KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Giedrius Čiuta

NEINVAZINIO GLIUKOMAČIO APARATINĖS IR PROGRAMINĖS DALIES PROJEKTAVIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas:
Prof. dr. Linas Svilainis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

NEINVAZINIO GLIUKOMETRO OPTOELEKTRONINIO DAVIKLIO PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas

Biomedicininė elektronika B2106J21

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Linas Svilainis

(data)

Recenzentas

(parašas) Prof. dr. Vytautas Dumbrava

(data)

Projektą atliko

(parašas) Giedrius Čiuta

(data)

KAUNAS, 2015

Užduotas

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir Elektronikos fakultetas
(Fakultetas)
Giedrius Čiuta
(Studento vardas, pavardė)
Biomedicininė elektronika, B2106J21
(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Neinvazinio gliukometro aparatinės ir programinės dalies projektavimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 26 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Giedriaus Čiutos** baigiamasis projektas tema „Neinvazinio gliukometro aparatinės ir programinės dalies projektavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)*

G. Čiuta. Design of hardware and software for non-invasive glucometer: Bachelor‘s work in biomedical electronics/ supervisor prof. L. Svilainis. Department of Electronics Engineering, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology. – Kaunas, 2015. – 47 p.

SUMMARY

The aim of this project was to design and manufacture wireless non-invasive glucometer. Determination of blood glucose level is performed using NIR absorption spectroscopy technique. „Bluetooth Low Energy“ interface was chosen for the communication with smart devices.

The analytical part is used to present the diabetes mellitus problem, features and capabilities of the other similar products were analyzed. Design of the schematics, printed circuit board and software algorithms are presented in the project section.

G. Čiuta. Neinvazinio gliukomačio aparatinės ir programinės dalies projektavimas: Bakalauro baigiamasis darbas / vadovas prof. dr. L. Svilainis; Elektronikos inžinerijos katedra, Elektros ir elektronikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas. – Kaunas, 2015. – 47 p.

S A N T R A U K A

Darbo tikslas – suprojektuoti bevielį neinvazinį gliukozės kiekį kraujyje matuojantį prietaisą. Gliuokozės kiekis kraujyje nustatomas naudojant šviesos sugertį. Bevieliai komunikacijai su išmaniaisiais įrenginiais pasirinkta „Bluetooth Low Energy“ sąsaja.

Analitinėje dalyje nagrinėjama cukrinio diabeto problema, analizuojami kiti panašios paskirties įrenginiai, aptariamos jų savybės ir galimybės. Projektinėje darbo dalyje suprojektuojama principinė schema, sutrasuojama spausdintinė plokštė ir sukuriama programinė įranga projektuojamam prietaisui.

TURINYS

ĮVADAS 8
1. LITERATŪROS IR UŽDUOTIES ANALIZĖ 9
1.1. Cukrinio diabeto samprata 9
1.2. Cukrinio diabeto ir jo sukeltų komplikacijų statistinė analizė 10
1.3. Cukrinio diabeto diagnozavimas 12
1.4. Gliukozės kiekio kraujyje matavimo prietaisai 14
1.5.1. Reikalavimai gliukometrams 16
1.4.1. Invazinių gliukometrų veikimo principas 17
1.5. Neinvaziniai gliukozės kiekio kraujyje matavimo prietaisai 18
1.6. Kuriamo įrenginio reikalavimai, užduoties patikslinimas 20
2. PROJEKTINĖ DALIS 23
2.1. Struktūros parinkimas 23
2.2. Bevielės komunikacijos parinkimas ir projektavimas 23
2.3. Mikrovaldiklio parinkimas ir projektavimas 24
2.4. Maitinimo grandinės parinkimas ir projektavimas 26
2.7. Schematika 28
2.7.1. Maitinimo grandinės principinės grandinės jungimas 28
2.7.2. Mikrovaldiklio principinės schemos jungimas 29
2.7.3. Montažinės plokštės projektavimas. 31
2.7.4. Programinės įrangos projektavimas. 32
Išvados 35
Literatūros sąrašas 36
P-1. Montažinės plokštės viršutinio ir apatinio sluoksnių 3D vaizdas. 38
P-2. Komponentų sąrašas 39
P-3. Programos kodas 40
P-3.2 Tolimesnis programos kodas. 45
P-4 vartotojo sąsaja. 46
P-5 Pilna įrenginio schema. 47

ĮVADAS

Cukrinis diabetas (CD) – lėtinė endokrininė liga, kuria visame pasaulyje, statistikos duomenimis, serga 387 mln. [1] žmonių. Prognozuojama, kad iki 2035 m. šis skaičius pasieks beveik 600 mln. [1]. Skaičiuojama, kad visame pasaulyje maždaug kas septynias sekundes nuo cukrinio diabeto miršta žmogus. Netinkamas ar pavėluotas CD gydymas gali sukelti komplikacijas: širdies ir kraujagyslių pažeidimus, inkstų nepakankamumą, aklumą, pacientą gali ištikti infarktas arba insultas.

Nors kol kas CD yra nepagydoma liga, tačiau tinkamai gydantis pacientai gali gyventi visavertį gyvenimą ir išvengti komplikacijų. Kadangi, organizmas negali natūraliai reguliuoti gliukozės kiekio kraujyje, diabetikas privalo atidžiai sekti ir įvairių medikamentų pagalba reguliuoti gliukozės kiekio kitimą kraujyje. Tačiau problema ta, kad visi prietaisai yra invaziniai. Darbo objektas – neinvazinis gliukomatis su bevieliu duomenų perdavimu į išmanųjį įrenginį. Neinvaziniais matavimo metodais siekiama išvengti varginančio adatų naudojimo kraujo mėginių ėmimui. Šios sistemos ypatybės: NIR diodų panaudojimas, nes pastebėta, kad gliukozės molekulės sugeria/išsklaido specifinio bangos ilgio šviesą, todėl gliukozės kiekio kraujyje kitimas nustatomas analizuojant praėjusios pro audinius NIR šviesos kiekį. Bevieliai komunikacijai panaudojama nauja „Bluetooth Low Energy“ komunikacija sąsajai su išmaniaisiais įrenginiais.

Suformuluoti tokie darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti problemą, apžvelgti šiuo metu rinkoje esančius neinzinius gliukometrus.
2. Parinkti elementinę bazę, užtikrinančią:
    a. Gliukozės kiekio kraujyje nustatymą.
    b. Bevielį ryšį duomenų perdavimui.
3. Suprojektuoti prietaisą su pasirinkta elementine baze.
4. Suprojektuoti programinę įrangą įrenginiui.

1. LITERATŪROS IR UŽDUOTIES ANALIZĖ

1.1. Cukrinio diabeto samprata

Gliukozė – balta, skaidri, kristalinė, gerai vandenyje tirpstanti medžiaga. Cheminė formulė – $C_6H_{12}O_6$, turi kelias skirtingas erdvines struktūras. Gliukozė yra vienas pagrindinių žmogaus organizme vykstančių procesų energijos šaltinių. Visi žmogaus suvartojami angliavandeniai yra skaidomi iki gliukozės, nes tik tokiu gali būti pasisavinama. Ląstelės gauna energijos būtent iš gliukozės. Organizmo ląstelių kvėpavimo reakcijoms vykdyti yra būtina gliukozė (žr. reakcijos formulė 1.1):

$$6O_2 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O \quad (1.1)$$

Jei gliukozė negali patekti į ląsteles, jos „badauja“ ir miršta dėl energijos stygiaus. Teigiama, kad vien smegenims per parą reikia 120 g. gliukozės [2]. Tačiau tam, kad gliukozė patektų į ląsteles, reikalingas kasos gaminamas harmonas insulinas. Jeigu insulino gaminama nepakankamai arba jis neveikia, sakoma, kad asmuo serga cukriniu diabetu.

Cukrinis diabetas (lot. diabetes mellitus) – metabolinis sutrikimas, kuriam būdinga lėtinis gliukozės kiekio kraujo didėjimas, angliavandenių, riebalų ir baltymų apykaitos sutrikimas, atsiradęs dėl sutrikusio insulino išskyrimo, veikimo, arba abiejų [3]. Kasos išskiriamas harmonas insulinas atlieka pagrindinį vaidmenį gliukozės pernašai į ląstelę. Be insulino gliukozė negali patekti į ląsteles. Taigi, sergančiųjų cukriniu diabetu galime stebėti gana paradoksalią situaciją – nors kraujyje gausu organizmo ląstelėms reikalingos gliukozės, tačiau dėl sutrikusio insulino išskyrimo ar veikimo gliukozės negali patekti į ląsteles ir jos žūna. Priklausomai nuo to, kodėl egzistuoja neveikiantis insulino išskyrimo ir/ar veikimo mechanizmas skiriami keli cukrinio diabeto tipai.

I tipo cukrinis diabetas. Sergant I tipo sukriniu diabetu sunaikinamos kasoje esančios Langerhanso salelių β ląstelės, kurios gamina insuliną. Paprastai skiriamos dvi šio susirgimo kilmės teorijos: autoimuninė ir idiopatinė. [3] Liga dažniausiai serga vaikai, paaugliai ir suaugę žmonės iki 40 metų. Taip pat, nustatyta, kad liga dažniau serga afrikos gyventojai ir indėnai. Kadangi, kasa insulino negamina pakankamai arba negamina iš viso, paciento gyvybės palaikymui reikalingos insulino injekcijos. Todėl I tipo cukrinis diabetas dar vadinamas nuo insulino prilausomu cukriniu diabetu (ang. insulindependent diabetes mellitus). Maždaug 5 % visų sergančiųjų cukriniu diabetu serga I tipo cukriniu diabetu.

II tipo cukrinis diabetas. Dažniausiai paplitusi cukrinio diabeto forma, juo serga 90 % visų sergančiųjų cukriniu diabetu [4]. Šio sutrikimo metu stebimas organizmo nejautrumas insulinui. Todėl susidaro gana paradoksali situacija – kraujyje yra padaugėję tiek insulino

(hiperinsulinemija), tiek gliukozės (hiperglikemija). Tačiau dėl ląstelių nejautrumo insulinui gliukozė negali patekti į ląsteles. Gydymas insulinu reikalingas tik dažniausiai vėlesnėse ligos stadijose, kai kasos β ląstelių funkcija ima mažėti. Didesnė tikimybė susirgti II tipo CD yra vyresniame amžiuje, taip pat nutukusiems asmenims bei tiems, kurių giminaičiai sirgo cukriniu diabetu. Taip pat pastebėta, kad tam tikrų rasių atstovai: afroamerikiečiai, Pietų Amerikos indėnai dažniau serga II tipo cukriniu diabetu. Nors II tipo cukriniam diabetui tai nebūdinga, tačiau ši liga dažnai diagnozuojama paaugliams ir vaikams iš Ramiojo vandenyno, Azijos salų, taip pat afroamerikiečiams bei amerikos indėnams [5].

Gestacinis (nėščiųjų) diabetas. Gestaciniu diabetu susergama, kai insulino gamybą ir jo dalyvavimą medžiagų apykaitoje sutrikdo kiti hormonai, kuriuos gamina placenta. Kai kurie iš jų gali blokuoti insulino veikimą. Tam, kad būtų išlaikomas normalus gliukozės kiekis kraujyje, kasa privalo pagaminti daugiau insulino, tačiau jei nėščiosios kasa negali įvykdyti naujos gamybos kvotos, gliukozės kiekis kraujyje didėja, vystosi gestacinis diabetas. Diagnozavus šią ligą privalu stebėti gliukozės kiekį kraujyje ir glikemiją stengtis palaikyti artimą sveiko žmogaus gliukozės kiekiui kraujyje tam, kad būtų išvengta vaisius komplikacijų būdingų sergant cukriniu diabetu. Taip pat, gestacinis diabetas pavojingas netik dėl komplikacijų naujagimiui ar jo mamai, sutrikusi nėščiosios medžiagų apykaita nėštumo metu gali tapti sutrikusio vaisiaus vystymosi priežastimi.

Kiti cukrinio diabeto tipai. Didėjant susirgimų cukriniu diabetu skaičiui, PSO (pasaulio sveikatos organizacija, ang. WHO) 1999 m. papildė cukrinio diabeto tipų klasifikaciją [3]. Naujoje klasifikacijoje smarkiai išplėsta kitų cukrinio diabeto tipų grupė. Į šią grupę įtraukta retesnės cukrinio diabeto priežastys: genetiniai beta ląstelių funkcijų defektai, genetiniai insulino veikimo defektai, egzokrininės kasos ligos, endokrinopatijos, vaistų ar cheminių medžiagų sukelti, infekcijos, retos imuninės kilmės cukrinio diabeto formos, kiti genetiniai sindromai, kartais susiję su cukriniu diabetu [3]. Nustatyta, kad šie specifiniai cukrinio diabeto tipai sudaro apie 1-5% visų diagnozuoto cukrinio diabeto atvejų.

1.2. Cukrinio diabeto ir jo sukeltų komplikacijų statistinė analizė

Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO, ang. World Health Organisation) 2012m. statistikos duomenimis [6], cukrinis diabetas yra viena iš dešimties dažniausių mirties priežasčių visame pasaulyje (žr. F pav.). Tiesa verta pažymėti, kad cukrinio diabeto sukeliamų mirties priežasčių lyginant su 2000 m. padaugėjo 35% (nuo 2% visų mirties priežasčių 2000 m. iki 2,7% visų mirties priežasčių 2014 m.) [6].

Taip pat derėtų suprasti, kad pateikti statistiniai duomenys neatspindi tikrojo cukrinio diabeto keliamo pavojaus. Cukriniam diabetui būdingas lėtinis gliukozės kiekio kraujyje didėjimas. Tai

ilgainiui sukelia kraujotakos sistemos pažeidimus. Išsivysčiusios širdies ir kraujagyslių ligos gali tapti mirties priežastimi. Todėl pateiktas cukrinio diabeto sukeliamų mirčių skaičius yra daugiau orientacinis ir apibūdinantis tik nedidelę dalį tos žalos, kurią iš tiesų daro cukrinis diabetas.



1 Pav. 10 dažniausių mirties priežasčių pasaulyje 2012 m. [6].

Be stebimo lėtinio gliukozės kiekio kraujyje didėjimo, pastebimos dar kelios tendencijos [5] – 71 % sergančiųjų cukriniu diabetu, vyresnių nei 18 metų arterinis kraujo spaudimas yra padidėjęs (140/90 mmHg arba aukštesnis), beto 65 % diabetikų „blogojo“ cholesterolio (mažo tankio lipoproteinai) kiekis yra didesnis negu rekomenduojama (daugiau negu 2.6 mmol/L). Visa tai blogina kraujagyslių būklę ir gali sukelti mirtinas komplikacijas – infarktą, insultą.

Kraujagyslių pažeidimai dažnai tampa kitų organų veiklos sutrikimo priežastimi. Dėl smulkių kraujagyslių pažeidimų neretai nukenčia vienas iš pagrindinių jutimo organų – akys. Teigiama, kad šiuo metu visame pasaulyje yra 39 mln. neregių [7]. Maždaug 4.8 % aklųjų neteko regėjimo dėl cukrinio diabeto sukeltų komplikacijų. Sutrikdyta kraujotaka nėra pajėgi tinkamai aprūpinti atitinkamų organizmo struktūrų deguonimi ir maisto medžiagomis, todėl kartais pacientams tenka amputuoti apatines galūnes. Bendrai apibūdinti yra netgi įvestas terminas „diabetinė pėda“. Statistikos duomenimis, maždaug 60 % [5] apatinių galūnių amputacijų ne dėl traumų patyrusių pacientų sirgo cukriniu diabetu.

Cukrinio diabeto sukelti kraujagyslių pažeidimai bei padidėjęs gliukozės kiekis kraujyje dažnai inicijuoja vidaus organų pažeidimus. Neratai tai būna inkstų veiklos sutrikimai. Net 44 % pacientų, kuriems buvo diagnozuotas inkstų nepakankamumas, cukrinis diabetas buvo pripažintas pagrindine priežastimi sukėlusia inkstų negalavimus.

Taip pat cukrinis diabetas „tuo pačiu keliu“, t.y. pažeisdamas kraujotakos sistemą gali pažeisti nervus (pažeidimai šioje srityje vadinami periferine neuropatija), sergantysis cukriniu diabetu gali netgi prarasti atitinkamų kūno dalių nejautrumą, o traumų atveju tai gali privesti prie jau minėtų amputacijų. Taip pat, cukrinis diabetas gali pažeisti reprodukcines funkcijas, kepenis (pastebimas kepenų suriebėjimas), klausą, netgi sukelti depresiją.

Taigi, apibendrinant galima teigti, kad cukrinis diabetas gali sukelti skausmingas ir net mirtinas komplikacijas. Norint jų išvengti privalu netik kruopščiai sekti gliukozės kiekį kraujyje ir naudoti medikamentus. Cukrinio diabeto gydymas reikalauja keisti gyvenimo būdą. Siekiant išvengti ligos komplikacijų rekomenduojama atsisakyti žalingų įpročių, reguliariai sportuoti, periodiškai atlikti akių, inkstų ir kitų organų veiklos pokyčius diagnozuojančius tyrimus.

1.3. Cukrinio diabeto diagnozavimas

Vienas iš patikimiausių būdų padedančių atpažinti cukrinį diabetą yra geriamasis gliukozės toleravimo mėginys. Tiriamajam prieš tyrimą 8 – 14 valandų neleidžiama valgyti. Tyrimo metu tiriamasis turi išgerti gliukozės tirpalą (75 g. gliukozės ištirpintos 250 – 300 ml. vandens). Imamas kraujo mėginys prieš išgeriant gliukozės tirpalo ir dvi valandos po mėginio krūvio. Gliukozės kiekio kraujyje rodmenys cukrinio diabeto diagnozei nustatyti pateikti 1.1 lentelėje [3].

Laikoma, kad sveiko žmogaus gliukozės kiekis kraujyje svyruoja maždaug nuo 4,1 – 5,6 mmol/l (73,8 – 100,8 mg/dL) [3].

1.1 lentelė. Glikemijos rodmenys cukrinio diabeto ir kitų hiperglikemijų kategorijų diagnozei nustatyti.

	Gliukozės koncentracija[1], mmol/l			
	kraujas		plazma	
	veninis	kapiliarinis	veninė	kapiliarinė
Cukrinis diabetas:				
Nevalgius	≥6,1	≥6,1	≥7,0	≥7,0
arba				
2 val. po gliukozės krūvio	≥10,0	≥11,1	≥11,1	≥12,2
arba abu				
Sutrikęs gliukozės toleravimas (SGT)				
Nevalgius	<6,1	<6,1	<7,0	<7,0
ir				
2 val. po gliukozės krūvio	≥6,7 ir <10,0	≥7,8 ir <11,1	≥7,8 ir <11,1	≥8,9 ir <12,2
Sutrikusi glikemija nevalgius (SGN)				
Nevalgius	≥5,6 ir <6,1	≥5,6 ir <6,1	≥6,1 ir <7,0	≥6,1 ir <7,0
ir				
2 val. po gliukozės krūvio	<6,1	<7,8	<7,8	<8,9

Kitas tyrimas leidžiantis įvertinti ilgalaikę glikemiją yra glikuoto hemoglobino koncentracijos kraujyje nustatymo tyrimas. Gliukozės molekulės kraujyje prisijungia prie raudonuosiuose kraujo kūneliuose esančio hemoglobino. Toks hemoglobinas vadinamas glikuotu hemoglobinu. Toks jis išbūna visą eritrocito gyvavimo trukmę, t.y. maždaug iki 120 dienų. Glikuoto hemoglobino tyrimas neparodo momentinio gliukozės kiekio kraujyje ir nekinta taip greitai, kad būtų įmanoma įvertinti glikemijos pokyčius prieš/po valgio, fizinės veiklos ar pan. Glikuoto hemoglobino tyrimas yra gliukozės kiekio kraujyje retrospektyva per paskutinius mėnesius. Todėl šis tyrimas nėra tinkamas kasdieniam glikemijos sekimui, tačiau puikiai tinka įvertinti cukrinio diabeto gydymo efektyvumą. Turint galvoje tai, kad nuolatinis gliukozės kiekio kraujo padidėjimas turi nemažai įtakos

[1] Kai kuriose šalyse įprasta gliukozės kiekį kraujyje matuoti ne mmol/L (milimoliais litre), bet mg/dL (miligramais decilitre).

diabetinėms komplikacijoms ir įvertinus glikuoto hemoglobino kiekį (žr. lentelę 1.2) [8] būtinos atitinkamos gydymo korekcijos.

1.2 lentelė. Glikuoto hemoglobino HbA1c kraujyje rodmenys cukrinio diabeto gydymo efektyvumui įvertinti.

	Glikuoto hemoglobino HbA_{1c} koncentracija, %	Vidutinis gliukozės kiekis kraujyje, mmol/L
Nesergant cukriniu diabetu.	< 5,7	< 6,5
Reikalingi tolimesni tyrimai dėl galimo ląstelių nejautrumo insulinui.	5,7 – 6,4	6,5 – 7,6
Sergant cukriniu diabetu ir gliukozės kiekis kraujyje kontroliuojamas gerai.	6,5 - 7	7,7 – 8,5
Reikalingos gydymo korekcijos, gliukozės kiekis kraujyje kontroliuojamas prastai.	> 7	> 8,5

Tiesa, verta pažymėti, kad tyrimo rezultatų tikslumui nemažai įtakos turi įvairūs faktoriai: paciento amžius, kiek laiko pacientas serga cukriniu diabetu, įvairūs medikamentai ir kt. Tačiau įvertinus visus tyrimo rezultatą galinčius iškreipti faktorius, glikuoto hemoglobino kiekio nustatymo tyrimas gali padėti įvertinti cukrinio diabeto gydymo eigą ir taip išvengti cukrinio diabeto komplikacijų.

1.4. Gliukozės kiekio kraujyje matavimo prietaisai

Cukriniam diabetui būdingi negalavimai istoriniuose šaltiniuose [9] užfiksuoti dar senovės egipto laikais (maždaug 1500 m. pr. Kr.) ir nors gana tikslūs cukrinio diabeto ligonių stebėjimai, ligos simptomai ir komplikacijos aprašyti gerokai vėliau gydytojo Avicenos (maždaug 1000 m. po Kr.), gliukozės kiekis kraujyje nebuvo nustatinėjamas. Viduramžiais cukrinio diabeto (kaip ir daugumos ligų tuo metu) diagnozavimui bei ligos eigos stebėjimui buvo naudojamas paciento šlapimas. Iš mėginio spalvos, nuosėdų, konsistensijos, o neretai ir iš skonio viduramžių gydytojai bandydavo nuspėti ligos eigą.

Situacija pasikeitė tik XIX a. pradžioje. kuomet mokslininkams pavyko išskirti gliukozę iš diabetiko kraujo mėginio. Tuomet gliukozės imta ieškoti ir paciento šlapime. Pirmoji sistema gebėjusi atpažinti gliukozę šlapime išrasta XIX a. viduryje veikė labai paprastai - avies vilna sumirkyta atitinkamuose cheminiuose reagentuose buvo įdedama į šlapimą ir dėl šlapime esančios

gliukozės šlapimo mėginio spalva tapdavo juoda. Tyrimas buvo tobulinamas, pasitelkti gravimetriniai matavimai ir keičiami cheminiai reagentai, tačiau padidėjusį gliukozės kiekį organizme aptikdavo tik tiriant paciento šlapimą. Tokie tyrimo principai medicinoje išsilaikė dar maždaug 50 metų, iki pat XX a. vidurio.

XX a. šeštajame dešimtmetyje imta naudoti sausuosius cheminius reagentus, t. y. ant popieriaus padengto atinkama medžiaga buvo užlašinama šlapimo ir pagal tai kaip pakisdavo popieriaus spalva buvo galima apytiksliai įvertinti gliukozės kiekį kraujyje. Taip pat panašiu metu padarytas labai svarbus atradimas nulėmęs tolimesnį gliukometrų vystymąsi. Pastebėta, kad gliukozės kiekio organizme nustatymui naudojant šlapimą nemažai įtakos turi suvartotų skysčių kiekis. Taip pat lygiagrečiai ištyrus to pačių pacientų kraujo ir šlapimo mėginius pastebėta kad gliukozės kiekių koreliacija yra silpna. Gliukozės kiekis randamas šlapime yra tik retrospektyva tikrosios glikemijos kraujyje. Taip yra todėl, nes tam, kad gliukozė patektų į šlapimą reikia, kad gliukozė kraujyje viršytų atitinkamą slenkstinę riba, kurios inkstai nepajėgia išfiltruoti. To pasekoje, tiriant šlapimą neįmanoma nustatyti ar paciento gliukozės kiekis kraujyje per mažas, normalus ar netgi truputi padidėjęs. Šlapimo tyrimas cukrinio diabeto diagnozavimui gali būti atliekamas tik, jei gliukozės kiekis smarkiai padidėjęs (hiperglikemija). Todėl nuspręsta glikemijos nustatymui naudoti kraujo mėginius.

Kadangi, tapo aišku, kad glikemija patikimiausiai nustatoma analizuojant kraujo mėginius, anksčiau plėtota šlapimo tyrimo su sausais reagentais kryptis pritaikyta kraujo mėginiams. Principas labai panašus į jau anksčiau nagrinėta, tik, kad tiriamu objektu tapo kraujas – ant testinės juostelės buvo lašinamas kraujas ir vėliau analizuojama pakitusi juostelės spalva. Deja, derėtų paminėti, kad tos tyrimas turėjo nemažai trūkumų: buvo reikalingas didelis kraujo kiekis (50-100 μL), tekdavo laukti apie minutę laiko, tačiau sudėtingiausia būdavo tiksliai įvertinti gliukozės kiekį pagal pateiktą spalvų paletę. Tačiau spalvos įvertinimas taip pat priklauso nuo aplinkos apšvietimo, bei individualaus gebėjimo skirti spalvas. Tapo aišku, kad atliekant tyrimą ir nustatinėjant glikemijos reikšmę reikalingas automatinis – nuo žmogaus asmeninių savybių ar gebėjimų nepriklausomas glikemijos nustatymo metodas.

XX a. aštuntasis ir devintasis dešimtmečiai tapo permainingu laikotarpiu gliukometrams. Tyrimo metodui panaudojus šviesos atspindį, naujieji gliukometrai tapo labai panašus į tokius, kokius turime šiandien. Gliukometrus tapo galima kalibruoti, jie tapo tikslesni, mažesni, matavimo trukmė gerokai sutrumpėjo. Kai kurie gliukometrai netgi turėjo atmintį ar garsinį signalą jei gliukozės kiekis kraujyje tapdavo ytin didelis (>22 mmol/L), gerokai sumažėjo ir reikalingo tyrimui atlikti paciento kraujo mėginys.

Prireikė kone šimtmečio, kad diabetikai galėtų savo sveikatą patikėti tokiems prietaisams, kokius turime šiandien. XXI a. vis daugiau dėmesio skiriama neinvaziniams gliukometrams. Ir nors neinvaziniams prietaisams vis dar gerokai stinga tikslumo, neabejojama, kad vieną dieną neinvaziniai gliukometrus išstums savo protėvius – invazyviai gliukozės kiekį kraujyje matuojančius prietaisus.

1.5.1. Reikalavimai gliukometrams

Invazinius gliukometrus, priešingai nei neinvazinius prietaisus iš esmės jungia viena bendra savybė – jiems visiems reikalingas kraujo mėginys. Šiuo metu rinkoje siūloma nemažai skirtingų gliukometrų, besiskiriančių kaina, dydžiu, duomenų apdorojimu, kraujo mėginio dydžiu reikalingo atlikti tyrimą. Siekiant išsiaiskinti kokį gliukometrą pasirinkti rekomenduojama atkreipti dėmesį į keletą svarbiausių parametrų [10] : tikslumą, minimalų kraujo mėginio dydį, prietaiso dydį, kūno vietų iš kurių leidžiama imti kraujo mėginį tyrimui, duomenų apdorojimą ir saugojimą ir prietaiso naudojimo paprastumą ir aiškumą.

Tikslumas. Pats svarbiausias gliukometro parametras. Svarbu, kad prietaisas būtų kuo tikslesnis. Nuo to, koks bus tyrimo rezultatas priklauso būsimi paciento veiksmai – galimos insulino, medikamentų injekcijos, koreguojama mityba, fizinė veikla ir pan. Beto, kuo tikslesni duomenys, tuo bus lengviau parinkti ir koreguoti gydymą. Gliukometrų, skirtų kasdieniam namų vartojimui, reikalaujamas prietaiso tikslumas nurodytas tarptautiniame standarte ISO 15197:2013 (ISO 15197:2013, “Requirements for blood glucose monitoring systems for self-testing in managing diabetes mellitus”). Standarte reikalaujama, kad 99 % matavimų rezultatų paklaida nebūtų didesnė negu ±15 %.

Kraujo mėginio dydis. Sergant cukriniu diabetu reikalingas nuolatinis gliukozės kiekio kraujyje stebėjimas, todėl normalu, kad per parą tenka atlikti nuo trijų iki dešimties ar net daugiau gliukozės kiekio kraujyje nustatymo matavimų. Kuo mažesnio kraujo mėginio pakanka gliukometrui atlikti matavimą, tuo mažiau skausminga ir nepatogi yra visa procedūra. Gliukozės monitoriams lyginant su prietaisais, kurie reikalauja kraujo mėginius imti tik iš pirštų, pakanka mažesnio kraujo mėginio. Skirtingų gliukometrų [10] kraujo mėginio dydis yra 0,3 – 10 μL.

Prietaiso dydis. Siekiant padaryti prietaisus kuo patogesnius, gliukometrai maksimaliai minimizuojami. Derėtų nepamiršti, kad gliuometrai yra tik viena iš atliekamo tyrimo grandinės grandžių, nes taip pat reikalingos ir diagnostinės juostelės, adatėlės bei lancetas. Todėl prietaiso dydis ir kompaktiškumas tampa svarbus uždavinys siekiant sukurti kuo patrauklesnį prietaisą vartotojui. Gliuometrų analizės duomenimis [10] šiuolaikinių prietaisų svoris svyruoja nuo maždaug 17 g. iki tik 150 g.

Kūno dalys, iš kurių leidžiama imti kraujo mėginį gliukozės kiekio kraujyje nustatymui. Kadangi, tenka nuolat kartoti kraujo mėginių ėmimo procedūrą, platus kūno vietų pasirinkimas kraujo mėginio ėmimui yra didelis privalumas renkantis gliukometrą. Dažnai kraujo mėginių ėmimas tik iš pirštų galiukų gali sukelti jų jautrumą, galimi odos sukietėjimai ir pan. Kai kuriems gliukometrams galima naudoti kraujo mėginį paimtą iš kitos kūnos vietos, pvz. dilbio srities, tai leidžia keisti mėginio ėmimo vietą ir išvengti skausmingų tyrimo komplikacijų.

Duomenų apdorojimas ir saugojimas. Invaziniais matavimo prietaisais atliekamas gliukozės kiekio kraujyje stebėjimas nėra tęstinis ir nenutrūkstamas, t.y. gliukozės kiekis išmatuojamas tam tikrais laiko tarpais. Todėl vienas matavimo rezultatas informuoja tik apie konkrečiu metu esantį gliukozės kiekį kraujyje. Visgi, siekiant pritaikyti kuo efektyvesnį gydimą būtina kruopščiai surinktų duomenų analizė. Šiuolaikiniai gliukometrai dažniausiai leidžia saugoti iki 500 tyrimų rezultatų. Taip pat siūloma gliukometro atmintį panaudoti netik rezultatų išsaugojimui, tačiau ir kitos informacijos, pvz. dietos ar fizinės veiklos įrašų ir pan. įrašų saugojimui.

Prietaiso naudojimo paprastumas. Cukriniu diabetu serga skirtingo amžiaus ir lyties asmenys. Visi jie turi skirtingą patirtį ir santykį su technologijomis. Todėl siekiama, kad nepriklausomai nuo prietaiso konstrukcijos ar teikiamų papildomų galimybių, gliukometro naudojimas būtų kuo paprastesnis ir lengvai suprantamas vartotojui.

1.4.1. Invazinių gliukometrų veikimo principas

Dauguma invazinių gliukometrų pagrįsti elektrocheminiu veikimo principu, todėl atlikti matavimą reikalingos specialios diagnostinės juostelės. Kiekvienoje juostelėje yra cheminio katalizatoriaus (ang. glucose oxidase), kuris reaguoja su gliukoze esančia kraujyje sudarydama rūgštį, vadinamą gliukono rūgštimi. Tada gliukono rūgštis reaguoja su kita chemine medžiaga, esančia diagnostinėje juostelėje, heksacianoferatu (anionas, vienos iš diagnostinėje juostelėje esančių druskų liekanų). Naujas susidaręs gliukono rūgšties ir heksacionoferato junginys yra vadinamas ferocianidu. Tuomet paleidus elektros srovę per mėginį galima nusakyti gliukozės kiekį kraujyje. Priklausomai nuo to, kiek gliukozės buvo kraujyje ir koks atitinkamų naujų medžiagų susijungė, keičiasi srovės dydis. Toks gliukozės kiekio kraujyje nustatymas yra vadinamas elektrocheminiu amperometriniu tyrimo metodu.

Kita alternatyva yra prietaisai, veikiantys elektrocheminiu kolorimetriniu veikimo principu. Kraujyje esanti gliukozė reaguoja su cheminiais reagentais, esančiais diagnostinėje juostelėje. Tuomet naudojantis šviesos diodais (LED) ir fotodiodais analizuojama diagnostinės juostelės šviesos sugertis.

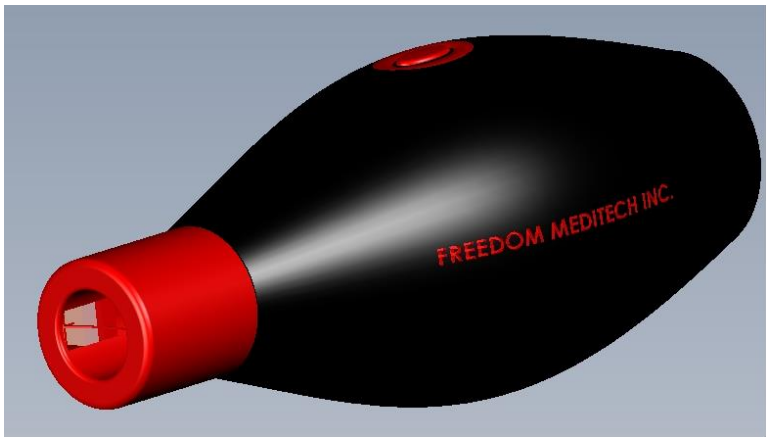
Derėtų nepamiršti, kad visiems tyrimo metodams, kuriems reikalingi cheminiai tam tikri cheminiai reagentai ar vyksta cheminės reakcijos, didelį poveikį daro šiluminės aplinkos parametrai: temperatūra, drėgmė.

1.5. Neinvaziniai gliukozės kiekio kraujyje matavimo prietaisai

Daugėjant CD susirgimo atvejų siekiama atrasti naujų, pacientams paprastesnių ir mažiau skausmingų glikemijos nustatymo metodų. Vis daugiau dėmesio kreipiama į neinvazinį gliukozės kiekio kraujyje monitoringą galinčias pasiūlyti technologijas.

Tačiau gamintojai, kuriantys gliukometrus susiduria su nemažai problemų. Didžiausia iš jų yra matavimų tikslumas. Taip pat pageidautina, kad testavimas būtų atliekamas greitai, prietaisu būtų nesudėtinga naudotis. Siektina, kad prietaisas būtų nedidelių matmenų, su jais būtų patogu keliauti. Nors dar nėra sukurto neinvazinio gliukometro rezultatų tikslumo galinčio „varžytis“ su invaziniais prietaisais, apžvelgiau didžiausias šiuo metu pasaulyje esančias neinvazinių gliukometrų „viltis“.

Kompanija „Freedom Meditech“ kuria naujus prietaisus lėtinių ligų, tame tarpe ir diabeto, diagnozavimui ir gydymui. Prietaisas „I-SugarX“ (žr. pav. 1.2) [11] paremtas fluorescencijos reiškinio veikimo principu. Kadangi, žinoma, kad cukrinis diabetas sukelia atitinkamus pokyčius akyje, prietaisu šviečiama atitinkamos bangos ilgio šviesa ir analizuojama atsispindėjusios šviesos poliarizacija. Su prietaisu šiuo metu yra atlikinėjami klinikiniai tyrimai, tam kad jis būtų pripažintas tinkamu naudoti diagnostiniais ir gydymo tikslais.



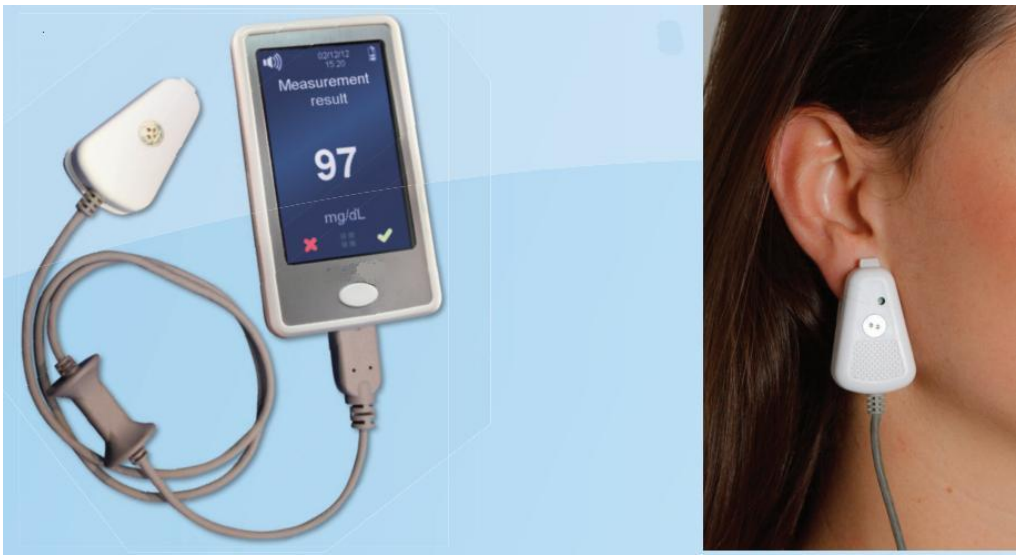
2 Pav. „I – SugarX“ [11].

Kompanija „Cnoga Medical“ yra sukūrusi NIR spektroskopija paremtą neinvazinį gliukometrą „TensorTip CoG“ (žr. pav 3). Šiuo prietaisu paprasta naudotis, tyrimas neinvazinis. Beje, prietaisu galima matuoti ir kraujo įsotinimą deguonimi, ir netgi kraujo spaudimą. Visgi, kalbant apie glikemijos nustatymą, prietaisas rekomenduojamas naudoti tik II tipo diabetu sergantiems asmenims. Prietaisas kainuoja apie 2000$.



3 Pav. „TensorTip CoG“ [12]

„Integrity Applications“ diabetikams siūlo dar vieną neinvazinio gliukometro alternatyvą - „GlucoTrack“ (žr. 4 pav) [13]. Gliukozės kiekis išmatuojamas naudojantis ultragarsu ir temperatūros matavimu. Matavimo vieta pasirinktas ausies spenelis. Matavimas greitas ir gana patikimas, duomenis tolesniam apdorojimui galima perkelti į kompiuterį naudojantis USB sąsaja. Prietaisas kainuoja apie 2000$. Tačiau šiam prietaisui reikalingas dažnas kalibravimas (kartą į mėnesį), beto kalibravimo procesas trunka ilgai (apie 1,5h). Taip pat, derėtų paminėti, kad naudojamą segtuką būtina pakeisti nauju kas pusę metų (segtuko kaina maždaug 100$).



4 Pav. „GlucoTrack“ [13].

Britų kompanija „MediWise“ diabetikams siūlo dar vieną neinvazinių gliukometrų alternatyvą – „GlucoWise“ (žr. 5 pav.). Kaip skelbiama kompanijos internetinėje svetainėje [14], tiksliam glikemijos nustatymui naudojamas aukštų dažnių spinduliavimas ir ypatingos jutiklio

konstrukcijos panaudojimas. Prietaisas spinduliuoja aukšto dažnio bangas (~65 GHz), kad prasiskverbtų į audinius, praėjusios bangos yra surenkamos ir analizuojamos. Tyrimas trunka trumpai (~10 s.), prietaisas turi bevielę „Bluetooth 4.0“ versiją, todėl duomenis patogu išsaugoti išmaniajame įrenginyje.



5 Pav. „GlucoWise“ [14].

Apibendrinant, derėtų pasakyti, kad renkant duomenis apie neinvazinius gliukometrus ir atliekant jų techninių parametrų analizę susidurta su informacijos stygiaus problema. Gamintojai ypatingai vangiai aprašo savo kuriamus prietaisus ir kruopščiai slepia bent kiek detalesnę prietaiso informaciją.

1.6. Kuriamo įrenginio reikalavimai, užduoties patikslinimas

Didžiausia invazinių gliukometrų problema yra ta, kad glikemijos nustatymui reikalingas kraujo mėginys. O tai reiškia nors ir minimalią, tačiau medicininę intervenciją į žmogaus organizmą. Infekcijų pavojus, odos pakitimai – tai dažno kraujo mėginių ėmimo rezultatas. Beto, invaziniu gliukometru atliekamiems tyrimams reikalingas visas įrangos paketas: netik pats gliukometras, tačiau tik konkrečiam gliuokometrui pritaikytos tyrimo juostelės, lancetas, vienkartinės adatos. Todėk tokių prietaisų naudojimas yra sudėtingas ir nepatrauklus vartotojams. Neinvaziniai gliukometrai yra labai laukiami didelės ir gausėjančios diabetikų bendruomenės. Taip pat, kaip matyti iš rinkos tyrimo, neinvaziniai gliukometrai yra patrauklus ir šiuo metu neužpildytos verslo nišos objektas.

Atsižvelgus į potencialius prietaiso naudotojus ir apžvelgus šiuo metu rinkoje egzistuojančius prietaisus, tapo aišku kokiomis savybėmis ir funkcijomis turėtų pasižymėti kuriamas gliukometras, kad būsimas prietaisas būtų kuo patrauklesnis vartotojui.

1. Gliukozės kiekį kraujyje tenka matuoti kelis kartus per parą, tai reiškia, kad matavimas turi būti atliekamas netik namuose, tačiau ir darbo vietoje ar kelionėje. Gliukometras negali

sukelti problemų jį transportuojant, todėl gliukometras turėtų būti kaip įmanoma mažesnių matmenų, bei kaip įmanoma lengvesnis.

2. Atlikti glikemijos matavimai nepaprastai svarbūs pritaikant ir/ar koreguojant gydymą. Tam reikalinga kuo kruopščiau ir patogiau surinkti visų matavimų duomenis. Neabejotinai patogiausia pasinaudoti išmaniųjų įrenginių teikiamomis bevielėmis komunikacijomis ir tyrimų duomenis saugoti tiesiog savo išmaniajame įrenginyje. Turbūt nerastume geresnio varianto negu pasinaudoti energetištai efektyvia „Bluetooth“ 4.0 sąsaja.
3. Statistikos duomenimis, cukriniu diabetu serga beveik 400 mln. gyventojų visame pasaulyje. 77% sergančiųjų gauna žemas arba vidutines pajamas [1]. Taigi, tam, kad asmuo galėtų įsigyti prietaisą, jo kaina turėtų būti kaip įmanoma mažesnė.
4. Cukrinis diabetas – liga, neturinti amžiaus ar lyties apribojimų. Šia liga serga tiek jauni, tiek pagyvenę žmonės, tiek vyrai, tiek moterys. Todėl prietaiso valdymas turėtų būti kuo paprastesnis ir lengvai suprantamas skirtingo amžiaus grupių ar skirtingą išsilavinimą turintiems asmenims.

1. Pirminiai tyrimai

Išanalizavus įmanomus neinvazinius gliukozės kiekio kraujyje nustatymo metodus pasirinktas spektrofotometrinis tyrimo metodas. Neinvzinių tyrimo metodų analizė pateikta K. Abromaitytės baigiamajame bakalauro projekte „Neinvazinio gliukometro optoelektroninio daviklio projektavimas ir tyrimas“, todėl šiame darbe tyrimo metodai nebus aptariami.

Pasirinktu tyrimo metu gliukozės kiekis kraujyje nustatomas atliekant audinių spektrinę analizę. Pasirinktais NIR bangų ruožo diodais peršviečiamas pirštas ir analizuojama perėjusi šviesa. Tyrimas remiasi Lamberto – Bugerio – Bero dėsniu (žr. formulę 2.1) [22].

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l} \tag{2.1}$$

Čia: I – praėjusios šviesos intensyvumas, cd;

I_0 – pradinės šviesos intensyvumas, cd;

C – tirpalo koncentracija, mol/L;

L – šviesos kelio ilgis, cm;

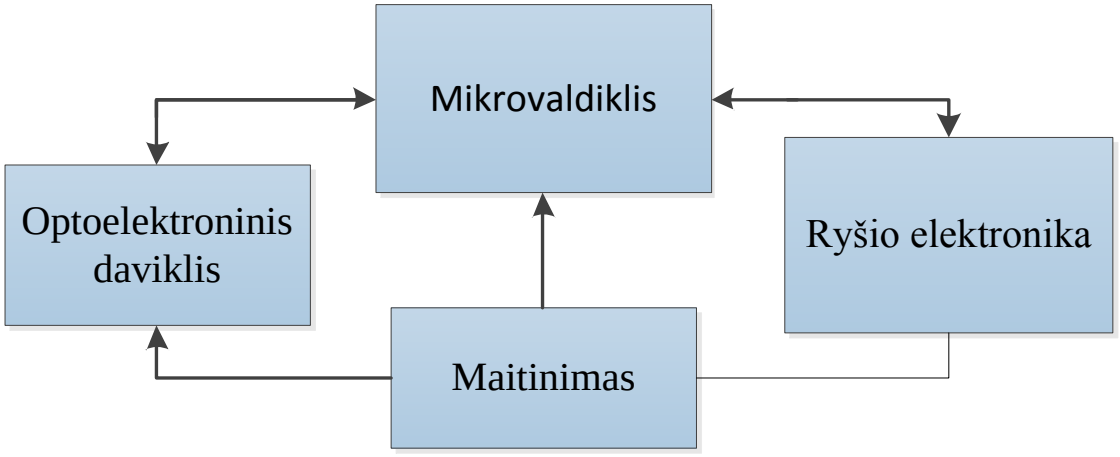
E – ekstincijos koeficientas.

Pasirinkto tyrimo pritaikymas gliukozės kiekio kraujyje nustatymui pagrįstas atlikus pradinius tyrimus su bakalauro baigiamojo darbo vadovo, profesoriaus L. Svilainio sukurtu prietaisu objektų pralaidumo šviesai tirti. Tyrime naudoti 880 nm ir 940 nm bangos ilgių diodai. Pastebėta NIR šviesos praėjusios pro pirštą skirtinga sugertis priklausomai nuo gliukozės kiekio kraujyje. Išsamesnės tyrimo išvados pateiktos K. Abromaitytės baigiamajame bakalauro projekte „Neinvazinio gliukometro optoelektroninio daviklio projektavimas ir tyrimas“.

2. PROJEKTINĖ DALIS

2.1.Struktūros parinkimas

Apžvelgus įmanomus gliukozės kiekio kraujyje nustatymo metodus ir pasirinkus šviesos spektrometriją, atlikus rinkos analizę ir išsiaiškinus keliamus reikalavimus gliukometrams sudaryta supaprastinta būsimo prietaiso blokinė schema (žr. 2.6 pav.).



6 Pav. Kuriamo prietaiso blokinė schema.

2.2. Bevielės komunikacijos parinkimas ir projektavimas

Bevielės komunikacijos suteikia galimybę atsisakyti laidų, fizinių prisijungimų prie kitų prietaisų, taip pat tai dažniausiai sumažina prietaiso matmenis. Kadangi gliukometras turi gebėti prisijungti prie išmaniųjų įrenginių (telefonų, kompiuterių, planšečių) sunku sugalvoti geresnę bevielę komunikaciją prietaisų „bendravimui“ negu Bluetooth bevielis ryšys. Bluetooth (sutrumpintai BT) protokolas naudoja artimo ryšio trumpųjų radijo bangų diapazoną – 2,4 – 2,458 GHz dažnio bangas. Visgi diegiant bevielias technologijas ilgainiui suvokta, kad didžiausia problema bevieliu ryšiu veikiančių prietaisų yra energetinis neefektyvumas. Visgi, Bluetooth evoliucionavus iki šiuo metu labai populiarios „Bluetooth“ v4.0 (arba tiesiog BLE – ang. Bluetooth low energy) energetinio neefektyvumo problemą atrodo pavyko išspresti. Lyginant su senesnėmis Bluetooth versijomis, komunikuojant Bluetooth v4.0 maksimaliai naudojama tik 15 mA srovės, o atskirais atvejais gali siekti ir mažiau (lyginant su Bluetooth 3.0 versija, srovės suvartojimas yra ~100 mA). Naudojant BLE prietaisas dažniausiai būna „miego“ režime ir net prisijungęs prie kito prietaiso energijos nenaudoja, teigiama, kad vidutinis srovės vartojimas gali siekti tik iki 1 µA.

Bevielės komunikacijos realizavimas būsimame gliukometre, turint galvoje tai, kad naudojamas mikrovaldiklis, kuris jau turi Bluetooth modulį (apie mikrovaldiklio pasirinkimą plačiau žr. 2.2.2) yra sąlyginai nesudėtingas. Realizacijai reikalinga antena ir antenos suderinimo

įtaisas.

Projektuojant bevielio ryšio tinklą svarbu atkreipti dėmesį į šiuos pagrindinius antenos parametrus: kryptiškumo charakteristikas, stiprinimo koeficientą ir energetinius parametrus (maitinimo galia, spinduliavimo varža, naudingumo koeficientas, antenos banginė varža, spinduliavimo ir nuostolių galia). Tačiau atsižvelgiant į tai, kad tikėtina, jog duomenų perdavimas iš gliukometro bus vykdomas trumpais atstumais, projektuojant gliukometro bevielio ryšio komunikaciją nėra tikslinga naudoti didelio stiprinimo koeficiento ar kryptinę anteną. Priešingai, antena privalo būti visakryptė, o aukštas antenos stiprinimo koeficientas nėra prioritetinis kriterijus renkantis anteną. Taigi, antena privalo būti visakryptė, centrinis darbo dažnis 2,45 GHz. Taip pat derėtų atkreipti dėmesį į kainą, antenos dysį bei gamintojo teikiamus reikalavimus trasuojant ir gaminant montažinę plokštę. Pasirinkti „Johanson Technology“ gamybos keramikinė antena ir antenos suderinimo įtaisas (2450BM14A0002T BALUN).

2.3. Mikrovaldiklio parinkimas ir projektavimas

Vienas svarbiausių prietaiso komponentų, gliukometro sudedamųjų dalių darnaus darbo koordinatorius, dažnai prietaiso „smegenimis“ vadinamas mikroprocesorius. Tiesa, be mikroprocesoriaus spartos, energetinių sanaudų, kainos, šįkart renkantis mikroprocesorių derėtų atkreipti dėmesį į tai, kad planuojama jog prietaisas duomenis perdavinės bevieliu „Bluetooth“ 4.0 ryšiu. Įmanomos dvi tokių prietaisų, su išoriniu pasauliu „bendraujančių“ beviele „Bluetooth“ komunikacija, realizacijos. Pirmas sprendimo būdas – įsigyti dvi atskiras – procesoriaus ir bluetooth modulio mikroschemas. Kitas variantas yra naudoti mikroprocesorių su jau integruotu „Bluetooth“ moduliu. Pastarasis variantas yra patrauklus tuo, kad taip gerokai supaprastinama ir sutaupoma vietos gaminant spausdintinio montažo plokštę. Įvairių mikroprocesorių palyginimas pateiktas 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Mikrovaldiklių palyginimas.

	Nordic Semiconductors nRF51822 [15]	Texas Instruments CC2650 [16]	NXP Semiconductors QN9021 [17]
Procesorius	ARM Cortex – M0	ARM Cortex – M3	ARM Cortex – M0
Taktinis dažnis	16 MHz	48 MHz	32 MHz
RAM dydis	16 kB	8 kB	-
Flash atmintinės dydis	256 kB	128 kB	128 kB
Imtuvo jautrumas esant 1 Mbps	-93 dBm	-97 dBm	-93 dBm
Pikinė srovė, siunčiant duomenis (1 Mbps sparta) radijo ryšiu, I_{TX}	10,5 mA	6,1 mA	8,8 mA
Pikinė srovė, priiminėjant duomenis (1 Mbps sparta) radijo ryšiu, I_{RX}	13 mA	5,9 mA	9,25 mA
Branduolio srovės vartojimas	2,4 mA	3 mA	1,35 mA
Mažiausias galimas srovės vartojimas	0,6 µA	1 µA	2 µA
Maitinimo įtampa	1,8 – 3,6 V	1,8 – 3,8 V	2,4 – 3,6 V
Kaina [15]	4,62 $	16,68 $	2,93 $

Renkantis mikrovaldiklį labai svarbu buvo atkreipti dėmesį į energetines charakteristikas – koks yra srovės suvartojimas įvairiomis darbo sąlygomis, sparta, taip pat kaina. Taip pat verta paminėti, kad „Nordic Semiconductors“ pardavinėja eksperimentinius maketus (pav. 7), leidžiančius eksperimentuoti su nRF51822 mikrovaldikliu. Kadangi, praktikos metu teko išbandyti minėtą eksperimentinį maketą ir gamintojo leižiamą programinį paketą „nRF Toolbox for BLE“, tai buvo taip viena iš priežasčių, lėmusių mikrovaldiklio nRF51822 pasirinkimą.



7 Pav. eksperimentinis nRF51822 maketas.

2.4. Maitinimo grandinės parinkimas ir projektavimas

Kaip ir kiekvienam prietaisui gliukometrui reikalingas maitinimo šaltinis. Preliminarios energetinės sąnaudos apskaičiuotos 2.6 skyriuje. Atsižvelgus į energetines sąnaudas pasirinkta gliukometrą maitinti iš pakraunamos baterijos. Kadangi, gliukometras nedidelis prietaisas vienas svarbiausių parametrų renkantis bateriją buvo baterijos dydis. Įvertinus šiuo metu rinkoje siūlomas baterijas, įvertinus baterijos dydį ir jos elektrinės talpos santykį bei kainą, pasirinkta „Energizer“ gamybos Li-Ion KO7002 baterija, jos parametrai pateikti (2.2 lentelėje).

2.2 lentelė. KO7002 baterija.

	**Pavadinimas**	KO7002
	Talpa	3,7V 600mAh
	Tipas	Li-Ion
	Svoris	15g
	Dydis	37mm x 27mm x 6mm
	Kaina	16,97 €

Pakraunamų baterijų „gyvenimo“ laiką gerokai prailginti galima laikantis tam tikrų reikalavimų. Pirmiausia, baterijas patartina krauti atitinkama, priklausomai nuo baterijos talpos, srove ir atitnkama įtampa. Todėl reikalingas baterijos krovimo valdiklis. Renkantis krovimo valdiklį dėmesys buvo kreipiamas į keletą svarbiausių parametrų: maksimali įėjimo įtampa, baterijos krovimo įtampa ir ar valdiklio maksimali leidžiama krovimo srovė yra pakankama krauti pasirinktai baterijai. Taip pat kaip ir renkantis kitus komponentus, svarbi valdiklio kaina. Taigi, apžvelgus šiuo metu rinkoje esančius krovimo valdiklius pasirinktas „Microchip“ produktas MCP73831 [18].

Be baterijos krovimo nemažiau svarbu yra baterijos iškrovimas. Daugumai baterijų perdidelis iškrovimas reiškia negrįžtamus pažeidimus. Reikalingas elektroninis jungiklis, kuris atjungtų bateriją nuo grandinės, siekiant apsaugoti bateriją nuo perdidelio išsikrovimo. Tam pasirinktas kompanijos „Vishay Siliconix“ produktas SiP32408. Šio elektroninio jungiklio darbo įtampų ruožas optimalus USB įtampai, beto SiP32408 geba praleisti maksimalią įrenginio vartojamą srovę. Baterijai pakankamai išsikrovus, minėtas jungiklis atjungia bateriją nuo grandinės, taip apsaugodamas bateriją nuo didesnio išsikrovimo ir potencialių pažeidimų. Kita labai svarbi maitinimo grandinės dalis – įtampos reguliatorius, užtikrinantis įtampą visiems svarbiausiems komponentams. Tam pasirinktas „Micrel Semiconductors“ gamybos 3,3 V įtampos reguliatorius MIC5301-3.3YD5 [19]. Šis įtampos reguliatorius pasižymi ypač mažu tampos kritimu – 40 mV esant maksimaliai 150 mA srovei. Verta paminėti, kad 3,3V maitinimo įtampa pasirinkta tinkamai

įvertinus svarbiausių komponentų (nRF51822 ir AFE4490) maitinimo rekomendacijas. Nors mikrovaldiklio maitinimo įtampa gali kisti gana plačiose ribose (1,8 – 3,6 V), AFE4490 vienos iš reikalingų maitinimo įtampų (TX_CTRL_SUP, [20]) minimali įtampa yra 3 V. Todėl siekiant išvengti papildomų įtampų reguliavimų pasirinkta šiek tiek didesnė už minimalias komponentų įtampas - 3,3 V įtampa.

2.5.Preliminari kaina

Suprojektuoto įrenginio kaina nustatyta naudojantis internetinių parduotuvių www.mouser.com ir www.farnell.lt kainynais. Reikalingų komponentų sąrašas su kainomis pateiktas 2 priede. Tiesa, verta paminėti, kad nurodyta kaina lygi prekių reikalingų pagaminti vienam projektuojamam prietaisui. Elektroninių komponentų kaina gali gerokai skirtis priklausomai nuo gaminamų prietaisų skaičiaus.

2.6.Energetinės sąnaudos

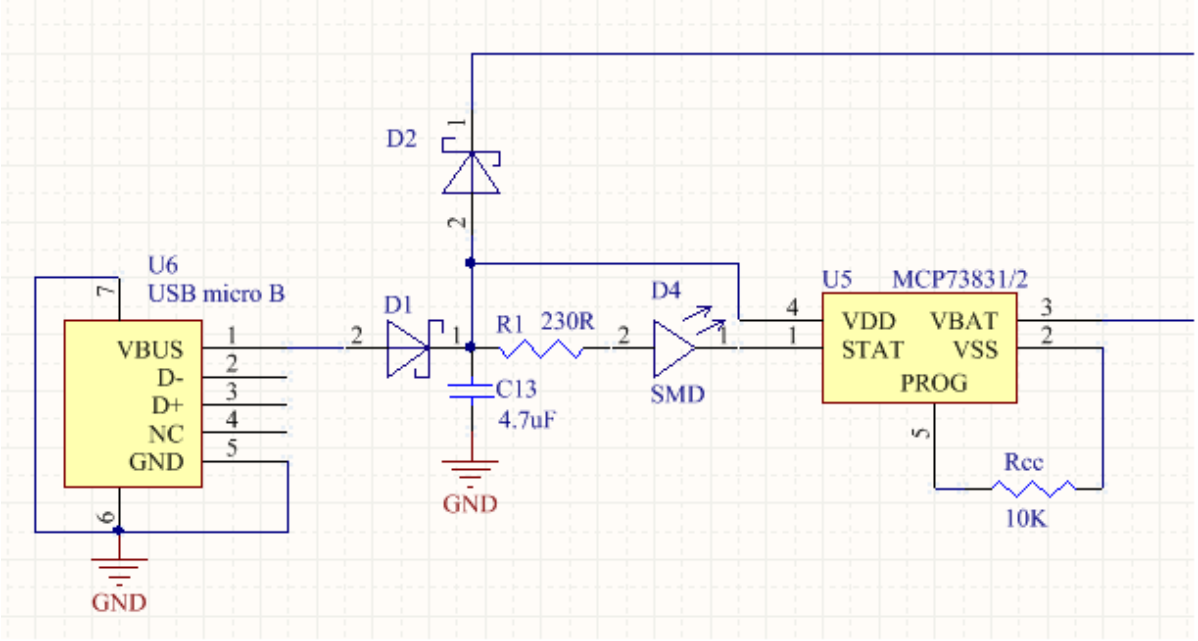
Prietaiso srovės suvartojimas smarkiai kinta priklausomai nuo atliekamų funkcijų. NIR diodams reikalinga srovė yra 20 mA, siunčiant arba priiminėjant duomenis Bluetooth ryšiu srovės suvartojimas neviršija 15 mA, specializuotos paskirties mikroschemos AFE4490 (mikrograndynas AFE4490 naudojamas gliukometre, tačiau projektuojamas K. Abromaitytės, todėl čia plačiau neaptarinėjamas) ir mikrovaldiklio nRF51822 branduolio srovės suvartojimas kartu siekia 2,5 mA (AFE4490 vartoja 100 µ, mikrovaldiklis – 2,4 mA). Mikrovaldiklio ir AFE4490 SPI sąsajai bei LDO dar reikalinga iki 0,3 mA. Taigi, vidutinis planuojamas srovės suvartojimas ~30 mA. Planuojama, kad laikas reikalingas nuo prietaiso įjungimo iki duomenų išsiuntimo į išmanųjį įrenginį yra 40 s. Per tiek laiko yra pašviečiama diodais, duomenys išanalizuojami ir išsiunčiami. Taigi, pavyzdžiui, 300 mAh talpos baterija turėtų užtikrinti 10 h valandų nepertraukiamą prietaiso darbą. Kadangi, vienas tyrimas užtrunka 40 s, baterijos talpos turėtų pakakti 900 matavimų.

Tačiau nederėtų pamiršti, kad ~30 mA srovės suvartojimas yra preliminarus, o glikemijos matavimų kiekis per dieną kinta priklausomai nuo daugelio dalykų: diabeto tipo, laiko, kiek pacientas serga cukriniu diabetu ir pan. Beto, skaičiavimams pasirinkta preliminari 40 sekundžių matavimo trukmė yra tik preliminari ir be galutinių prietaisų tyrimų sunku pasakyti ar tokios trukmės pakaks pakankamai tiksliai įvertinti gliukozės kiekį kraujyje.

2.7. Schematika

2.7.1. Maitinimo grandinės principinės grandinės jungimas

Būsimas gliukometras bus maitinamas iš baterijos, kuri bus pakraunama per USB jungtį. Pakrovimui pasirinkta itin plona ir šiuo metu mobiliuose telefonuose baterijos krovimui naudojama micro USB jungtis. Pirmoji maitinimo grandinės dalis pavaizduota 7 pav.



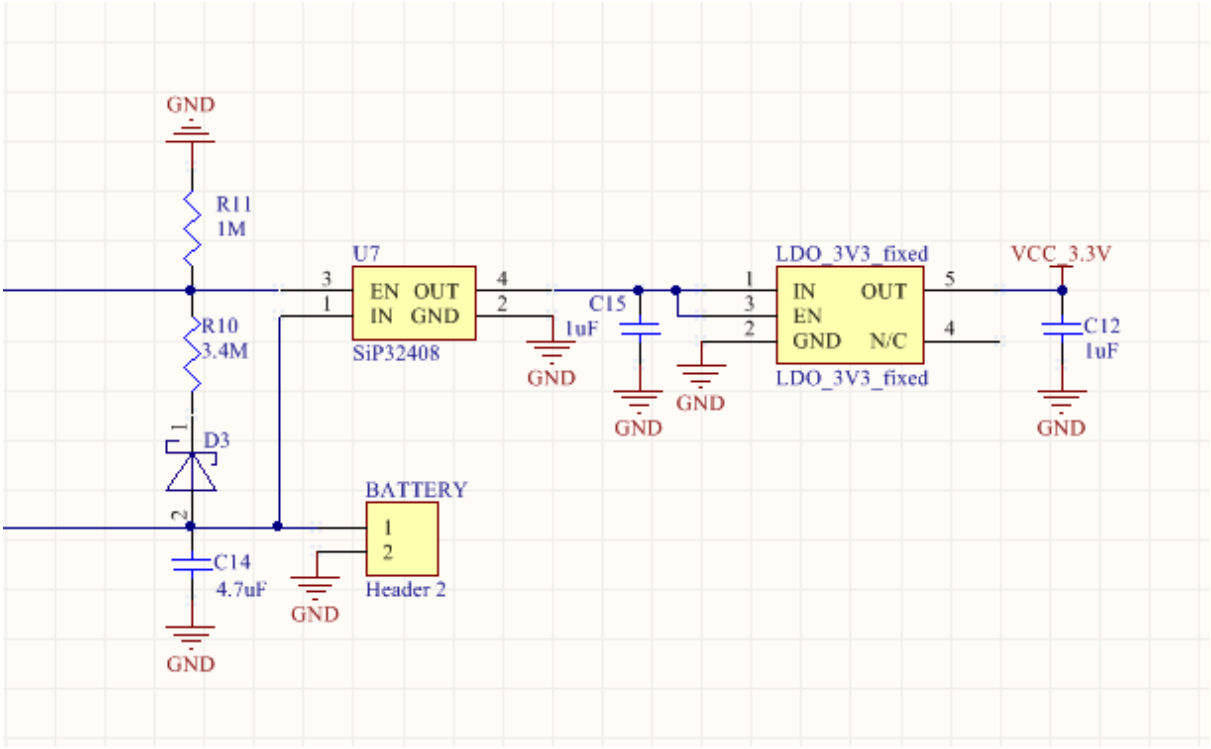
8 Pav. Pirmoji maitinimo grandinės dalis.

Iš USB jungties gauta 5V įtampa per Šotkio diodą keliauja į krovimo valdiklio, MCP73832 (struktūrinėje schemoje pažymėtas U5 – žr. pav. X), įėjimą. Šviesos diodas D4 panaudotas indikacijai – diodas užsižiebia, kai yra prijungiamas išorinis maitinimo šaltinis (per USB) ir baterija pradedama krauti. Rezistorius R1 reikalingas nustatyti srovę šviesos diodui D4. Rezistorius R_{cc} parinktas pagal tai kokia srove rekomenduojama krauti bateriją. Skirtingoms baterijoms rezistoriaus varža gali būti keičiama. Kaip jau buvo minėta anksčiau, gliukometrui naudojamos Li – Ion baterijos techniniame aprašyme rekomenduojama krauti bateriją I_{REG} = 120 mA (0,2C) srove. Todėl rezistoriaus R_{cc} varžą apskaičiuojame pagal MCP73831 techniniame aprašyme [18] pateiktą formulę (2.1):

$$R_{cc} = \frac{1000V}{I_{REG}}\ \Omega \qquad (2.1)$$

Antroji maitinimo grandinės dalis pavaizduota 8 Pav. Šotkio diodas D3 reikalingas apsaugoti bateriją nuo srovės nutekėjimo iš USB per D1 ir D2. Elektroninis jungiklis - SiP32408 (toliau U7, žr. pav. MGAD) saugo bateriją nuo per didelio išsikrovimo. Kai baterija išsikrovusi iki 2,9 V, įtampa per diodą D3 ir atitinkamai parinktų varžų (R10 ir R11) daliklį krenta žemiau 0,9 V –

minimalios jungiklio U7 atsidarymo įtampos. Atjungiant bateriją, baterija yra apsaugoma nuo didesnio išsikrovimo ir potencialių baterijos pažeidimų.

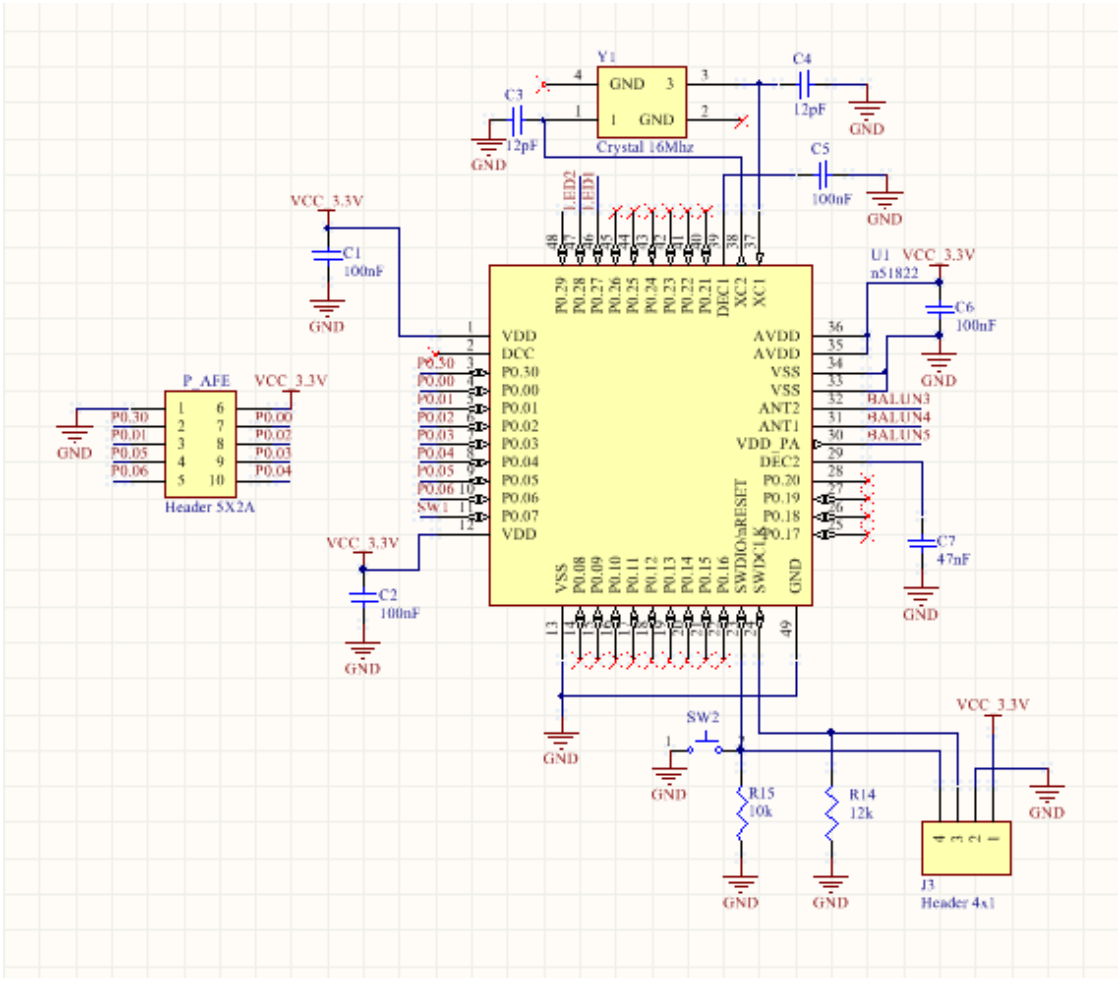


9 Pav. Antroji maitinimo grandinės dalis.

Toliau seka maitinimo grandinės įtampos stabilizavimas. Tam panaudotas jau minėtas MIC5301-3.3YD5 įtampos reguliatorius, kurio nominalioji išėjimo įtampa yra 3,3 V. Kondensatoriai C15 ir C12 parinkti pagal įtampos reguliatoriaus techniniame aprašyme pateiktas rekomendacijas.

2.7.2. Mikrovaldiklio principinės schemos jungimas

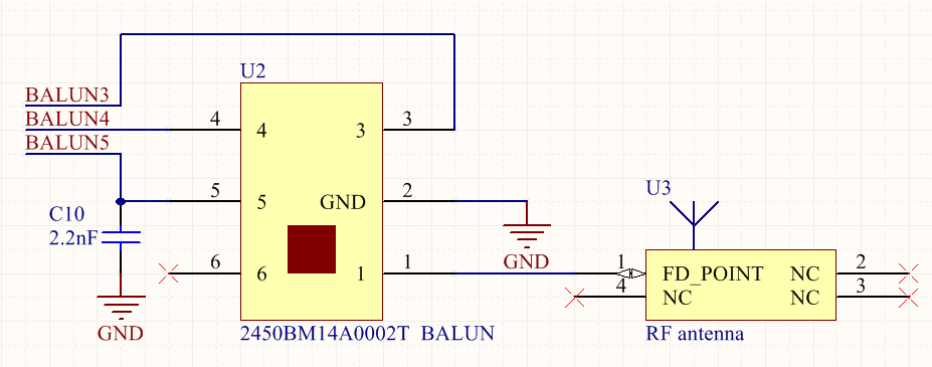
Projektuojant mikrovaldiklio schemą, reikalingų komponentų – rezistorių ir kondensatorių nominalų parinkimas ir prijungimas prie mikrovaldiklio buvo atliekamas griežtai laikantis projekte naudojamo mikrovaldiklio nRF51822 gamintojo „Nordic Semiconductors“ reikalavimų. Suprojektuota mikrovaldiklio schema pavaizduota M pav.



10 Pav. Mikrovaldiklis.

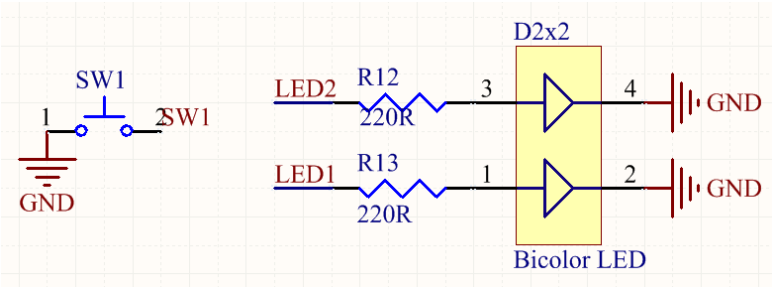
Procesoriaus taktinį dažnį lemia 16 MHz kvarcinis osciliatorius Y1. Mikrovaldiklio įėjimai P0.30, P0.00-07 per jungtį P_AFE (žr. 9 pav.) panaudoti specializuoto mikrograndyno AFE4490 prijungimui. Jungtis J1 naudojama mikrovaldiklio programavimui, mygtukas SW2 – mikrovaldiklio perkrovimo funkcijai atlikti.

Labai svarbi schemos dalis yra antena (U3) ir antenos suderinimo įtaisas (U2) (pav. 10). Jungimo schema, kondensatoriaus C10 talpos parinkimas, o vėliau ir spausdintinės plokštės trasavimas atliktas laikantis gamintojų rekomendacijų [21].



11 Pav. Bluetooth antena ir antenos suderinimo įtaisas.

Kita schemos dalis yra periferiniai įtaisai: jungiklis SW2 ir šviesos diodai (žr. 11 pav.). Mygtukas reikalingas įjungti/išjungti prietaisą, o šviesos diodai reikalingi siekiant lengviau suprasti prietaisą, t.y. atitinkamos spalvos šviesos diodas įsižiebia žymėdamas tyrimo pradžią, kitu atveju duomenų siuntimą į išmanųjį įrenginį. Tokia paprasta indikacija leidžia vartotojui sekti gliukozės kiekio kraujyje registravimo etapus.



12 Pav. Periferiniai įrenginiai.

2.7.3. Montažinės plokštės projektavimas.

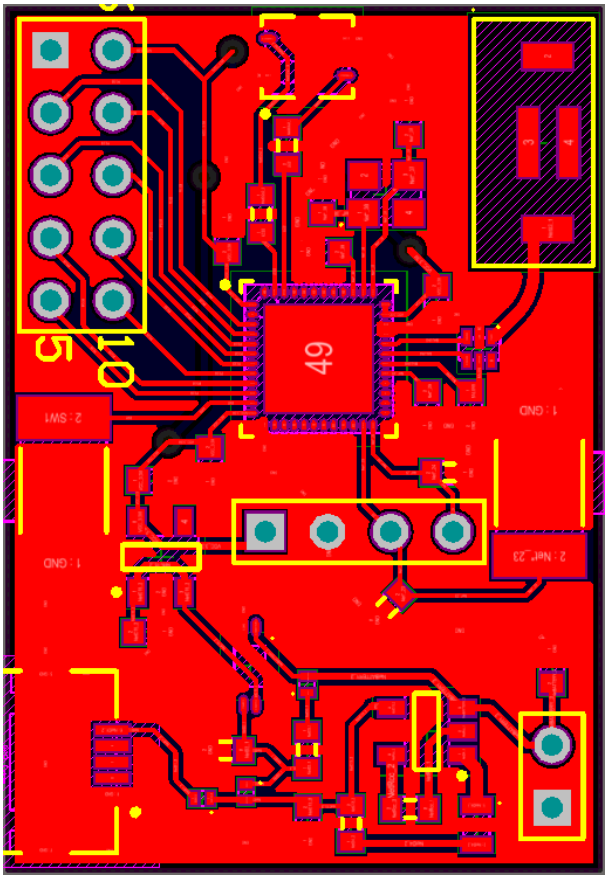
Montažinės plokštės projektavimas atliktas su „Altium Designer“ programine įranga. Kadangi, prietaiso korpusas buvo spausdinamas 3D spausdintuvu, tai suteikė galimybę sąlyginai lengviau keisti plokštės matmenis ir formą. Projektuojant montažinę plokštę daug dėmesio skirta ryšio elektronikos projektavimui. Antena apsaugota nuo įžeminimo sluoksnio, griežtai laikytąsi gamintojo pateikiamų atstumo nuo plokštės kraštų ir kitų komponentų reikalavimų. Takeliai jungiantys anteną ir antenos suderinimo įtaisą yra suapvalinti, vengiant smailių kampų. Apatinis plokštės sluoksnis projektuotas vengiant takeliais padalinti suprojektuotą žemės sluoksnį. Viršutiniame sluoksnyje arčiau plokštės krašto suprojektuota jungtis, turint galvoje tai, kad būtų paprasčiau prijungti optoelektroninį daviklį. Mikrovaldikliui reikalingi kondensatoriai yra suprojektuoti kuo arčiau mikrovaldiklio kojelių. Maitinimo grandinė suprojektuota viršutiniame sluoksnyje ir sugrupuota pagal plokštės schematiką, siekiant išvengti įtampos skirstimų po visą plokštę.

Visgi, siekiant sukurti nedidelių matmenų prietaisą, plokštė buvo maksimaliai minimizuojama. Pagrindiniai plokštės parametrai:

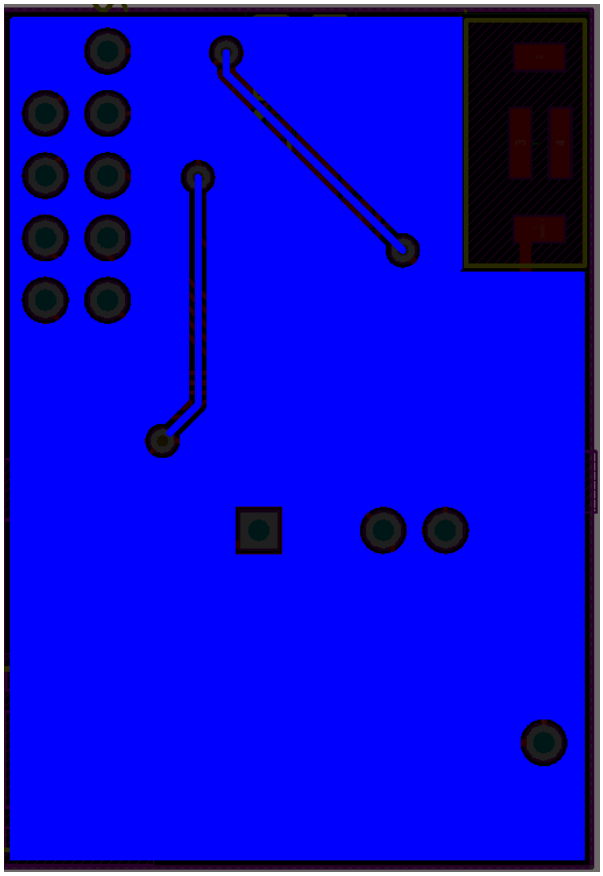
- Plokštės matmenys 36 mm x 24 mm
- Takelių skč. 662
- Sujungimų skč. 89
- Minimalus takelių plotis 0,18 mm
- Minimalus atstumas tarp takelių 0,205 mm
- Metalizuotų kiaurymių skč. 23

- Komponentų skč. viršutiniame plokštės sluoksnyje 38
- Komponentų skč. apatiniame plokštės sluoksnyje 0

Montažinės plokštės viršutinis ir apatinis sluoksniai pavaizduoti atitinkamai 12 ir 13 pav.



13 Pav. Plokštės viršutinis sluoksnis.



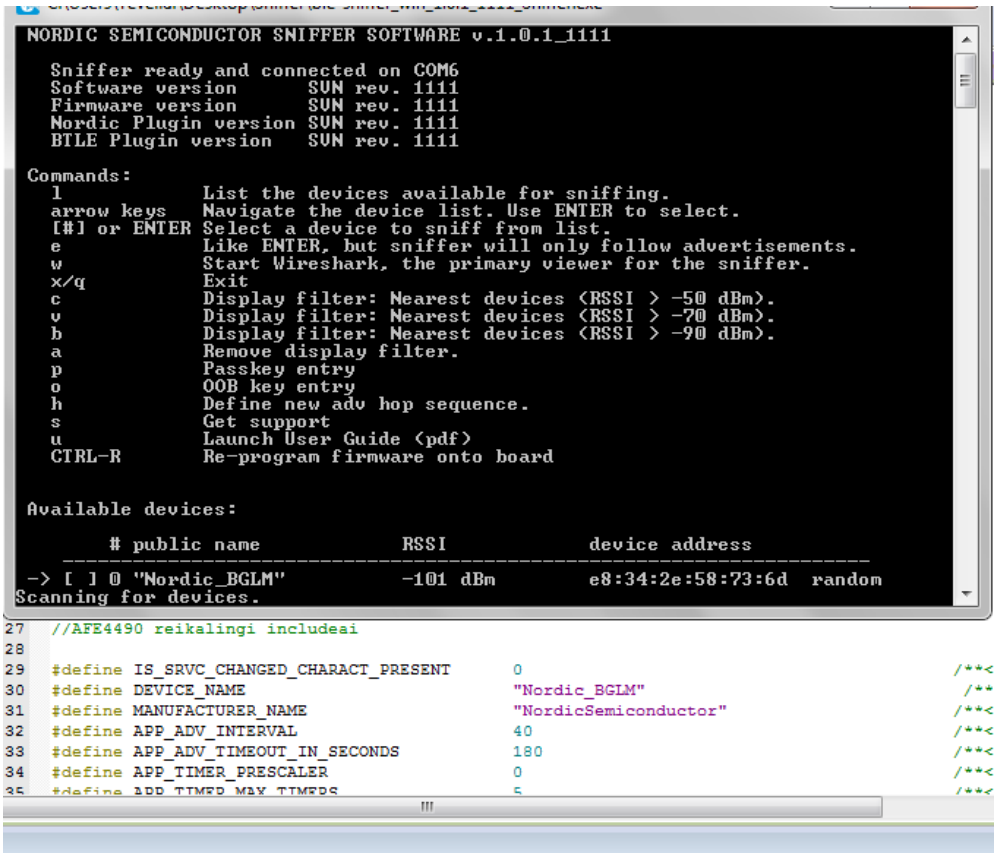
14 Pav. Plokštės viršutinis sluoksnis.

3D plokštės vaizdas bus pateiktas 1 priede. Projektuojant montažinę plokštę didelis dėmesys buvo kreipiamas į ryšio elektronikos projektavimą.

2.7.4. Programinės įrangos projektavimas.

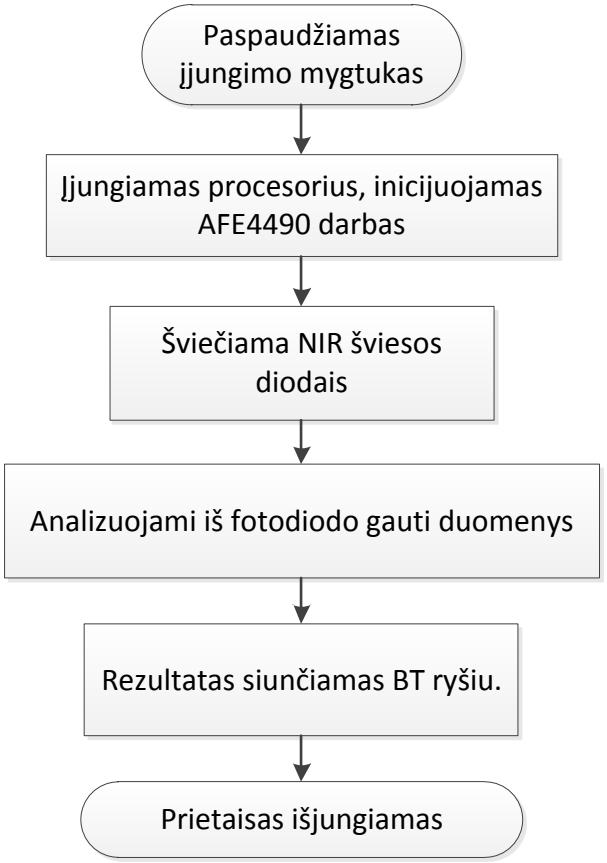
Gliukometras programuotas naudojantis „Keil µVision“ programine įranga. Taip pat, pasinaudota „Nordic Semiconductors“ laisvai prieinamu programinės įrangos paketu išmaniesiems įrenginiams „nRF Toolbox for Ble“.

Prietaiso veikimo schema pavaizduota 14 pav. Programinės įrangos projektavimą galima suskirstyti į kelis segmentus. Pirmiausia, reikalinga programinė įranga inicijuoti nRF51822 darbą tam, kad gliukometras galėtų prisijungti bei siųsti duomenis Bluetooth ryšiu į išmaniuosius įrenginius. Šios programos dalies testavimo metu pasinaudota eksperimentiniu nRF51822 eksperimentiniu maketu (pav. 7). 15 Pav. pateiktas šios programos dalies testavimo rezultatas. Gliukometras yra aptinkamas kitų Bluetooth įrenginių.



15 Pav. Gliukometras aptinkamas kitų įrenginiųm naudojant Bluetooth ryšį.

Antra, reikalinga programinės įrangos dalis inicijuoti AFE4490 darbą. Reikalingos funkcijos šviesos diodo srovei nustatyti, fotodiodo srovei nuskaityti ir įrašyti į atitinkamas registro vietas. Galiausiai, nemažiau svarbi programos dalis yra formulės gliukozės kiekiui kraujyje apskaičiuoti. Pilnas programos kodas pateiktas 3 priede.



15 Pav. Prietaiso veikimo schema.

Tam, kad mikrovaldiklis galėtų bendrauti su išmaniaisiais įrenginiais pasinaudota „Nordic Semiconductors“ pateiktomis bibliotekomis. Tačiau kadangi, gamintojo „Nordic Semiconductors“ pateiktame programiniame pakete (vartotojo sąsajos langas pateiktas 4 priede) išmaniesiems įrenginiams neveikia gliukozės kiekio kraujyje matavimams skirta programėlė, teko pakeisti gamintojo pateikiamos programos kodą, todėl gliukometras prisijungia prie šiuo metu veikiančios širdies ritmo matavimui skirtos programėlės.

Visų pirma, į parametrų struktūrą surašomos AFE4490 būsenų mašinos laiko konstantos, pasirenkamas signalo stiprinimas. Tada kviečiamos funkcijos šviesos diodų srovei nustatyti. Visi duomenys surašomi į AFE4490 ir duodama starto komanda. Duomenys į nurodytą adresą perkeliami pertraukties metu (priede 3.2 pateiktas nRF51822 ir AFE4490 reikalingas komunikavimo kodas).

Išvados

1. Išanalizuoti šiuo metu rinkoje esantys neinvaziniai gliukometrai. Susidaryti techniniai reikalavimai kuriamam prietaisui, sudaryta patrauklaus vartotojui įrenginio koncepcija.
2. Parinkta elementinė bazė ir suprojektuotos tokios aparatinės įrenginio dalys:
    a. Maitinimo grandinė su galimybe pakrauti bateriją per USB jungtį. Suprojektuotos apsaugančios bateriją nuo per didelio išsikrovimo ir tinkamo krovimo grandinės.
    b. Ryšio elektronika. Bevieliai komunikacijai su išmaniaisiais įrenginiais panaudota energetiškai efektyvi „Bluetooth Low Energy“ sąsaja.
    c. Pasirinktas mikrovaldiklis su jau integruotu Bluetooth moduliu, nRF51822.
3. Suprojektuotos programinė įranga: mikrovaldiklio prisijungimo prie išmaniųjų įrenginių, AFE4490 ir mikrovaldiklio komunikacijai reikalingos programos dalys. Įrenginys parengtas algoritmo glikemijai apskaičiuoti sudarymui.

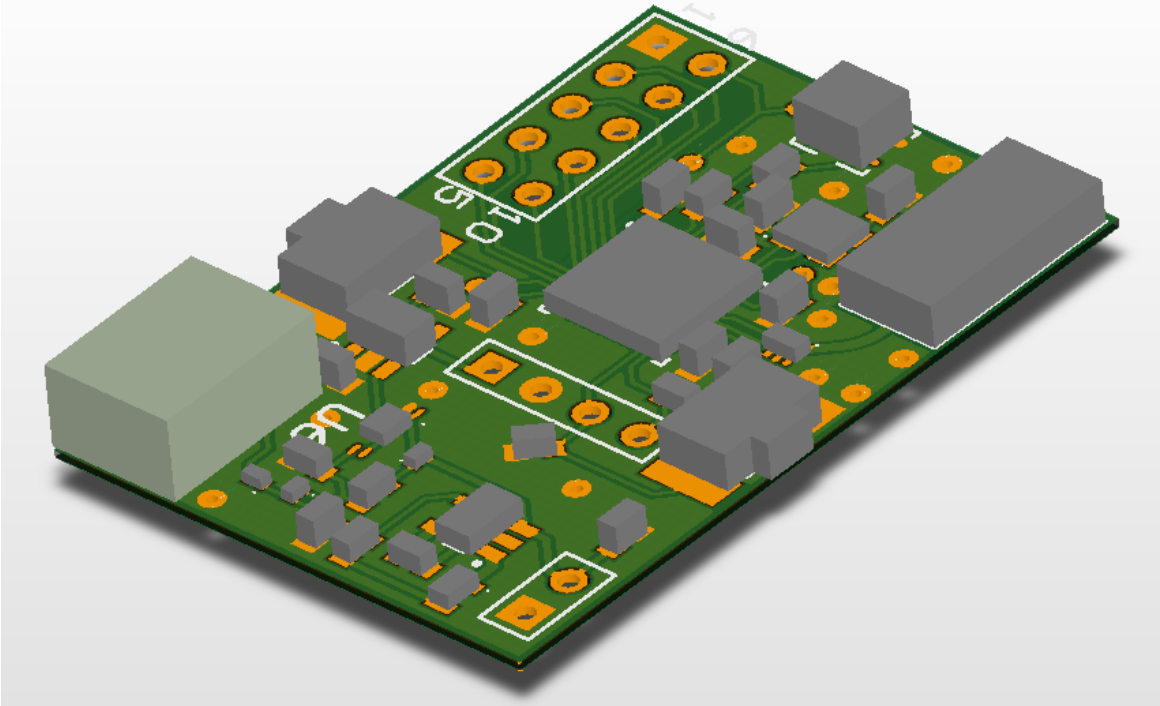
Literatūros sąrašas

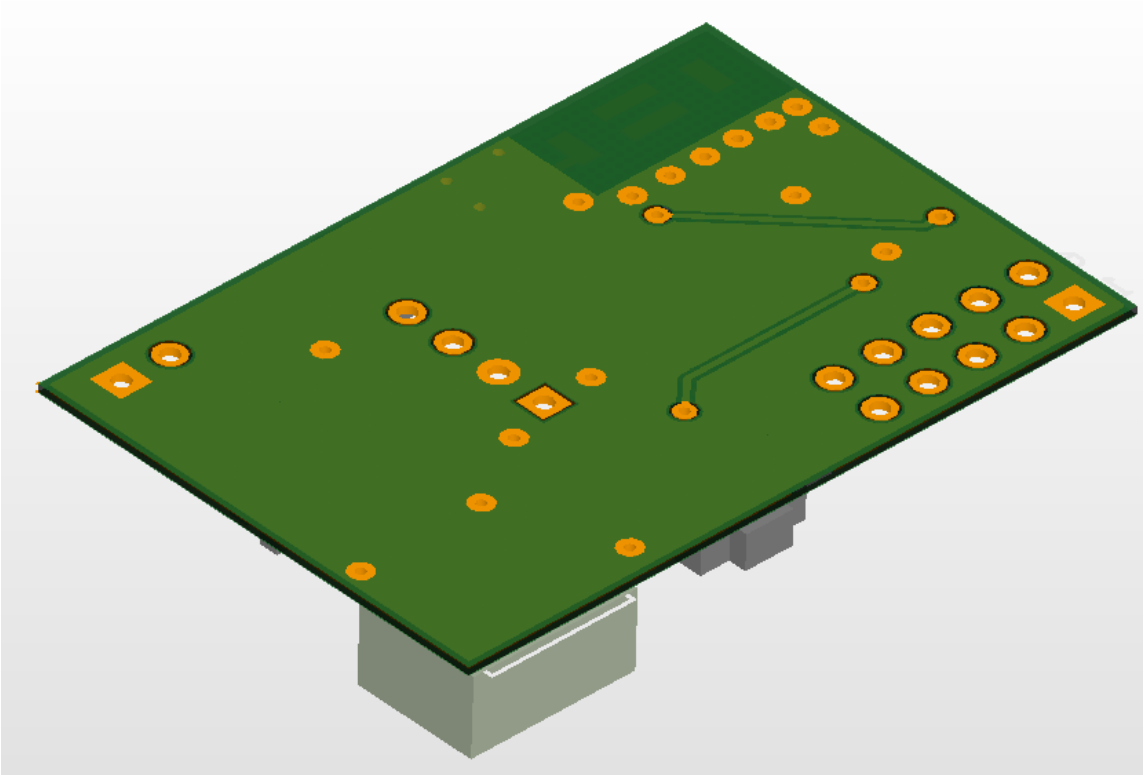
1. IDF Diabetes atlas sixth edition, 2014 [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-03] Prieiga per internetą: < https://www.idf.org/diabetesatlas/update-2014>
2. BERG, J; TYMOCZKO J. Biochemistry [interaktyvus]. 5th ed. New York: W H Freeman, 2002. [žiūrėta 2015-02-03] Prieiga per internetą: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22436/>
3. KAZANAVIČIUS G. Endokrinologija: mokomoji knyga. K.: Vitae Litera, 2009. – pp 66 – 114.
4. World Health Organisation. Diabetes. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-02-04] Prieiga per internetą: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/>
5. National Diabetes Statistics Report. [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2015-02-04] Prieiga per internetą: <http://www.cdc.gov/diabetes/pubs/statsreport14/national-diabetes-report-web.pdf>
6. World Health Organisation. The 10 leading causes of death in the world, 2000 and 2012 [interaktyvus] 2014. [žiūrėta 2015-02-04] Prieiga per internetą: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>
7. Word Health Organisation. Visual impairment and blindness. [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2015-02-09] Prieiga per internetą: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>
8. The global diabetes community. Guide to HbA1c. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-02-11] Prieiga per internetą: <http://www.diabetes.co.uk/what-is-hba1c.html>
9. CLARKE, S. F; FOSTER, J. R. A history of blood glucose meters and their role in self-monitoring of diabetes mellitus. [interaktyvus]. History Committee, Institute of Biomedical Science, 12 Coldbath Square, London EC1R 5HL, 2012 – p. 83 – 93 [žiūrėta 2015-02-11] Prieiga per internetą: <http://www.bjbs-online.org/pdf/pp83-93%20BJBS69%282%29.pdf>
10. Glucometers review. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-11] Prieiga per internetą: <http://glucometers-review.toptenreviews.com/>
11. FIKES, B. Freedom Meditech raises $7 million [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2015-02-15] Prieiga per internetą: <http://www.utsandiego.com/news/2013/aug/06/freedom-meditech/>
12. Cnoga Medical. (gamintojo svetainė) [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-15] Prieiga per internetą: <http://www.cnoga.com/Product/Glucometer.aspx>
13. Integrity Applications Ltd. (gamintojo svetainė) [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-15] Prieiga per internetą: <http://www.integrity-app.com/the-glucotrack/>
14. MediWise (gamintojo svetainė) [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-15] Prieiga per internetą: <http://www.gluco-wise.com/>

15. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-20] Prieiga per internetą: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/512789/ETC1/NRF51822.html>
16. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-20] Prieiga per internetą: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2650.pdf>
17. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-20] Prieiga per internetą: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/QN902X.pdf>
18. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-23] Prieiga per internetą: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001984g.pdf>
19. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-23] Prieiga per internetą: <http://www.micrel.com/_PDF/mic5301.pdf>
20. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-23] Prieiga per internetą: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/afe4490.pdf>
21. Techninė dokumentacija. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-23] Prieiga per internetą: <http://www.farnell.com/datasheets/1643106.pdf>
22. Monochromatinės šviesos sugertis. Lamberto-Bugerio-Bero dėsnis. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-03-23] Prieiga per internetą: http://www.biofotonika.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2013/05/Biofotonika_1-skyrius.pdf

PRIEDAI

P-1. Montažinės plokštės viršutinio ir apatinio sluoksnių 3D vaizdas.





P-2. Komponentų sąrašas

1	Micro USB	1	http://lt.farnell.com/wurth-elektronik/629105136821/connector-usb-micro-b-rcpt-5pos/dp/2442736	2442736	1,96	1,96
2	Šotkio diodas	3	http://lt.farnell.com/nxp/rb520cs30l/diode-schottky-100ma-sod882/dp/2069342	2069342	0,091	0,273
3	Elektroninis jungiklis	1	http://lt.farnell.com/vishay-siliconix/sip32408dnp-t1-ge4/switch-slew-cntrl-5-5v-3-5a-4tdfn/dp/2293555?ost=SiP32408	2293555	0,32	0,32
4	Baterijos krovimo reguliatorius	1	http://lt.farnell.com/microchip/mcp73831t-2ati-ot/battery-charger-500-ma-5-sot-23/dp/2146142	2146142	1,04	1,04
5	LDO 3.3 V fixed	1	http://lt.farnell.com/microchip/tc1015-3-3vct713/ic-v-reg-ldo-100ma-smd-sot-23/dp/1331505	1331505	0,34	0,34
6	Kondensatorius 4.7uF 10% 0603	2	http://lt.farnell.com/tdk/c1608x5r0j475k-0-80/cap-mlcc-x5r-4-7uf-6-3v-0603/dp/2211163	2211163	0,088	0,176
7	Kondensatorius 1uF 10% 0603	2	http://lt.farnell.com/multicomp/mc0603x105m6r3ct/cap-mlcc-x5r-1uf-6-3v-0603/dp/2309013	2309013	0,011	0,022
8	Rezistorius 0603, 232R, 1%	3	http://lt.farnell.com/vishay-draloric/crcw0603232rfkea/resistor-0603-232r-1/dp/2141313	2141313	0,01	0,03
9	Rezistorius 0603, 2M, 1%	1	http://lt.farnell.com/koa-spear-electronics/rk73h1jttd2004f/resistor-0603-2m-ohm-1/dp/1811638	1811638	0,023	0,023
10	Rezistorius 0603, 6M65, 1%	1	http://lt.farnell.com/vishay-draloric/crcw06036m65fkea/resistor-0603-6m65-1/dp/2138707	2138707	0,01	0,01
11	Rezistorius 0603, 10K, 1%	1	http://lt.farnell.com/te-connectivity-neohm/cpf0603f10kc1/resistor-0603-10k-1-50ppm/dp/1527581RL	1527581RL	0,057	0,057
12	Procesorius nRF51288	1	http://eu.mouser.com/ProductDetail/Nordic-Semiconductor/nRF51822-QFAA-R7/?qs=7xCC5jQa1OLeUlPjz6tWmQ%3D%3D	949-NRF51822-QFAA-R7	4,73	4,73
13	Bluetooth antena	1	http://lt.farnell.com/johanson-technology/2450at43b100e/antenna-blutooth-2-4ghz/dp/2148524	2148524	0,59	0,59
14	Antenos suderinimo prietaisas BAL 2.45 GHz	1	http://lt.farnell.com/johanson-technology/2450bm14a0002t/balun-2-45ghz-impedance-matched/dp/2148533	2148533	0,93	0,93
15	Crystal 16 MHz	1	http://lt.farnell.com/txc/8z-16-000maaj-t/xtal-16-000mhz-18pf-smd-2-5x2-0/dp/1842186	2148533	0,93	0,93
16	LED dviejų spalvų	1	http://lt.farnell.com/avago-technologies/hsmf-a201-a00j1/led-smd-plcc4-red-grn/dp/1058420	1058420	0,53	0,53
17	Kondensatorius 12pF 10% 0603	2	http://lt.farnell.com/multicomp/mc0603n120j500ct/cap-mlcc-c0g-np0-12pf-50v-0603/dp/1759054	1759054	0,01	0,02
18	Kondensatorius 100nF 10% 0603	4	http://lt.farnell.com/multicomp/mcb0603r104kct/cap-mlcc-x7r-100nf-16v-0603/dp/9406140	9406140	0,072	0,288
19	Kondensatorius 47nF 10% 0603	1	http://lt.farnell.com/tdk/c1608x7r1h473k080aa/cap-mlcc-x7r-47nf-50v-0603/dp/1907317	1907317	0,031	0,031
20	Kondensatorius 2.2nF 10% 0603	1	http://lt.farnell.com/tdk/cga3e2x8r1h222k080aa/cap-mlcc-x8r-2-2nf-50v-0603/dp/2210893	2210893	0,082	0,082
21	Kondensatorius 0.82nF 10% 0603	1	http://lt.farnell.com/yageo-phycomp/cc0603krx7r9bb821/cap-mlcc-x7r-820pf-50v-0603/dp/3019652	3019652	0,042	0,042
22	Baterija	1	http://lt.farnell.com/energizer/ko7002/battery-li-ion-kodak-klic7002/dp/1277552	1277552	16,97	16,97
23	nRF51822	1	http://www.mouser.com/ProductDetail/Nordic-Semiconductor/nRF51822-QFAA-R7/?qs=7xCC5jQa1OLeUlPjz6tWmQ%3D%3D	nRF51822-QFAA-R7	4,62	4,62
				Viso suma		**34,01 €**
				Viso detalių		**33**
				Viso detalių nominalų		**23**

P-3. Programos kodas

```
#include <stdint.h>
#include <string.h>
#include "nordic_common.h"
#include "nrf.h"
#include "app_error.h"
#include "nrf51_bitfields.h"
#include "ble.h"
#include "ble_srv_common.h"
#include "ble_advdata.h"
#include "ble_bas.h"
#include "ble_hrs.h"
#include "ble_dis.h"
#include "ble_conn_params.h"
#include "boards.h"
#include "softdevice_handler.h"
#include "app_timer.h"
#include "nrf_gpio.h"
#include "led.h"
#include "battery.h"
#include "device_manager.h"
#include "app_gpiote.h"
#include "app_button.h"
#include "ble_debug_assert_handler.h"
#include "pstorage.h"
#include "app_trace.h"


//AFE4490 reikalingi includeai


#define IS_SRVC_CHANGED_CHARACT_PRESENT      0
#define DEVICE_NAME                          "Nordic_BGLM"
#define MANUFACTURER_NAME
"NordicSemiconductor"
#define APP_ADV_INTERVAL                     40
#define APP_ADV_TIMEOUT_IN_SECONDS           180
#define APP_TIMER_PRESCALER                  0
#define APP_TIMER_MAX_TIMERS                 5
#define APP_TIMER_OP_QUEUE_SIZE              5
#define BATTERY_LEVEL_MEAS_INTERVAL
APP_TIMER_TICKS(2000, APP_TIMER_PRESCALER)
#define APP_GPIOTE_MAX_USERS                 1
#define BUTTON_DETECTION_DELAY
APP_TIMER_TICKS(50, APP_TIMER_PRESCALER)
#define MIN_CONN_INTERVAL
MSEC_TO_UNITS(500, UNIT_1_25_MS)
#define MAX_CONN_INTERVAL
MSEC_TO_UNITS(1000, UNIT_1_25_MS)
#define SLAVE_LATENCY                        0
#define CONN_SUP_TIMEOUT
MSEC_TO_UNITS(4000, UNIT_10_MS)
#define
FIRST_CONN_PARAMS_UPDATE_DELAY
APP_TIMER_TICKS(5000, APP_TIMER_PRESCALER)
#define
NEXT_CONN_PARAMS_UPDATE_DELAY
APP_TIMER_TICKS(30000, APP_TIMER_PRESCALER)
#define
MAX_CONN_PARAMS_UPDATE_COUNT         3
#define SEC_PARAM_TIMEOUT                    30
#define SEC_PARAM_BOND                       1
#define SEC_PARAM_MITM                       0
#define SEC_PARAM_IO_CAPABILITIES
BLE_GAP_IO_CAPS_NONE
#define SEC_PARAM_OOB                        0
#define SEC_PARAM_MIN_KEY_SIZE
7
#define SEC_PARAM_MAX_KEY_SIZE
16
#define DEAD_BEEF
0xDEADBEEF
static ble_gap_adv_params_t
m_adv_params;
ble_bas_t                            bas;
static ble_hrs_t                     m_hrs;
//static volatile uint16_t
m_cur_heart_rate;
static app_timer_id_t
m_battery_timer_id;
static app_timer_id_t
m_heart_rate_timer_id;
static bool
m_memory_access_in_progress = false;
static dm_application_instance_t
m_app_handle;
static void ble_evt_dispatch(ble_evt_t *
p_ble_evt);
static void sys_evt_dispatch(uint32_t sys_evt);


                    uint32_t             err_code;
```

```
void app_error_handler(uint32_t error_code, uint32_t line_num,
const uint8_t * p_file_name)

{

   NVIC_SystemReset();

}

void assert_nrf_callback(uint16_t line_num, const uint8_t *
p_file_name)

{

   app_error_handler(DEAD_BEEF, line_num, p_file_name);

}

static void conn_params_error_handler(uint32_t nrf_error)

{

   APP_ERROR_HANDLER(nrf_error);

}

static void battery_level_meas_timeout_handler(void * p_context)

{

   UNUSED_PARAMETER(p_context);

   battery_start();

}

static void heart_rate_meas_timeout_handler(void * p_context)

{

   uint32_t err_code;

   UNUSED_PARAMETER(p_context);

}

static void timers_init(void)

{

   uint32_t err_code;

   APP_TIMER_INIT(APP_TIMER_PRESCALER,
APP_TIMER_MAX_TIMERS, APP_TIMER_OP_QUEUE_SIZE, false);

   err_code = app_timer_create(&m_battery_timer_id,

                               APP_TIMER_MODE_REPEATED,

                               battery_level_meas_timeout_handler);

   APP_ERROR_CHECK(err_code);


   err_code = app_timer_create(&m_heart_rate_timer_id,

                               APP_TIMER_MODE_REPEATED,

                               heart_rate_meas_timeout_handler);

   APP_ERROR_CHECK(err_code);

}

static void gap_params_init(void)

{

   ble_gap_conn_params_t   gap_conn_params;

   ble_gap_conn_sec_mode_t sec_mode;



BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&sec_mode
);



   err_code =
sd_ble_gap_device_name_set(&sec_mode,

                              (const uint8_t
*)DEVICE_NAME,


strlen(DEVICE_NAME));

   APP_ERROR_CHECK(err_code);



   err_code =
sd_ble_gap_appearance_set(BLE_APPEARANCE_HEART
_RATE_SENSOR_HEART_RATE_BELT);

   APP_ERROR_CHECK(err_code);

   memset(&gap_conn_params, 0,
sizeof(gap_conn_params));

   gap_conn_params.min_conn_interval =
MIN_CONN_INTERVAL;

   gap_conn_params.max_conn_interval =
MAX_CONN_INTERVAL;

   gap_conn_params.slave_latency     =
SLAVE_LATENCY;

   gap_conn_params.conn_sup_timeout  =
CONN_SUP_TIMEOUT;    err_code =
sd_ble_gap_ppcp_set(&gap_conn_params);

   APP_ERROR_CHECK(err_code);

}

static void advertising_init(void)

{

   uint32_t      err_code;

   ble_advdata_t advdata;

   uint8_t       flags =
BLE_GAP_ADV_FLAGS_LE_ONLY_GENERAL_DISC_
MODE;

   ble_uuid_t adv_uuids[] =

   {

      {BLE_UUID_BATTERY_SERVICE,
BLE_UUID_TYPE_BLE},


{BLE_UUID_DEVICE_INFORMATION_SERVICE,
BLE_UUID_TYPE_BLE}

   };

   memset(&advdata, 0, sizeof(advdata));
```

```
        advdata.name_type               = BLE_ADVDATA_FULL_NAME;
        advdata.include_appearance      = true;
        advdata.flags.size              = sizeof(flags);
        advdata.flags.p_data            = &flags;
        advdata.uuids_complete.uuid_cnt = sizeof(adv_uuids) /
sizeof(adv_uuids[0]);
        advdata.uuids_complete.p_uuids  = adv_uuids;

        err_code = ble_advdata_set(&advdata, NULL);
        APP_ERROR_CHECK(err_code);
        memset(&m_adv_params, 0, sizeof(m_adv_params));

        m_adv_params.type       = BLE_GAP_ADV_TYPE_ADV_IND;
        m_adv_params.p_peer_addr = NULL;                    //
Undirected advertisement.
        m_adv_params.fp         = BLE_GAP_ADV_FP_ANY;
        m_adv_params.interval   = APP_ADV_INTERVAL;
        m_adv_params.timeout    =
APP_ADV_TIMEOUT_IN_SECONDS;
    }
    static void services_init(void)
    {
        uint32_t       err_code;
        ble_hrs_init_t hrs_init;
        ble_bas_init_t bas_init;
        ble_dis_init_t dis_init;
        uint8_t        body_sensor_location;

        body_sensor_location =
BLE_HRS_BODY_SENSOR_LOCATION_FINGER;
        memset(&hrs_init, 0, sizeof(hrs_init));
        hrs_init.is_sensor_contact_supported = false;
        hrs_init.p_body_sensor_location      = &body_sensor_location;

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&hrs_init.hrs_hrm_attr_md.cccd_write_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_NO_ACCESS(&hrs_init.hrs_hrm_attr_md.read_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_NO_ACCESS(&hrs_init.hrs_hrm_attr_md.write_perm);

        BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&hrs_init.hrs_bsl_attr_md.read_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_NO_ACCESS(&hrs_init.hrs_bsl_attr_md.write_perm);

        err_code = ble_hrs_init(&m_hrs, &hrs_init);
        APP_ERROR_CHECK(err_code);
        memset(&bas_init, 0, sizeof(bas_init));

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&bas_init.battery_level_char_attr_md.cccd_write_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&bas_init.battery_level_char_attr_md.read_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_NO_ACCESS(&bas_init.battery_level_char_attr_md.write_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&bas_init.battery_level_report_read_perm);

        bas_init.evt_handler         = NULL;
        bas_init.support_notification = true;
        bas_init.p_report_ref        = NULL;
        bas_init.initial_batt_level   = 100;

        err_code = ble_bas_init(&bas, &bas_init);
        APP_ERROR_CHECK(err_code);
        memset(&dis_init, 0, sizeof(dis_init));

ble_srv_ascii_to_utf8(&dis_init.manufact_name_str,
MANUFACTURER_NAME);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&dis_init.dis_attr_md.read_perm);

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_NO_ACCESS(&dis_init.dis_attr_md.write_perm);

        err_code = ble_dis_init(&dis_init);
        APP_ERROR_CHECK(err_code);
    }
    static void conn_params_init(void)
    {
```

```
        uint32_t               err_code;

        ble_conn_params_init_t cp_init;


        memset(&cp_init, 0, sizeof(cp_init));


        cp_init.p_conn_params                  = NULL;

        cp_init.first_conn_params_update_delay =
FIRST_CONN_PARAMS_UPDATE_DELAY;

        cp_init.next_conn_params_update_delay  =
NEXT_CONN_PARAMS_UPDATE_DELAY;

        cp_init.max_conn_params_update_count   =
MAX_CONN_PARAMS_UPDATE_COUNT;

        cp_init.start_on_notify_cccd_handle    =
m_hrs.hrm_handles.cccd_handle;

        cp_init.disconnect_on_fail             = true;

        cp_init.evt_handler                    = NULL;

        cp_init.error_handler                  = conn_params_error_handler;


        err_code = ble_conn_params_init(&cp_init);

        APP_ERROR_CHECK(err_code);

    }

    static uint32_t device_manager_evt_handler(dm_handle_t const    *
p_handle,
                                               dm_event_t const     * p_event,

                                               api_result_t         event_result)
    {

        APP_ERROR_CHECK(event_result);

        return NRF_SUCCESS;

    }

    static void device_manager_init(void)

    {

        uint32_t               err_code;

        dm_init_param_t        init_data;

        dm_application_param_t  register_param;

        err_code = pstorage_init();

        APP_ERROR_CHECK(err_code);

        err_code = dm_init(&init_data);

        APP_ERROR_CHECK(err_code);


        memset(&register_param.sec_param, 0,
sizeof(ble_gap_sec_params_t));


            APP_GPIOTE_INIT(APP_GPIOTE_MAX_USERS); }

        register_param.sec_param.timeout      =
SEC_PARAM_TIMEOUT;

        register_param.sec_param.bond         =
SEC_PARAM_BOND;

        register_param.sec_param.mitm         =
SEC_PARAM_MITM;

        register_param.sec_param.io_caps      =
SEC_PARAM_IO_CAPABILITIES;

        register_param.sec_param.oob          =
SEC_PARAM_OOB;

        register_param.sec_param.min_key_size =
SEC_PARAM_MIN_KEY_SIZE;

        register_param.sec_param.max_key_size =
SEC_PARAM_MAX_KEY_SIZE;

        register_param.evt_handler            =
device_manager_evt_handler;

        register_param.service_type           =
DM_PROTOCOL_CNTXT_GATT_SRVR_ID;

        err_code = dm_register(&m_app_handle,
&register_param);

        APP_ERROR_CHECK(err_code); }

    static void ble_stack_init(void) {

        uint32_t err_code;

        // Initialize the SoftDevice handler module.

    SOFTDEVICE_HANDLER_INIT(NRF_CLOCK
_LFCLKSRC_XTAL_20_PPM, false);

        // Enable BLE stack

        ble_enable_params_t ble_enable_params;

        memset(&ble_enable_params, 0,
sizeof(ble_enable_params));

    ble_enable_params.gatts_enable_params.service_c
hanged = IS_SRVC_CHANGED_CHARACT_PRESENT;

        err_code =
sd_ble_enable(&ble_enable_params);

        APP_ERROR_CHECK(err_code);

        // Register with the SoftDevice handler module
for BLE events.

        err_code =
softdevice_ble_evt_handler_set(ble_evt_dispatch);

        APP_ERROR_CHECK(err_code);

        // Register with the SoftDevice handler module
for BLE events.

        err_code =
softdevice_sys_evt_handler_set(sys_evt_dispatch);

        APP_ERROR_CHECK(err_code);

    }

    static void gpiote_init(void)

    {
```

```
static void application_timers_start(void) {
        uint32_t err_code;
        // Start application timers
        err_code = app_timer_start(m_battery_timer_id,
BATTERY_LEVEL_MEAS_INTERVAL, NULL);
        APP_ERROR_CHECK(err_code); }
      static void advertising_start(void) {
        uint32_t err_code;
        err_code = sd_ble_gap_adv_start(&m_adv_params);
        APP_ERROR_CHECK(err_code);
        led_start();
      }
      static void system_off_mode_enter(void)
      {
        uint32_t err_code;
        uint32_t count;
        err_code = pstorage_access_status_get(&count);
        APP_ERROR_CHECK(err_code);
        if (count != 0)    {
          m_memory_access_in_progress = true;
          return;    }
        err_code = sd_power_system_off();
        APP_ERROR_CHECK(err_code); }
      static void on_ble_evt(ble_evt_t * p_ble_evt){
        uint32_t        err_code;
        switch (p_ble_evt->header.evt_id)    {
          case BLE_GAP_EVT_CONNECTED:
            led_stop();
            application_timers_start();
            err_code = app_button_enable();
            APP_ERROR_CHECK(err_code);
            break;
          case BLE_GAP_EVT_DISCONNECTED:
            system_off_mode_enter();
    break;
          case BLE_GAP_EVT_TIMEOUT:
            if (p_ble_evt->evt.gap_evt.params.timeout.src ==
BLE_GAP_TIMEOUT_SRC_ADVERTISEMENT)       {
              led_stop();
              system_off_mode_enter();       }
            break;
        default:
 break;    } }
static void on_sys_evt(uint32_t sys_evt){
   switch(sys_evt)    {
            case
NRF_EVT_FLASH_OPERATION_SUCCESS:
            case
NRF_EVT_FLASH_OPERATION_ERROR:
              if (m_memory_access_in_progress)      {
                m_memory_access_in_progress = false;
               system_off_mode_enter();      }
              break;
            default:
              break;    } }
static void ble_evt_dispatch(ble_evt_t * p_ble_evt){
          dm_ble_evt_handler(p_ble_evt);
          ble_hrs_on_ble_evt(&m_hrs, p_ble_evt);
          ble_bas_on_ble_evt(&bas, p_ble_evt);
          ble_conn_params_on_ble_evt(p_ble_evt);
          on_ble_evt(p_ble_evt);}
        static void sys_evt_dispatch(uint32_t sys_evt){
          pstorage_sys_event_handler(sys_evt);
          on_sys_evt(sys_evt);}
        int main(void){
          uint32_t err_code;
         timers_init();
          gpiote_init();
          ble_stack_init();
          device_manager_init();
          gap_params_init();
        advertising_init();
          conn_params_init();
         services_init();
          advertising_start();
         // Enter main loop.
                        for (;;)
                          {
              err_code = sd_app_evt_wait();
              APP_ERROR_CHECK(err_code);
                          }
}
```

P-3.2 Tolimesnis programos kodas.

```
#include "boards.h"
#include "app_gpiote.h"
#include "app_util_platform.h"
#include "app_scheduler.h"
#include "nrf_gpio.h"
#include "AFE4490.h"
#include "AFE4490_nrf51822_hw.h"
#include <stdio.h>
#include "nrf.h"
AFE4490_param_t gluco_param;
volatile char uart_masyvas[20];
void app_error_handler(uint32_t error_code, uint32_t line_num,
const uint8_t * p_file_name);
void user_IN_int_handler(void);
volatile uint32_t AFE4490_data_address;
void GPIOTE_IRQ_Handler(void) {
if(NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[0] == 1) {
NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[0] = 0;
AFE4490_ADC_RDY_int((uint32_t *)&AFE4490_data_address); }
if(NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[1] == 1) {
NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[1] = 0; }
if(NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[2] == 1) {
NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[2] = 0; }
if(NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[3] == 1) {
NRF_GPIOTE->EVENTS_IN[3] = 0; } }
int main(void) {
volatile uint32_t tmp = 0;
volatile uint8_t jauniausiasB = 0;
volatile uint8_t vidurinisB = 0;
volatile uint8_t vyriausiasB = 0;
volatile uint32_t i;
  APP_GPIOTE_INIT(1);
  AFE4490_hw_init();
AFE4490_data_address = 0;
gluco_param.reg_LED2STC = 6000; //LED2 sampling start
gluco_param.reg_LED2ENDC = 7998; //LED2 sampling end
gluco_param.reg_LED2LEDSTC = 6000;//LED2 pulse start
gluco_param.reg_LED2LEDENDC = 7999; //LED2 pulse end
gluco_param.reg_ALED2STC = 0; //LED2 ambient sampling start
gluco_param.reg_ALED2ENDC = 1998; //LED2 ambient sampling e
gluco_param.reg_LED1STC = 2000;     //LED1 sampling start
gluco_param.reg_LED1ENDC = 3998; //LED1 sampling end
gluco_param.reg_LED1LEDSTC = 2000; //LED1 pulse start
gluco_param.reg_LED1LEDENDC = 3999; //LED1 pulse end
gluco_param.reg_ALED1STC = 4000; //LED1 ambient sampling s
gluco_param.reg_ALED1ENDC = 5998; //LED1 ambient sampling
gluco_param.reg_LED2CONVST = 2; //LED2 conversation start
gluco_param.reg_LED2CONVEND = 1999; //LED2 conversation e
gluco_param.reg_ALED2CONVST = 2002; //LED2 ambient co st
gluco_param.reg_ALED2CONVEND = 3999;
gluco_param.reg_LED1CONVST = 4002; //LED1 conversation start
gluco_param.reg_LED1CONVEND = 5999; //LED1 conversation
gluco_param.reg_ALED1CONVST = 6002;
gluco_param.reg_ALED1CONVEND = 7999;
gluco_param.reg_ADCRSTSTCT0 = 0; //ADC reset 0 start
gluco_param.reg_ADCRSTENDCT0 = 0; //ADC reset 0 end
gluco_param.reg_ADCRSTSTCT1 = 2000; //ADC reset 1 start
gluco_param.reg_ADCRSTENDCT1 = 2000; //ADC reset 1 end
gluco_param.reg_ADCRSTSTCT2 = 4000; //ADC reset 2 start
gluco_param.reg_ADCRSTENDCT2 = 4000; //ADC reset 2 end
gluco_param.reg_ADCRSTENDCT3 = 6000; //ADC reset 3 end
gluco_param.reg_PRPCOUNT = 7999; //pulse repetition period
gluco_param.reg_CONTROL1 = (0 <<
CONTROL1_CLKALMPIN_pos) | (0 <<
CONTROL1_TIMEREN_pos) | (1 << CONTROL1_NUMAV_pos);
gluco_param.reg_ADCRSTSTCT3 = 6000; //ADC reset 3
gluco_param.reg_TIAGAIN = (TIAGAIN_RF_LED1_500k <<
TIAGAIN_RF_LED1_pos) | (0 << TIAGAIN_ENSEPGAN_pos);
gluco_param.reg_TIA_AMB_GAIN =
(TIA_AMB_GAIN_RF_LED2_500k <<
TIA_AMB_GAIN_RF_LED2_pos);
gluco_param.reg_CONTROL2 = (CONTROL2_TX_REF_500mV
<< CONTROL2_TX_REF_pos);
gluco_param.reg_LEDCNTRL = AFE4490_calc_I(6, 6,
&gluco_param.reg_CONTROL2);
AFE4490_init(&gluco_param);
nrf_gpio_cfg_output(30);
nrf_gpio_pin_set(30); __enable_irq();
while(1) { }}
void app_error_handler(uint32_t error_code, uint32_t line_num,
const uint8_t * p_file_name)
{    NVIC_SystemReset();
```

P-4 vartotojo sąsaja.



P-5 Pilna įrenginio schema.

