIS, Andrius. Širdies dūžių nustatymas iš iškraipytų ekg signalų atliekant automatiškai aptiktą atskaitų statistinę analizę. *Mokslas – Lietuvos Ateitis*. 2015. Vol. 7, no. 3, p. 300-303.

ISSN 2029-2341.

33. KHER, Rahul. Signal Processing Techniques for Removing Noise from ECG Signals. *Journal of Biomedical Engineering*. 2019. Vol. 1, p. 1-9;
34. VELAYUDHAN, Aswathy, et al. Noise Analysis and Different Denoising Techniques of ECG Signal - A Survey. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*. 2016. P. 40-44. ISSN 2278-8735.
35. HU, Xiao, et al. Removal of baseline wander from ECG signal based on a statistical weighted moving average filter. *Journal of Zhejiang University: Science C*. 2011. Vol. 12, no. 5, p. 397-403;
36. HUSSAINI, Umair. Difference between infinite impulse response (IIR) & finite impulse response (FIR) filters. *Technobyte*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <https://www.technobyte.org/difference-between-iir-fir-filters/?fbclid=IwAR1YI7TKPVS1O4DgCEN0RQ9VLbX1LwCH-k6QCHiNK-AHkxm1ZVwjCE0DBck>;
37. IDL ONLINE HELP. Infinite impulse response filters. *Signal Processing*. 2005 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: https://northstar-www.dartmouth.edu/doc/idl/html_6.2/Signal_Processing.html;
38. NOUNO, Mohamed and Bhavik R. BAKSHI. Multiscale methods for denoising and compression. In: *Data Handling in Science and Technology*. USA: Elsevier Science, 2000, p. 119-150. ISBN 978-0-444-50111-0;
39. HUSSAINI, Umair. What is an infinite impulse response filter (IIR)? *Technobyte*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <https://www.technobyte.org/infinite-impulse-response-filter-iir/>;
40. LOWEGIAN INTERNATIONAL. IIR filter basic. *Dspguru*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 15d]. Prieiga per internetą: <https://dspguru.com/dsp/faqs/iir/basics/>;
41. ADVANCED SOLUTIONS NEDERLAND. Classical IIR filter design: a practical guide. *Advanced solutions Nederland*. 2018 [žiūrėta 2020 m. balandžio 12d]. Prieiga per internetą: <http://www.advsolned.com/iir-filters-a-practical-guide/>;
42. MIKROE. Digital filter design. *Mikroe*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 15d]. Prieiga per internetą: <https://www.mikroe.com/ebooks/digital-filter-design/introduction-iir-filter>;
43. SMITH, Steven W. Introduction to Digital Filters. In: *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. USA: California Technical Publishing. 1997, p. 261-276. ISBN 0-9660176-3-3;
44. ROYCHOWDHURY, Arojit. FIR Filter Design Techniques. *M. Tech*. 2002;
45. ECSTUFF4U FOR ELECTRONICS ENGINEER. Advantages and disadvantages of FIR filters. *ECSTUFF4U for Electronics Engineer*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 15d]. Prieiga per internetą: <https://www.ecstuff4u.com/2018/07/advantages-and-disadvantages-of-fir.html>;
46. WATFORD, Christopher. Understanding ECG filtering. *EMS-TOPICS*. 2014 [žiūrėta 2020 m. balandžio 17d]. Prieiga per internetą: <http://ems12lead.com/2014/03/10/understanding-ecg-filtering/>;
47. MATHWORKS. Sgolay. *MathWorks*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 17d]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/help/signal/ref/sgolay.html>
48. KAUR, Taranjot. A Review for Removal of Baseline Wander Noise in ECG Using Various Techniques. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. 2015. Vol. 3, n. 8, p. 37-40. ISSN 2321-9653;

49. FUNDAMENTALS OF STATISTICS. Savitzky-Golay filter. *Fundamentals of Statistics*. 2012 [žiūrėta 2020 m. balandžio 18d]. Prieiga per internetą: http://www.statistics4u.com/fundstat_eng/cc_filter_savgolay.html;
50. CCRMA Window method for FIR filter design. *CCRMA*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 16d]. Prieiga per internetą: https://ccrma.stanford.edu/~jos/sasp/Window_Method_FIR_Filter.html;
51. MATHURANATHAN. Moving average filter in Python and Matlab. *GaussianWaves*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 17d]. Prieiga per internetą: <https://www.gaussianwaves.com/2010/11/moving-average-filter-ma-filter-2/>;
52. MATHWORKS. How is a moving average filter different from an FIR filter? *MathWorks*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 16d]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/help/dsp/ug/how-is-moving-average-filter-different-from-an-fir-filter.html>
53. BROESCH, James D. Applications of DSP. In: *Digital Signal Processing*. USA: Elsevier. 2019, p. 125-134. ISBN 8184315104;
54. LESKE, Sabine, et al. Reducing power line noise in EEG and MEG data via spectrum interpolation. *NeuroImage*, 2019. Vol. 189, p. 763-776;
55. TANRIVERDI, Zülkif, et al., 2018, Frontal QRS-T Angle as a Marker of Left Ventricular Hypertrophy in Patients with Essential Hypertension. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*. 2018. Vol. 32, no. 2, p. 77-87. ISSN 1525-6006.
56. KÜCK, Karina, et al. Spatial QRS-T angle variants for prediction of all-cause mortality. *Journal of electrocardiology*. 2018. Vol. 51, no. 5, p. 768-775;
57. ARO, Aapo. L, et al. QRS-T angle as a predictor of sudden cardiac death in a middle-aged general population. *Europace*. 2011. Vol. 14, no. 6, p. 872-876.
58. JAROSZYŃSKI, Andrzej, et al. The improvement of QRS-T angle as a manifestation of reverse electrical remodeling following renal transplantation in end-stage kidney disease patients on haemodialysis. *BMC Nephrology*. 2019. Vol. 20, no. 441;
59. OL BLOG. Architectural Patterns and Styles: MVVM. *Ol Blog*. 2020 [žiūrėta 2020 m. balandžio 16d]. Prieiga per internetą: <https://usefur.com/architectural-patterns-and-styles-mvvm/>;
60. SEEKPNG. Kidney failure icon. *SeekPNG*. 2019 [žiūrėta 2020 m. gegužės 11 d]. Prieiga per internetą: https://www.seekpng.com/ipng/u2w7r5e6o0r5i1u2_kidney-failure-icon/;
61. ICONFINDER. Cancer, chemotherapy, disease, equipment, machine, patient, treatment icon. *Iconfinder*. 2020 [žiūrėta 2020 m. gegužės 11 d]. Prieiga per internetą: https://www.iconfinder.com/icons/2047780/cancer_chemotherapy_disease_equipment_machine_patient_treatment_icon;
62. NETCLIPART. Man Sitting In – Person Eating Icon Png. *Netclipart*. 2019 [žiūrėta 2020 m. gegužės 11 d]. Prieiga per internetą: https://www.netclipart.com/isee/TJbhwo_man-sitting-in-person-eating-icon-png/;
63. PICTOGRAM – FREE. I take medicine – Free material – Pictogram. *Pictogram – free*. 2020 [žiūrėta 2020 m. gegužės 11 d]. Prieiga per internetą: <https://pictogram-free.com/05-free/456-image-download.html>;
64. ICONFINDER. Looking, man, person, phone, read, reading, using icon. *Iconfinder*. 2020 [žiūrėta 2020 m. gegužės 11 d]. Prieiga per internetą:

https://www.iconfinder.com/icons/4146940/looking_man_person_phone_read_reading_using_icon;

65. DIGITAL SPLASH MEDIA. SmartWatch ECG Icon / Pictogram. *Digital Splash Media*. 2013 [žiūrēta 2020 m. gēgužēs 11 d]. Prieiga per internetu: <https://digitalsplashmedia.com/2013/06/free-mhealth-icon-smartwatch-ecg/>;
66. THE INSTITUTE OF CLINICAL SCIENCE & TECHNOLOGY. Foundation Certificate in ECG Interpretation. *The Institute of Clinical Science & Technology*. 2020 [žiūrēta 2020 m. gēgužēs 11 d]. Prieiga per internetu: <https://www.clinicalscience.org.uk>.

Priedai

1. priedas. Informacija apie straipsnį

Projekto numeris 01.2.2-LMT-K-718-01-0030

Magistro metu straipsnio nespėjome išleisti, kadangi dirbome pagal projekto planą. Taip pat 2020 m. vasario mėnesį buvo nutrauktas pacientų tyrimas, dėl įvesto karantino.

Numatoma straipsnio pridavimo data 2020m. liepos 31d. Straipsnio vieta – žurnalas „IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics„. Pavadinimas “A New System for Home Monitoring of Hemodialysis Patients during Long Interdialytic Interval”. Privalomi keli straipsniai, pagal vykdomą projektą.

Tarpinėje ataskaitoje, kuri pateikta Lietuvos mokslo tarybai – įtrauktas mano sukurtos sistemos aprašymas ir architektūrinis modelis.