



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Karolina Abromaitytė

**NEINVAZINIO GLIUKOMETRO OPTOELEKTRONINIO
DAVIKLIO PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas
prof. Linas Svilainis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**NEINVAZINIO GLIUKOMETRO OPTOELEKTRONINIO
DAVIKLIO PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis bakalauro projektas

Biomedicininė elektronika B2106J21

Vadovas

(parašas) Prof. Linas Svilainis

(data)

Recenzentas

(parašas) Prof. Habil.. dr Audris Kopustinskas

(data)

Projektą atliko

(parašas) Karolina Abromaitytė

(data)

KAUNAS, 2015

užduotis



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Karolina Abromaitytė

(Studento vardas, pavardė)

Biomedicininė elektronika, B2106J21

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Neinvazinio gliukometro optoelektroninio daviklio projektavimas ir tyrimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 26 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Karolinos Abromaitytės** baigiamasis projektas tema „Neinvazinio gliukometro optoelektroninio daviklio projektavimas ir tyrimas“ 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)

Abromaitytė K.. Neinvazinio gliukometro optoelektroninio daviklio projektavimas ir tyrimas: Bakalauro baigiamasis darbas / vadovas Prof. dr. L. Svilainis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir Elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. – 51 p.

S A N T R A U K A

Darbo tikslas – suprojektuoti ir ištirti neinvazinio gliukometro optoelektroninį daviklį. Darbe buvo analizuojama cukrinio diabeto keliamos rizikos ir nagrinėjamas gliukozės kiekio kraujyje stebėjimas. Darbe analizuojamas neinvazinis, optinis gliukozės kiekio kraujyje nustatymo būdas ir projektuojamas preliminarus neinvazinis optoelektroninis daviklis.

Literatūros analizės dalyje iškeliamos cukrinio diabeto problemos, išnagrinėjami galimi neinvaziniai gliukozės kiekio kraujyje nustatymo metodai. Pasirinktas šviesos absorbcijos metodas, atlikti eksperimentai šiam metodui patvirtinti. Projektinėje dalyje išnagrinėjama optoelektroninio daviklio geometrija. Suprojektuotas preliminarus optoelektroninis daviklis.

Reikšminiai žodžiai:

Cukrinis diabetas, neinvazinis, gliukometras, optoelektroninis, daviklis

Abromaitytė K. Design and investigation of optoelectronic sensor for non-invasive glucometer: Bachelor's work in electronic engineering/ supervisor assoc. prof. dr. L. Svilainis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electronics Engineering. Kaunas, 2015. – 51 p.

SUMMARY

The objective of the work – design and investigation of optoelectronic sensor for non-invasive glucometer. Work has been analyzed for risks of diabetes and blood glucose monitoring. At work analyzing optical non-invasive method for determining the amount of glucose in the blood and projected noninvasive optoelectronic sensor.

In the literature research analyzed diabetes mellitus problem. We investigation noninvasive non-invasive methods for the determination of blood glucose levels. We chose light absorption method. Investigated it. In project part analyzed optoelectronic part geometry. Designed optoelectronic sensor.

Keywords:

Diabetes mellitus, non-invasive, glucometer, optoelectronic, sensor.

SANTRUMPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

CD – cukrinis diabetas

NIR - near infrared (artimieji infraraudonieji spinduliai)

MIR - mid infrared (vidurinieji infraraudonieji spinduliai)

BMR – branduolinis magnetinis rezonansas

ATR – attenuated total reflection (visiško atspindžio susilpninimas)

UV – ultravioletiniai spinduliai

LED - šviesos diodai

ASK – analoginis skaitmeninis keitiklis

SAK – skaitmeninis analoginis keitiklis

Turinys

IVADAS.....	10
1 LITERATŪROS IR UŽDUOTIES ANALIZĖ	12
1.1 Gliukozės nustatymas	15
1.2 Neinvaziniai metodai	16
1.2.1 Atvirkštinė elektrolizė (Reverse iontophoresis).....	17
1.2.2 Foto–akustinė spektroskopija.....	17
1.2.3 Šviesos poliarimetrija.....	18
1.2.4 Fluorescencija	20
1.2.5 Ramano spektroskopija.....	20
1.2.6 Metabolinė šilumos konformacija.....	21
1.2.7 Bioimpedancinė spektroskopija	21
1.2.8 Sūkurinių srovių veikimo metodas	22
1.3 Absorbcinė spektroskopija	23
1.3.1 NIR spektroskopija	23
1.3.2 Matavimų konfigūracijos	24
1.3.3 Galimos matavimų vietos	24
1.4 Metodo pasirinkimas	27
1.5 Sugerties teorija	27
2 Atlikti bandymai ir gauti rezultatai	29
3 PROJEKTINĖ DALIS	36
3.1 Komponentų parinkimas.....	37
3.2 Optoelektroninio daviklio geometrija.....	43
3.3 Principinė schema.....	44
3.4 Montažinės plokštės projektavimas.....	45

3.5	Plokštės 3D vaizdas	46
3.6	Korpusas	47
IŠVADOS		49
LITERATŪROS SĄRAŠAS		50

IVADAS

Cukrinis diabetas (CD) yra liga, kuria daugiausiai sergama ir dėl kurios daugiausiai mirštama, kiekvienoje šalyje. Pagal 2014 m. duomenis visame pasaulyje sergančiųjų yra apie 387mln. Kadangi pasaulyje keičiasi gyvenimo būdas, jis darosi labiau sėdimas, daugiau žmonių konstatuojamas nutukimas, mitybos sutrikimai, tai gali pakeisti šia statistiką. Manoma, kad iki 2030m. sergančiųjų skaičius padidės iki 552mln. Pati blogiausia šios ligos savybė, jog ji neišgydoma. Žmogus visą savo gyvenimą yra priklausomas nuo injekcijų ir griežto gyvenimo būdo režimo. Taip pat ši liga pasižymi daugybe komplikacijų, tokių kaip: širdies ir kraujagyslių ligos, inkstų ligos ir pakitimai, nerviniai pakitimai, regos sutrikimai, galimas net apakimas. Taip pat galimos net amputacijos. Gydomo metodai yra labai paprasti, bet nelabai veiksmingi, kadangi, kaip buvo minėta anksčiau, liga yra nepagydoma. Simptomai ir pasekmės gali būti tik palengvinamos arba sumažinamos pakeitus mitybą ir vartojant medikamentus.

Yra žinomi trys diabeto tipai. Tai I tipo cukrinis diabetas, II tipo ir nėštuminis arba gliukozės netoleravimo. Yra ir kitų diabeto formų tokių kaip: įgimtas cukrinis diabetas, cistinės fibrozės iššauktas cukrinis diabetas ir steroidinis diabetas, kuris gali būti iššauktas nuo per didelio kiekio gliukokortikoidų (antinksčių žievės gaminami steroidiniai hormonai, veikiantys angliavandenių, riebalų, baltymų apykaitą, padedantys palaikyti organizmo vidinės terpės pastovumą (homeostazę)) pasigaminimo.

I tipo cukrinis diabetas yra autoimuninė liga, II tipo labiausiai paplitęs cukrinis diabetas. Abu tipai yra lėtinės ligos pavyzdžiai. Nėštuminis diabetas atsiradęs moters nėštumo metu, po gimdymo išnyksta, tačiau gali būti ženklas apie būsimą II tipo diabetą, kuris gali atsirasti vyresniame amžiuje.

Gliukozės kiekio kraujyje kontrolė paremta pastoviais matavimais. Žmonės sergantys I ar II tipo cukriniu diabetu privalo kelis kartus per dieną tikrintis gliukozės kiekį kraujyje. Tam dažniausiai naudojami gliukometrai, kuriais atliekant tyrimą tenka invaziniu būdu paimti kraujo mėginį iš piršto. Tokiu būdu sergantieji gauna tikslų gliukozės kiekį kraujyje, pagal kurį parenkama insulino dozė ir terapija.

Žinoma, kasdieninis pirštų badymasis turi tikrai daug trūkumų. Pirmiausia, žmogiškasis faktorius, kad dauguma žmonių bijo adatų ir tiesiogiai matyti kraują, infekcijų rizika, piršto audinių pažeidimai. Be to, invaziniai gliukozės matuokliai yra diskretūs, netinkami pastoviai gliukozės stebėsenai. Negalima užfiksuoti hipoglikemijos ar hiperglikemijos pakitimų. Matome, jog šis metodas nors ir labai tikslus, negali tiksliai atvaizduoti paciento būklės, jo staigių gliukozės kiekio kraujyje pakitimų. Todėl kuriama neinvazinė gliukozės kiekio kraujyje technologija galėtų pašalinti visus šiuos trūkumus.

Neinvaziniai prietaisams pakeitus invazinius, turėtų sumažėti infekcijų, suragėjimų rizika. Integruojant ryšio elektroniką informacija būtų saugoma išorinėje laikmenoje ir esant reikalui išsiunčiami gydytojui patikrinti. Tai pagerintų informacinę, elektroninę sistemą ir suteiktų daugiau informacijos apie pacientą.

Darbai atlikti buvo išsikeltas tikslas: suprojektuoti ir ištirti neinvazinio gliukometro optoelektroninį daviklį.

Ir tokie uždaviniai:

- Apžvelgti egzistuojančius gliukozės kiekio organizme įvertinimo metodus.
- Suprojektuoti optoelektroninį daviklį.
- Prietaisas turi būti neinvazinis.
- Ištirti optoelektroninio daviklio veikimą.

1 LITERATŪROS IR UŽDUOTIES ANALIZĖ

Kas yra cukrinis diabetas

Cukrinis diabetas (cukraligė) – tai lėtinė liga, paveikianti angliavandenių, riebalų, ir baltymų apykaitą, dėl netinkamo insulino gaminimo ar pasisavinimo. Taip atsitinka todėl, kad kasa negamina insulino arba organizmas negali pasisavinti gliukozės.

Gliukozė yra pagrindinis energijos šaltinis. Sveiko žmogaus gliukozės kiekis kraujyje gali būti nuo 3,33 iki 5,55 mmol/l. Cukraus koncentraciją kraujyje kontroliuoja Langerhanso salelės esančios α ir β ląstelės, kurios gamina hormonus. Insulinas tai yra baltyminės kilmės hormonas, kurį išskiria kasos β -ląstelės. Jis padeda gliukozei patekti į raumenis, riebalinį audinį, kepenis, reguliuoja ir mažina gliukozės kiekį kraujyje. Insulino išskyrimą skatina hiperglikemija. Gliukagonas yra kasos α -ląstelių išskiriamas hormonas. Jis padidina cukraus kiekį kraujyje kai šis sumažėja. Gliukagono išskyrimą skatina hipoglikemija. Hiperglikemija – gliukozės kiekis viršija 5,55 mmol/l ribą. Hipoglikemija – kai gliukozės kiekis kraujyje yra mažesnis nei 3,33mmol/l.

Nesvarbu ar žmogui pasireiškia hiperglikemija ar hipoglikemija tai palieka labai sunkius padarinius. Jei žmogaus organizme ilgą laiką vyrauja per didelis kiekis gliukozės tai gali iššaukti nervų sistemos sutrikimus, aklumą, inkstų funkcijos nepakankamumą, taip pat sukelti širdies ir kraujagyslių ligas bei apsigimimus. Esant žemam gliukozės kiekiui organizme gali ištikti koma arba net staigi mirtis.

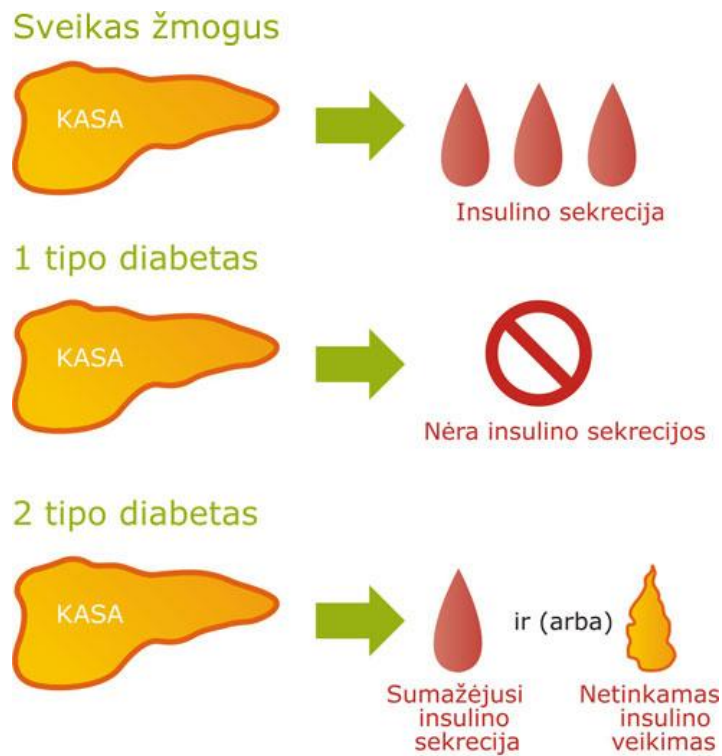
Diabeto tipai

Yra žinomi 3 diabeto tipai:

- I tipo CD
- II tipo CD
- Nėštuminis arba gliukozės netoleravimo diabetas

Pats pirmasis požymis apie galimybes susirgti CD pasireiškia gliukozės netoleravimu. Kai gliukozės kiekis žmogaus organizme yra padidėjęs, bet ne tiek kad būtų galima sakyti, jog žmogus jau serga cukriniu diabetu. Žmonės, kuriems pasireiškia gliukozės netoleravimas, nesilaikydami atsargumo priemonių gali susirgti II tipo CD.

I tipo cukrinis diabetas – autoimuninė liga, jos metu žmogaus kasa gamina labai mažą insulino kiekį arba jo visai negamina. I tipo CD diabetas dažniausiai pasireiškia jauniems žmonėms. Kadangi šis sutrikimas nėra išgydomas, tenka visa gyvenimą leisti insulino dozes, kasdien kelis kartus tikrintis gliukozės kiekį kraujyje.



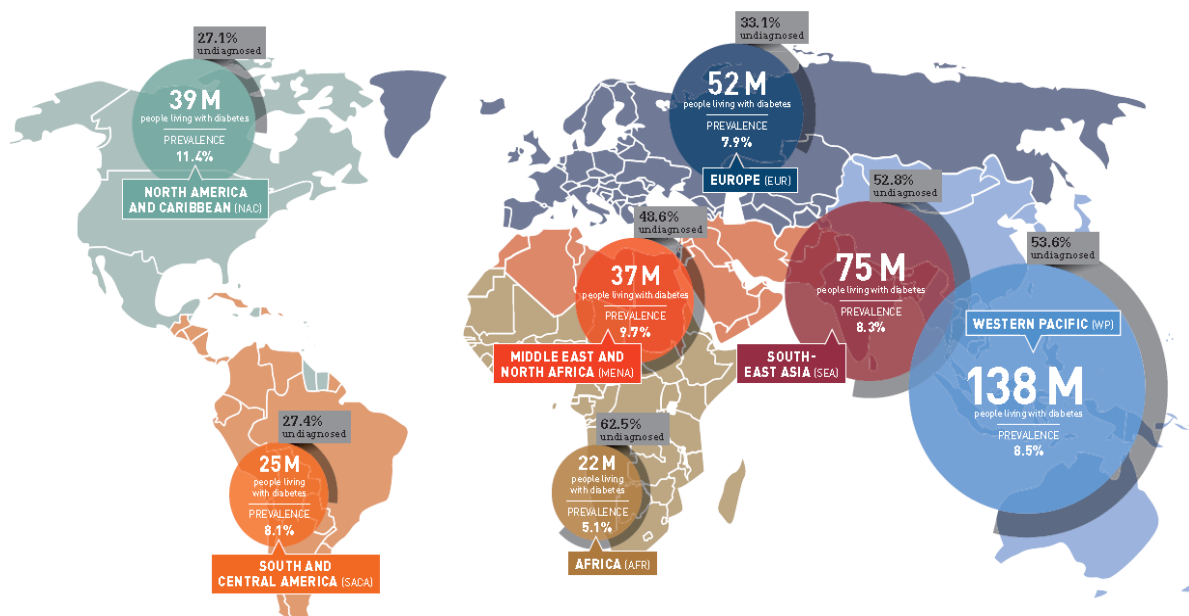
1.1 pav. Paveikslėlyje matome diabeto tipus ir kaip tuo metu veikia kasa [11]

II tipo CD dažniausiai pasireiškia vyresnio amžiaus žmonėms, kurie turi antsvorio. Daugelyje šalių, tokių kaip JAV, daugelis vaikų turi II tipo CD dėl per mažos fizinės veiklos ir antsvorio.

Maždaug apie 90 procentų serga II tipo CD. II tipo CD dažnai vadinamas gyvenmenos liga, kuri atsiranda nuo sėslaus gyvenimo būdo ir netinkamos mitybos. Taip pat tai gali būti paveldima.

Statistika

Pasaulyje 387 mln. žmonių serga cukriniu diabetu. Spėjama, kad iki 2035 metų šis skaičius išaugs iki 592mln. Užfiksuota, kad 40 – 59 metų amžiaus grupės atstovai dažniausiai serga cukriniu diabetu. 2014 m. nuo diabeto sukeltų komplikacijų mirė 4,9 mln. žmonių [15].



1.2 pav. Cukrinio diabeto pasiskirstymas pasaulyje [15]

Iš paveikslėlio 1.2 matyti, jog sergančiųjų cukriniu diabetu statistika pasiskirsčiusi nevienodai. Sergančiųjų labai daug tiek turtingose tiek neturtingose šalyse. Svarbu išskirti pagrindinius veiksnius nulemiančius sergančiųjų pasiskirstymą. Turtingose šalyse cukrinis diabetas vyrauja dėl šiomis dienomis vyraujančio greito tempo ir gyvenimą palengvinančių šiuolaikinių technologijų. Sumažėjusi fizinė veikla, greitas maistas, žalingi įpročiai, apskritai netinkama gyvensena paveikia žmogaus organizmą. Tai turtingose šalyse dažniausiai ir sukelia cukrinį diabetą.

Skurstančiose šalyse statistikos rodikliai labai panašūs, tik skirtumas tas, kad neturtingose šalyse nediagnozuotas cukrinis diabetas viršija 50 % ribą. Cukrinio diabeto statistika čia vyrauja dėl visiškai priešingų priežasčių. Tai netinkama mityba arba jos stoka. Vėliau atsiradus cukriniam diabetui, dėl netinkamos medicinos priežiūros, jis dažnai yra netinkamai gydomas ir išauga į mirtį sukeliančias komplikacijas.

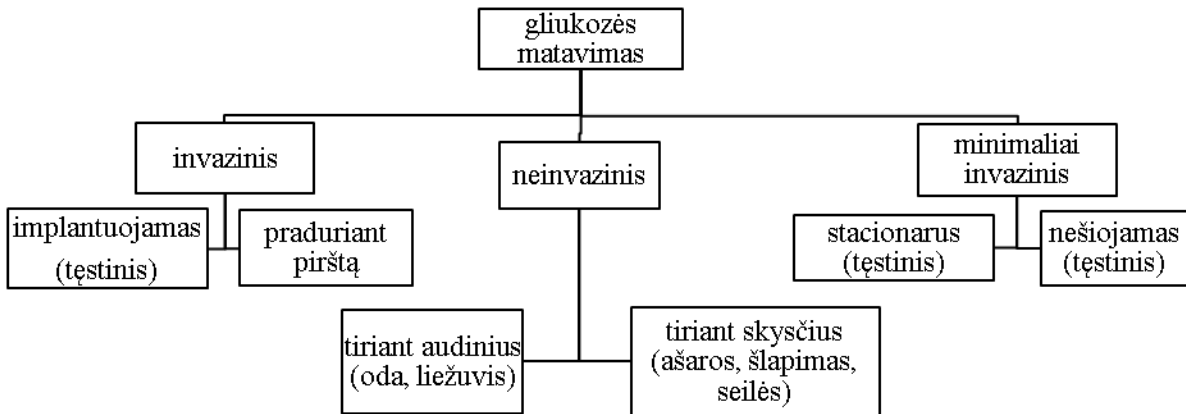
Bendrai apžvelgiant statistiką yra žinoma, kad net vienas iš dvylikos pasaulio gyventojų serga cukriniu diabetu. Tačiau nė pusė iš jų nenutuokia, kad juo serga. Šiuo metu cukrinis diabetas užima aukštą poziciją tarp ligų sukeliančių mirtį. Labai svarbu laiku aptikti cukrinį diabetą, jį nuosekliai stebėti ir gydyti tam, kad nekiltų ligos komplikacijos.

1.1 Gliukozės nustatymas

Gliukozės koncentracijai kraujyje nustatyti galima išskirti tris pagrindinius matavimo metodus.

- Invazinis
- Minimaliai invazinis
- Neinvazinis

Kiekvienas šis tyrimo metodas analizuojamas pagal tai, kokios trukmės (tęstinis, diskretus) tyrimo procesas, koks prietaisas (stacionarus, nešiojamas) ir ką tiriamo (audinius, skysčius) (žiūrėti pav. 1.3).



1.3 pav. Gliukozės kiekio kraujyje matavimo metodai

Invazinės sistemos gali būti naudojamos stacionariuose klinikiuose prietaisuose arba ambulatorinių tyrimų matuokliuose. Stacionarūs klinikiniai prietaisai naudojami intensyvios priežiūros skyriuose ir jų jutiklių tikslumo paklaidos 1 %. Šios sistemos gali būti naudojamos tęstiniam matavimams norint gauti reikiamą klinikinę informaciją.

Sistemos, kurias naudojant reikia pradurti odą, yra standartinės naudojant namų sąlygomis. Jų tikslumo paklaidos 6–7 %. Gliukozės koncentracija gaunama tiesiogiai iš kraujo mėginio, jį analizuojant elektrocheminiu, kolorimetriniu arba optiniu metodu.

Elektrocheminės analizės metu tiriami vyksmai tarp elektrodų. Analizuojami pakitę parametrai: varža bei elektrinis laidumas, elektrodo potencialas, elektros krūvio kiekis ir kt.

Kolorimetrinis metodas pagrįstas šviesos absorbcijos analize. Šio metodo metu mėginys apšviečiamas skirtingų spalvų šviesos šaltiniais ir taip nustatoma sugertis, kuri atitinka gliukozės kiekį kraujyje.

Optinis metodas analizuoja sužadintų molekulių, atomų, ar jonų spinduliuotę. Taip pat medžiagos savybę sugerti tam tikro bangos ilgio šviesą, ir dalelių šviesos išbarstymą.

Šios sistemos sukurtos taip, kad žmogus patirtų kuo mažiau diskomforto: kraujo mėginio kiekis sumažintas iki kelių mikro–litrų, ir kraujo mėginiui paimta parinkta vieta, turinti mažiausią jautrumą - pirštas. Tačiau šios sistemos turi kelis pagrindinius trūkumus. Kadangi gliukozės kiekis kraujyje tiesiogiai nustatomas iš kraujo mėginio matavimus nepatogu atlikti miego metu, esant fiziniam aktyvumui, todėl negalima stebėti hiperglikemijos ar hipoglikemijos priepuolių.

Minimaliai invazinių matavimų metu mėginiai paimami poodiniais jutikliais iš audinių skysčių. Tačiau net ir su šiais prietaisais yra sukeliamas diskomfortas pacientui.

Pagrindinė visų šių invazinių prietaisų neigiama savybė – tyrimų stoka. Atliekant tyrimus invaziniais metodais tyrimas gali būti tęstinis, bet tik tam tikrą laiko tarpą, pvz.: atliekant klinikinius stebėjimus. Tačiau invaziniai adatai ilgai būnant vienoj vietoj atsiranda užkrėtimų ir nervų pažeidimų rizikos. Reikia bent kas kažkiek laiko keisti invazinio jutiklio vietą. Atliekant stebėseną namuose, asmuo sergantis cukriniu diabetu taip pat labai dažnai turi prasidegti pirštą, kad išsirtų gliukozės kiekį kraujyje. Asmeniui neretai nuo dažno badymosi surandėja pirštai, tampa nejautrūs. Namuose nesilaikant švaros, atsiranda labai didelė užkratų tikimybė.

Todėl mokslininkai dirba ties neinvazinių matavimų sritimi, kad visi reikiami tyrimai būtų atliekami kuo patogiau, tiksliau, inovatyviau.

1.2 Neinvaziniai metodai

Išanalizavus visus invazinius gliukozės kiekio kraujyje nustatymo metodus buvo nuspręsta, kad invazinius metodus reikia pakeisti neinvaziniais, kad būtų pagerinta pacientų patologinė būseną. Neinvaziniai metodai yra saugūs, neskausmingi, su jais lengvai atliekami pirminiai tyrimai. Atliekant neinvazinių gliukozės kiekio nustatymo metodų analizę, buvo išskirti pagrindiniai ir mokslininkų teigimų efektyviausi.

1.2.1 Atvirkštinė elektrolizė (Reverse iontophoresis)

Terapija naudoja elektros srovę, kad suirusios molekulės teigiami arba neigiami jonai iš medicininio prietaiso patektų į žmogaus organizmą. Šis metodas jau keletą dešimtmečių buvo naudojamas vaistų pristatymo sistemoms. Padedant elektrinei srovei vaistai nugabenami neinvaziniu būdu į žmogaus organizmą.

Neinvaziniai stebėsenai naudojamas priešingas procesas elektrolizei, gliukozė iš žmogaus organizmo patenka iki jutiklio, kuris nustato gliukozės kiekį žmogaus organizme. Todėl ir vadinama atvirkštine elektrolize.

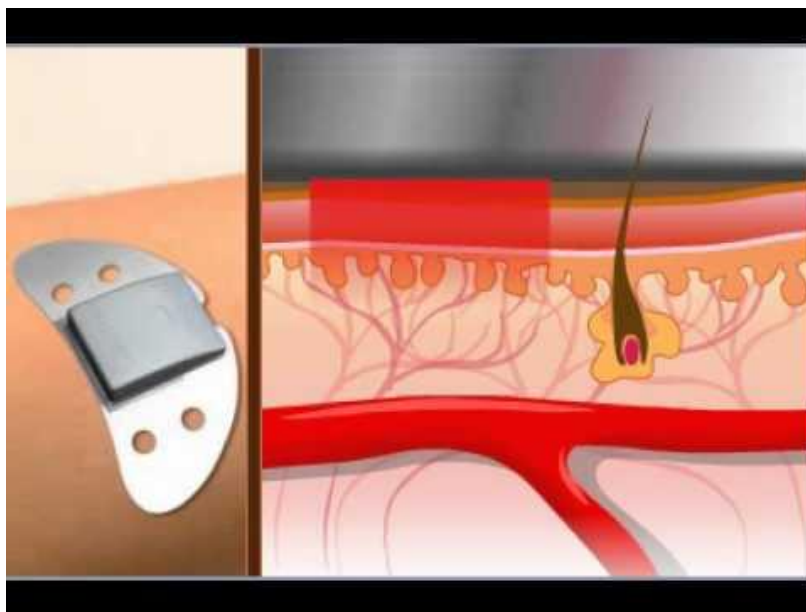
Šis matavimas yra įmanomas, todėl nes gliukozė yra neutrali molekulė. Molekulės per epidermį yra išgaunamos elektro-osmosu ir teka link elektrolizės katodo kartu su Na^+ jonais. Gliukozės koncentracija per odą išgaunama mA srove ir aptinkama nuo 50pmol/l iki 200pmol/l tikslumu. Koreliacijos koeficientas tarp etaloninio ir šio tiriamo metodo yra 0,865.

Visi šie procesai gali būti atliekami ne tik naudojantis šiuo bio-sensoriumi galima šiai sistemai panaudoti temperatūrinius keitiklius arba talpinius sensorius. Sistema gali nuskaityti gliukozės reikšmes maždaug kas 10 minučių.

Nagrinėjant metodą galima išskirti kelis trūkumus. Gliukozė yra surenkama hidrogelio diskuose, kur vėliau prasideda gliukozės oksidacijos reakcijos ir dėl to gliukozės koncentracija gali būti išskaičiuojama netinkamai. Hidrogelis privalo būti dažnai keičiamas, nes sudarydamas amperometrinio biosensoriaus elektrolitą ir veikdamas prie nA aptinka H_2O_2 .

1.2.2 Foto–akustinė spektroskopija

Foto–akustinė spektroskopija pagrįsta molekulių sukuriamą ultragarsinę vibraciją – ultragarso slėgio bangą, kuri atsiranda daleles žadinant šviesa. Kai lazerio spindulys pasiekia ląstelę, joje sužadinama šiluma, kuri sukelia ultragarsines slėgio bangas – vibracijas. Šie akustiniai signalai gali būti užfiksuojami panaudojant pjezo elektrinius keitiklius ir atitinkamo bangos ilgio šviesa, kuria sužadinamos gliukozės molekulės kraujuje. Foto–akustine spektroskopija paremtas „Glucon Aprise“ [19] prietaisas, kuris tam tikra laiką buvo rinkoje, tačiau dėl netikslumo, dažnos kalibracijos ir kitų nesklandumų šiuo metu juo nebeprekiuojama.

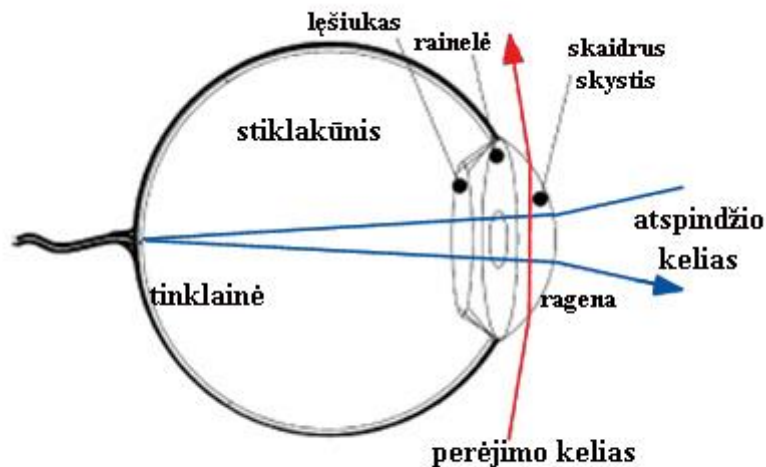


1.4 pav. Fotoakustiniu metodu pagrįstas prietaiso „Glucon aprice“ veikimas [19]

Pagrindiniai šio metodo privalumai, kad ši technologija naudoja lazerius, todėl galima pasiekti didesnę jautrumą, negu su įprasta spektroskopija. Taip pat lazerių spektras labai platus, nuo ultravioletinių iki FIR bangos ilgių. Taip pat galime paminėti ir kelis šio metodo trūkumus: technologijos jautrumas stipriai priklauso nuo kitų biologinių komponentų, temperatūros svyravimų ir slėgio pokyčių. Prietaisas yra brangus ir stipriai veikiamas išorinių veiksnių.

1.2.3 Šviesos poliarimetrija

Tiesinės poliarizacijos šviesos vektorius gali pasisukti dėl kelių priežasčių: storio, temperatūros ir koncentracijos. Kai kurie mokslininkai bando taikyti poliarimetriją neinvaziniu būdu stebėti gliukozę. Didelis sklaidos koeficientas sukelia pilną depoliarizaciją, kai spinduliuojama į odą. Todėl buvo pradėti bandymai su akies stiklakūniu. Manoma, kad pasikeičiantis šviesos kampo pokytis, perėjus per stiklakūnį, yra gliukozės rodiklis. Esant normaliam gliukozės kiekiui kraujyje (5.5 mmol/l) ir panaudojus 633nm bangos ilgio šviesą, šviesos vektorius eidamas per akies stiklakūnį pasisuka 4.562 mili laipsnių.



1.5 pav. poliarimentrijos metodo metu spindulių sklaidimas per apie stiklakūnį

Yra du galimi poliarimetrijos metodai: atspindžio ir perėjimo. 1.5 paveikslėlyje matome mėlyna spalva pažymėtą atspindžio metodo kelią, o raudona linija perėjimo metodo kelią. Naudojant perėjimo metodą poliarizuota šviesa praeina per rageną ir kitoje pusėje užfiksuojami jos kampo pokyčiai. Atspindžio metodu spindulys per rageną keliauja į akies obuolį, atsispindi nuo stiklakūnio sienelės tam tikru kampu ir grįžta. Žinant įėjimo ir išėjimo kampus galime spręsti apie gliukozės koncentraciją. Poliarimetrijos metodas mažai veikiamas temperatūrinių ir pH svyravimų.

Pagrindiniai šio metodo privalumai, kad šviesos absorbcija ir sklaida akyje yra nedidelė. Taip pat žinoma, jog stiklakūnyje pagrindinis komponentas yra gliukozė. Todėl galima lengvai sieti su gliukozės koncentraciją kraujyje. Technologija gali naudoti matomą šviesą, todėl optiniai komponentai gali būti lengvai minimizuojami.

Pagrindinis metodo trūkumas tai saugos reikalavimai dėl šviesos skleidimo į akis. Taip pat labai svarbus judesio artefaktas bei optiniai triukšmai mažiems kampams.

1.2.4 Fluorescencija

Fluorescencijos tyrimo metu molekulės žadinamos jų maksimalios absorbcijos spinduliuote, gautas spektras matuojamas per visą emisijos intervalą. Yra žinoma, kad ašarose gliukozės koncentracija nustatoma panašiai kaip ir kraujyje. Ši technologija naudoja fluorescencijos reagentus sekti gliukozės molekules. Galimi keli matavimo variantai: fluorescencijos intensyvumas, spektrų forma ir fluorescencijos gyvavimo trukmė. Kvantinė išeiga – tai santykis tarp emituotų ir absorbuotų fotonų. Todėl šis metodas nagrinėjamas, kaip galimas neinvazinis gliukozės monitoringas. Šis metodas gali analizuoti gliukozės kiekį, tačiau atliekant bandymus buvo nustatyta apie trisdešimties minučių atsilikimo laikas. Fotonai aptinkami poliarizuota kristaline gardele, kuri skirtingai reaguoja į koncentracijos pokyčius išspinduliuodama matomą šviesą. Jutiklis gali būti patalpinamas į kontaktinį lęšį.

Pagrindinis privalumas, kad ši technologija pasižymi itin dideliu jautrumu. Gali aptikti pavienes molekules. Nesukelia žymaus apšvietos poveikio žmogaus organizmui

Tačiau metodo trūkumas, kad fotonų nuskaitymas gali stipriai nukentėti nuo stiprių sklaidos reiškinių. Trumpas fluorescencijos gyvavimo laikas. Bio-suderinamumas didžiausia problema. Dažniausiai šiam metodui įgyvendinti pasitelkiami kontaktiniai lęšiai, kurie atitinkamai pagal gliukozės kiekį kraujyje keičia savo spalvą. Naudojant kontaktinį lęšį bio-suderinamumas nesudėtingas, tačiau į jį įmontavus papildomus elementus galimas atmetimas.

1.2.5 Ramano spektroskopija

Procesas, kai gaunama fotonų sklaida, jiems sąveikaujant su jonais sudarančiais tam tikrą medžiagą, vadinamas Ramano efektu arba Ramano sklaida. Šio tipo spektroskopijos naudoja lazerinius spinduliavimo šaltinius ($<1\text{nm}$) nuo matomos iki MIR spinduliuotės, priklausomai nuo tiriamos medžiagos savybių. Išmatuotas fotonų spektras paprastai turi didesnę bangos ilgį, bet silpnesnį intensyvumą nei paduotasis signalas. Vanduo turi silpną sklaidos koeficientą, todėl šis metodas neveikiamas vandens trikdžių. Kitas privalumas yra tas, kad rezultatų intervalai yra labai siauri, dėl to labai paprasta atskirti signalus. Kadangi metodas yra tikslus buvo imtasi tyrimų dėl gliukozės matavimų žmogaus organizme, tačiau susidurta su viena pagrindine problema, jog šis tyrimas atliekamas su lazerio spinduliuote ir reikia išsianalizuoti fototerminį poveikį žmogaus organizmui.

Galime išskirti privalumą, kad Ramano spektroskopija suteikia ryškesnį ir mažiau persidengiantį spektrą. Šviesos spektro ypatybės yra proporcingos tiriamos medžiagos koncentracijai, taip pat yra žinoma, jog spektras yra mažiau jautrus temperatūros pokyčiams. Mažiau jautrus vandens poveikiui.

Tačiau pagrindiniai apribojimai yra susiję su lazerio bangos ilgio ir intensyvumo nestabilumu. Dar viena iš problemų, tai ilgas spektro išgavimo laikas. Be to, šviesos šaltinio energija turi būti parenkama taip, kad būtų išvengta žalos organizmui. Mažinant šviesos šaltinio energiją, padidėja triukšmų galimybė. Ir žinoma, neišvengiama kitų junginių poveikio matomam spektrui.

1.2.6 Metabolinė šilumos konformacija

Metabolinės šilumos konformacijos metodas nagrinėja žmogaus fiziologinius indeksus (hemoglobino ir oksihemoglobino koncentracijas taip pat gliukozės kiekio koncentraciją žmogaus organizme) susijusius su šilumos gamyba. Šis metodas yra sąlyginai tikslus, nes naudoja ne vieną, o net kelis gliukozės sugeriamus bangos ilgių diodus, lazerius. Tačiau šis metodas yra stipriai veikiamas išorinių aplinkos sąlygų, todėl gali būti naudojama tik kaip pagalbinė, papildoma gliukozės kiekio kraujyje nustatymo priemonė. Pirmieji bandymai buvo atliekami apie 10s, pirštą prigludžiant prie prietaiso ir fiksuojant tris skirtingas poveikio temperatūras t.y. piršto paviršiaus, patalpos ir foninės spinduliuotės. Šio bandymo metu panaudojami šeši skirtingo bangos ilgio šviesos šaltiniai (470 nm, 535 nm, 660 nm, 810 nm, 880 nm, ir 950 nm), kurie užtikrina geresnį gliukozės signalo gavimą. Atliekant bandymus koreliacijos koeficientas gautas apie 0.91, tačiau šis metodas vis dar nėra patvirtintas kaip komercinis produktas.

Galima paminėti šio metodo pagrindinį privalumą, kad pakankamai tikslus, nes naudoja ne vieną, o net 6 šviesos diodus, kurie atitinka gliukozės aktyvumo bangos ilgius.

Tačiau pagrindinis ir svarbiausias šio metodo trūkumas, kad aptinkami stiprūs išoriniai veiksniai: šviesos, temperatūros.

1.2.7 Bioimpedancinė spektroskopija

Bioimpedansas – tai impedansas gautas leidžiant srovę per žmogaus organizmą. Bioimpedanso matavimas dažniausiai naudojamas kūno kompozicijai analizuoti. Varžų spektras arba dielektrinis spektras matuojamas 0.1 – 100MHz dažnių ruože. Gliukozės koncentracijos pokyčiai plazmoje sukelia tam tikrus pakitimus kraujyje. Sumažėja natrio jonų koncentracija ir padidėja kalio jonų koncentracija. Šie pokyčiai paveikia membraninį potencialą, dėl ko mes ir matome bioimpedanso pokyčius. Buvo sukurta

prietaisų nešiojamų ant riešo (pvz.: „Pendra“), kurie buvo skirti matuoti gliukozės koncentraciją žmogaus organizme, tačiau jie rinkoje ilgai neišsilaikė, dėl savo netikslumo.



1.6 pav. Prietaiso „Pendra“ specifika [18]

Pagrindinis metodo privalumas, kad bioimpedancinė spektroskopija nereikalauja statistiškai pagrįstų ar populiacija pagrįstų modelių. Įmanoma atskirti ląstelinį ir tarpląstelinį skystį, dėl to galima fiksuoti kūno ląstelių kiekį, kurias charakterizuoja kraujo bioimpedanso ypatybės. Prietaisais paprasta naudotis ir jie nebrangūs lyginant su kitais panašiais prietaisais. Tačiau pažymimas pagrindinis trūkumas, jog šis metodas reikalauja ekvibracijos t.y. būtinai apie 30 min iki tyrimo pradžios pailsėti ir nusiraminti – pabūti ramybės būsenoje. Taip pat būtina išspręsti kūno temperatūros pokyčių ir kūno drėgmės (odos drėgmė, prakaitas) problemą.

1.2.8 Sūkurinių srovių veikimo metodas

Elektromagnetinis jutiklis pagrįstas sūkurinių srovių veikimu, kuriomis pavyksta aptikti dielektrinius kraujo pokyčius, kurie gali būti paremti gliukozės kiekio kraujyje pokyčiais. Laidumas aptinkamas statišrame arba dinamiškame kraujo mėginyje plastikiniu vamzdeliu, kuriame skleidžiamas rezonansinis dažnis. Dažnių ruožas 2.4 – 2.9 MHz. Temperatūra yra labai svarbus rodiklis norint išmatuoti tam tikrą medžiagą organizme. Nustatyta, kad panaudojus 2.664 MHz dažnį, privalu laikytis 24 °C temperatūros. Yra žinoma, kad net panaudojus branduolinį magnetinį rezonansą (BMR), nustačius jo tam tikrus parametrus galima aptikti gliukozę žmogaus smegenyse.

Pagrindinis privalumas, kad naudojant specifinį dažnį išvengiama kitų medžiagų (pvz., Cholesterolio) poveikio. Beto šis metodas yra sąlyginai saugus, nes išvengiama molekulių jonizacijos. Tačiau verta paminėti, kad temperatūra yra pagrindinis rodiklis nustatantis šio tyrimo tikslumą bei

parenkant optimalų dažnį. Taip pat manoma, jog kraujo dielektriškumas priklauso nuo daugelio komponentų išskyrus gliukozę.

1.3 Absorbcinė spektroskopija

Absorbcinė spektroskopija pagrįsta atspindžiu, sklaida ar perėjimu per biologinius audinius, gaunant tam tikrą atsaką apie kraujo ar audinių sudėtį. Žinant šias audinių savybes galima nagrinėti gliukozės stebėseną neinvaziniu, šviesos absorbcijos metodu. Dauguma spektroskopijos tyrimų atliekama panaudojant šviesos diapazoną nuo matomos iki NIR bangos ilgių. Išskiriami tam tikri panaudojimo diapazonai: 590-950 nm, 1212-1850 nm ir 2120-2380 nm. Šiuose diapazonuose bangos ilgiai parenkami pagal tai, kad vandens absorbcija būtų prasčiausia, kad gautume santykį signalas triukšmas kuo didesnį, kad gaunamas signalas turėtų kuo didesnę energiją, ir kad šviesos davikliai komerciškai būtų plačiai prieinami. Naudojant terapinį langą nuo 600nm iki 2500nm galima tirti atspindžio arba perėjimo metodus. Šie bangos ilgiai turi savybes atsispindėti nuo paviršinių audinių arba pereiti į gilesnius audinius ir gauti atsaką, pvz., piršto kitoje pusėje. Kita vertus naudojant MIR šviesos šaltinius (8382 –9708nm) gaunama daugiau aiškių gliukozės pikų, tačiau šie bangos ilgiai pasižymi prastesne skvarba į biologinius audinius. Norint padidinti skvarbumą turėtų būti panaudojamas visiško atspindžio susilpninimas (ATR (attenuated total reflection)).

1.3.1 NIR spektroskopija

Artimųjų infraraudonųjų spindulių spektras (near- infrared (NIR)) prasideda iškart po raudonųjų spindulių matomos šviesos spektre ir baigiasi pradžioje MIR spektro. Bangos ilgis ir vienetai atitinka šį diapazoną: 700nm-2500nm arba 14285 – 4000 cm^{-1} .

Šis bangos ilgių ruožas fiksuoja tam tikrus cheminius junginius: N--H, O--H, ir C--H. Gliukozė turi kelias bangos ilgių juostas, kuriose aptinkami pikai. Žinant, kad gliukozė šiam bangos ilgių ruože turi nemažai pikų, visas šis ruožas suskirstytas į tris spektrinius langus.

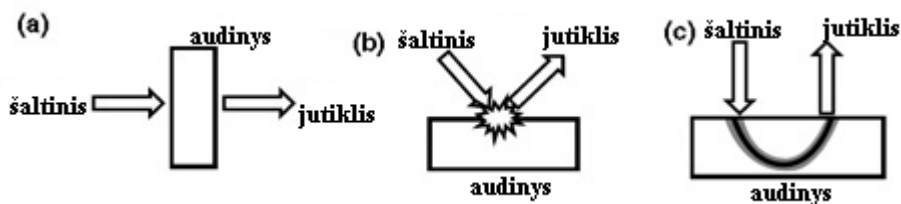
Pirmasis spektrinis langas vadinamas trumpųjų bangų NIR, kuris atitinka šiuos bangos ilgius: 700nm -1200nm arba 14285–8500 cm^{-1} .

Antrasis 1200nm – 1800nm arba 7500–5500 cm^{-1} .

Ir trečiasis 1800nm – 2500nm arba 5000–4000 cm^{-1} .

1.3.2 Matavimų konfigūracijos

Neinvaziniu, šviesos absorbcijos, būdu audinių spektrą galima gauti ir matyti keliais būdais. Perėjimo, atspindžio ir pereinančio atspindžio (transflectance) metodu. Šių būdų atvaizdavimas matosi pav. 1.7.



1.7 pav. Matavimų konfigūracijos: (a) perėjimas, (b) atspindys, (c) perėjimo atspindys [šaltinis]

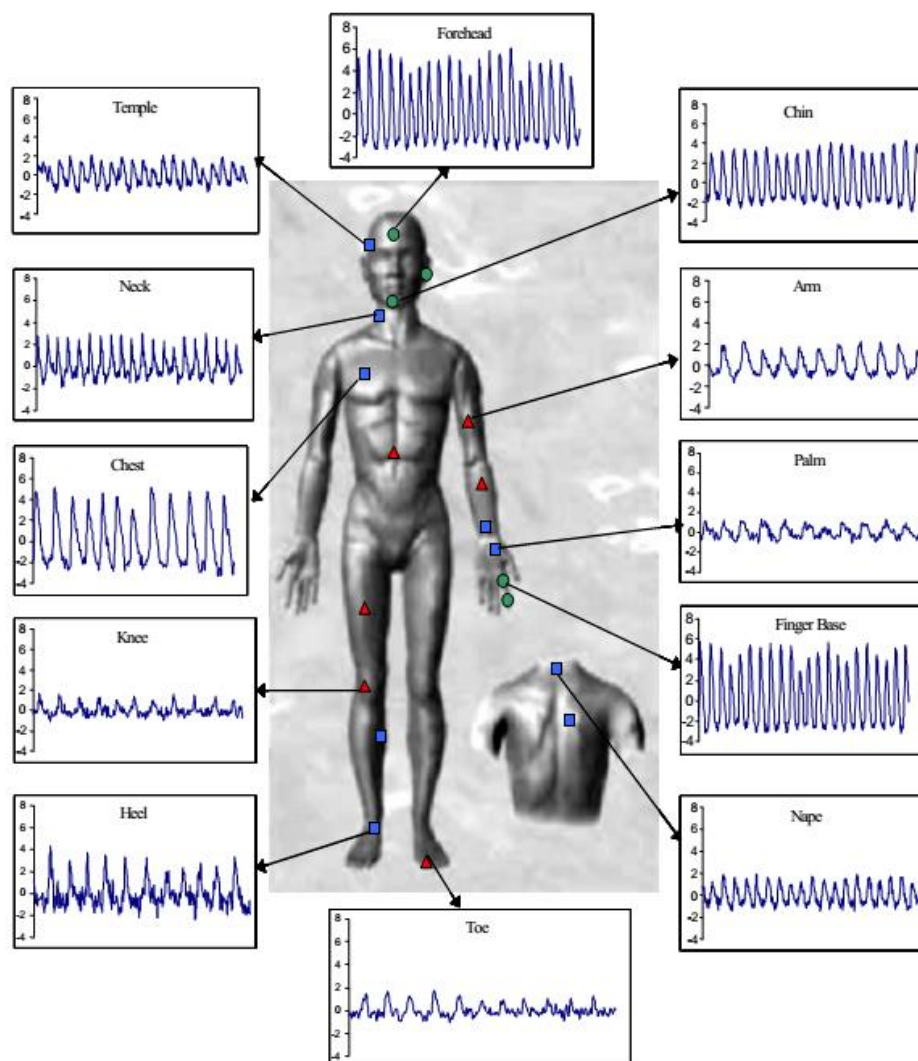
Perėjimo matavimai atliekami šaltinį ir jutiklį išdėliojant vienas priešais kitą, skirtingose audinių pusėse (matavimas ant piršto: jutiklis ir šaltinis išdėliojamas priešingose piršto pusėse). Šviesos jutikliu aptinkama ir surenkama per audinius perėjusi šviesa. Pagal tai, kiek jos sumažėjo/padaugėjo galima spręsti apie audiniuose esančią medžiagą ir jų kiekį. Išiskverbimo gylis priklauso nuo kelių veiksnių: bangos ilgio, sklaidos nuo audinių ploto, ir nuo šviesos lūžio tarpląstelinuose skysčiuose.

Jei matavimas atliekamas prie bandinio išorinio paviršiaus t.y. odos, ir gaunamas atspindys tik nuo viršutinio epidermio sluoksnio, kuris neturi tarpląstelinų skysčių, apie gliukozės koncentraciją kraujyje spręsti beveik neįmanoma.

Jei parinktume tinkamą bangos ilgį ir atstumą vienoje pusėje tarp šaltinio ir jutiklio, gautume pereinantįjį atspindį (pav. 1.7, c). Šviesos spindulys patenka į gilesnius audinių sluoksnius ir atsispindi nuo juose esančių tarpląstelinų skysčių sudėtinių molekulių tokių kaip – gliukozė.

1.3.3 Galimos matavimų vietos

Atliekant matavimus pasitelkiant šviesos šaltinius, labai svarbus tinkamai parinkti matavimo vietą. Kad matuojamoje vietoje būtų pakankamai audinių, kad jie būtų užpildyti krauju ar tarpląstelinu skysčiu. Kad patekimui iki minkštųjų audinių netrukdytų kaulinis audinys ir pan.



1.8 pav. Optiniu būdu tiriamų audinių signalai [V. Marozas]

1.8 paveikslėlyje pateikiama, kokį tam tikrose vietose galime išmatuoti foto–pletizmografijos signalą. Mūsų pasirinktas metodas paremtas šviesos sklidimu per audinius, todėl mes galime remtis foto–pletizmografijos signalų amplitudėmis pagal vietą. Matome, jog didžiausia signalo amplitudė gaunama matuojant ant piršto ir ant kaktos. Taip yra dėl to, kad žmogaus galūnė – pirštas yra visuomet gausiai aprūpinami krauju ir dėl to signalas ten gaunamas didžiausios amplitudės. Matuojant ant kaktos spindulis patenka pereina per plona audinį ir atsispindi nuo kaulinio audinio – kaukolės. Kadangi spinduliai nepatenka į gilesnius audinių sluoksnius patiriami mažesni nuostoliai ir dėl to amplitudė gaunama didelė. Be to, ir kaktos audiniai gausiai aprūpinami krauju. Yra dar daug kitų kūno vietų, kuriose gali išmatuoti foto–pletizmografinį signalą, tačiau atsiranda prietaiso pritvirtinimo nepatogumų bei trikdžių žmonės: judėjimo suvaržymas, nepatogumas (kaklas, smakras). Taip pat yra kitų kūno vietų, kuriose yra daug minkštųjų audinių ir jos gausiai aprūpinamos krauju, tačiau fiksuojant vienokius ar kitokius signalus

galima kitų signalų įtaka. Pvz., matuojant signalą ties raumeniniai audiniai, galimi stiprūs raumenų judėjimo artefaktai.



1.9 pav. Fotopletizmografijos jutiklių tvirtinimo vietos naujagimiams [17]

Analizuojant literatūros šaltinius [17], buvo teigiama, jog naujagimiams tinkamiausios tyrimo vietos galėtų būti pėdos. Todėl 1.9 paveikslėlyje pateikiami keli jutiklių tvirtinimo pavyzdžiai tinkantys naujagimių stebėsenai. Manome, kad projektuojant neinvazinį prietaisą skirtą naujagimių gliukozės kiekiui kraujyje nustatyti būtų galima taikyti būtent šiuos jutiklių uždėjimo variantus.



1.10 pav. Optoelektroninių daviklių tvirtinimo pavyzdžiai [17]

1.10 paveikslėlyje pateikiami keli suaugusiems pritaikytų neinvazinių fotopletizmografinių jutiklių pavyzdžiai. Praktiškai visi šie jutikliai tvirtinami tose kūno vietose, iš kurių išgaunamas didžiausios

amplitudės signalas. Norint užtikrinti signalo kokybę, svarbu tinkamai parinkti kūno vietą, siekiant išvengti išorinių ir vidinių trikdžių bei nesukelti tiriamajam diskomforto.

1.4 Metodo pasirinkimas

Išanalizavus įvairius literatūros šaltinius buvo išsirinktas NIR absorbcijos metodas. Šaltiniuose [2] buvo teigiama, kad tinkami konkretūs gliukozės absorbcijai bangos ilgiai galėtų būti 714nm, 880nm, 939nm, 1126nm, 1408nm, 1536nm, 1688nm, 2261nm, 2326nm. Šio darbo tikslas pasirinkus du bandos ilgius išanalizuoti gliukozės kiekį kraujyje. Kadangi žinoma, jog mažesnio bangos ilgio šviesa patenka į gilesnius audinius, buvo atitinkamai pasirinkta bangos ilgiai iš trumpųjų bangų diapazono (700nm - 1176nm arba 14285–8500 cm⁻¹). Pagrindinis gliukozės pikai šiose ribos yra ties 880nm ir 939nm bangos ilgiu. Šio bangos ilgio diodai yra lengvai prieinami rinkoje.

Išanalizavus matavimų konfigūracijas pasirinktas perėjimo metodas (pav. 1.6 a.). Kaip bandymų objektas pasirinktas pirštas. Nes žinome, jog ant piršto išmatavus optinį signalą gaunama didžiausia signalo amplitudė. Gliukozės kiekį kraujyje reikia matuoti miego, sporto, aktyvios gyvensenos metu. Patogu matuoti būtų ir ant ausies spenelio, tačiau fiziologiškai, aktyvumo metu, ausis – pirmas organas, kuris iš esmės nebemaitinamas krauju. Galima teigti, kad aktyvumo metu gliukozės kiekį kraujyje ant ausies spenelio matuoti būtų beprasmiška. Matuoti ant kaktos gal ir būtų tikslinga, tačiau visų pirma tai neatitinka mūsų išsirinkto matavimo metodo (perėjimo), o visų antra šis jutiklio uždėjimas būtų nepatogus naudojant jį kasdien. Matuoti ant nosies taip pat nepatogu. Kojos pirštas, padas yra jutiklių uždėjimo vietos, kurios skirtos matuoti signalus iš vaikų kūno vietų. Kadangi didžioji daugumė sergančiųjų yra suaugusieji, mes orientuoti į didžiąją daugumą.

1.5 Sugerties teorija

Sugerties teorija teigia, kad šviesos sugertis priklauso nuo pradinio šviesos intensyvo ir nuo apšviečiamos medžiagos savybių. Išanalizavus praėjusios šviesos intensyvumą galima spręsti apie apšviestos medžiagos savybes ir jos kiekį. Sugerties teorija apibūdinama šiais pagrindiniais skaičiavimais, kurie gaunami atleikant bandymus su šviesos spektru. Norint išsiaiškinti tiriamos medžiagos savybes tyrimo metu naudojama kiuvetė su tirpalu (gliukozės), apšviečiama I_0 intensyvumo monochromatine šviesa. Intensyvumas (I) praėjusios pro tirpalą šviesos bus mažesnis tuo atveju, jei tirpalas šviesą sugeria. Tirpalo pralaidumas (T) yra lygus krentančios ir praėjusios šviesos santykiui:

$$T = I / I_0 \quad (1)$$

Tirpalo sugerčiai apibūdinti galima naudoti ir kitą parametą, – sugerties koeficientą A . I_s – bandinio sugertos šviesos intensyvumas.

$$A = 1 - T = (I_0 - I) / I_0 = I_s / I_0 \quad (2)$$

Svarbiausia paminėti, kad pagrindinis gliukozės absorbciją silpnai sugeriančiuose pigmentuotuose tirpaluose atvaizduojantis dėsnis yra Bugerio ir Bero (Beer) dėsnis dar vadinamas Bugerio-Lamberto-Bero dėsniu.

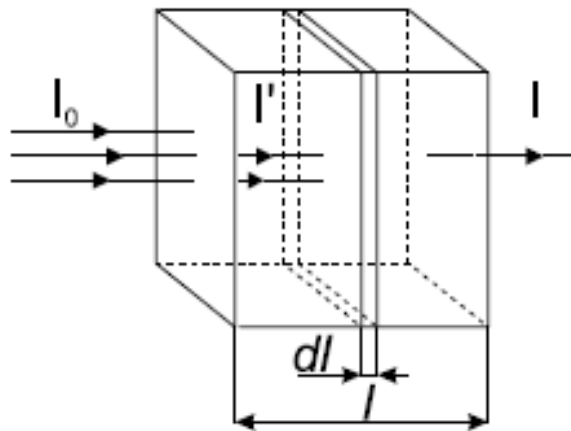
$$I = I_0 \cdot e^{-\sigma \cdot n \cdot l} \quad (3)$$

Skaičiavimams patogiau naudoti dešimtainį logaritmą. Tada dėsnis atrodo šitaip:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l} \quad (4)$$

Šioje formulėje ε vadinamas ekstinkcijos koeficientu arba tiesiog ekstinkcija. Medžiagos tirpalo koncentracija c išreiškiama $[\text{mol/l}] = [M]$, optinio kelio ilgis l – $[\text{cm}]$, todėl ekstinkcijos koeficiento dimensija yra $[M^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}]$. Išlogaritnavus formulę:

$$\lg(I_0 / I) = \varepsilon \cdot c \cdot l \quad (5)$$

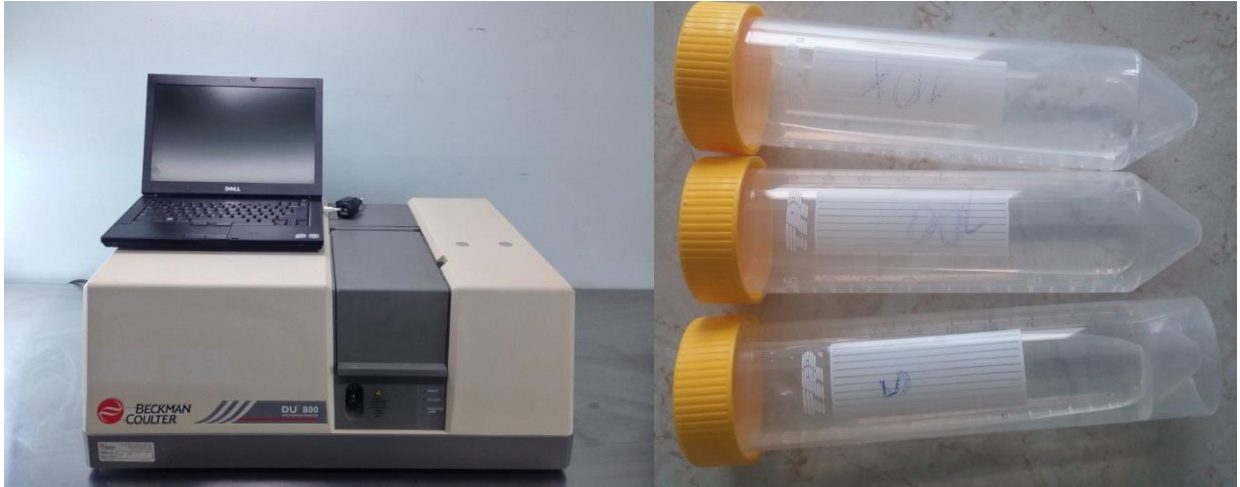


1.9 pav. Schema Bugerio-Lamberto-Bero dėsnio išvedimui [10]

Išsianalizavus sugerties teoriją nusprendėme, jog galime išskirti tris gliukozės nustatymo parametrus: pirmas paminėtinas parametras yra atstumas, nes kintant jam, kinta ir gliukozės apskaičiavimo tikslumas. Taip pat svarbu paminėti, kad labai svarbu žinoti krintančios ir praėjusios šviesos intensyvumą, tik žinodami šiuos parametrus galėsime apskaičiuoti sugerties koeficientą.

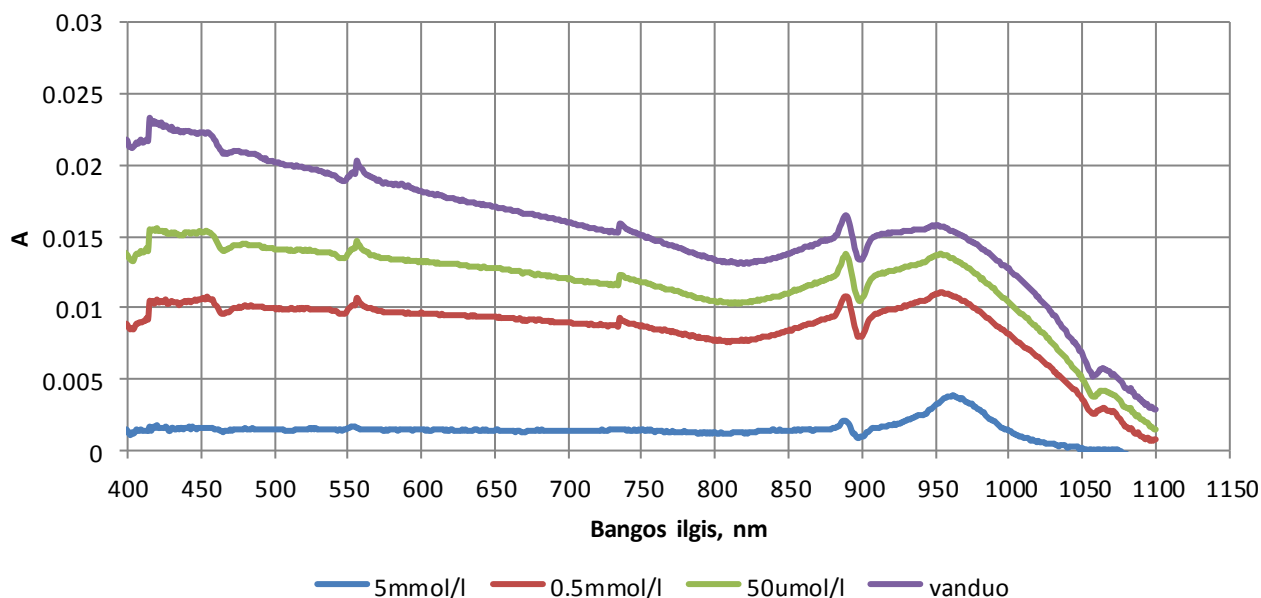
2 ATLIKTI BANDYMAI IR GAUTI REZULTATAI

Siekiant įsitikinti ar pamatysime literatūroje nurodytus gliukozės pikus ties tam tikrais bangos ilgiais buvo atlikti tyrimai ir eksperimentai pasinaudojant spektrometru.



2.1 pav. Gliukozės spektro nustatymui naudotos priemonės: spektrometras (beckman coulter DU800) (kairėje) ir reikiamų koncentracijų tirpalai (dešinėje)

Kad pamatytumėm visą mums reikalingą gliukozės spektrą, spektrometras (beckman coulter DU800) buvo pasirinktas toks, kuris apima regioną nuo UV iki NIR. Bandymams buvo sumaišyti 3 mėginiai, atitinkamai su žmogaus organizme esančios gliukozės koncentracija (5mmol/l), tuomet 10 kartų mažesnė koncentracija (0.5mmol/l) ir 100 kartų mažesnė (50 μ mol/l).



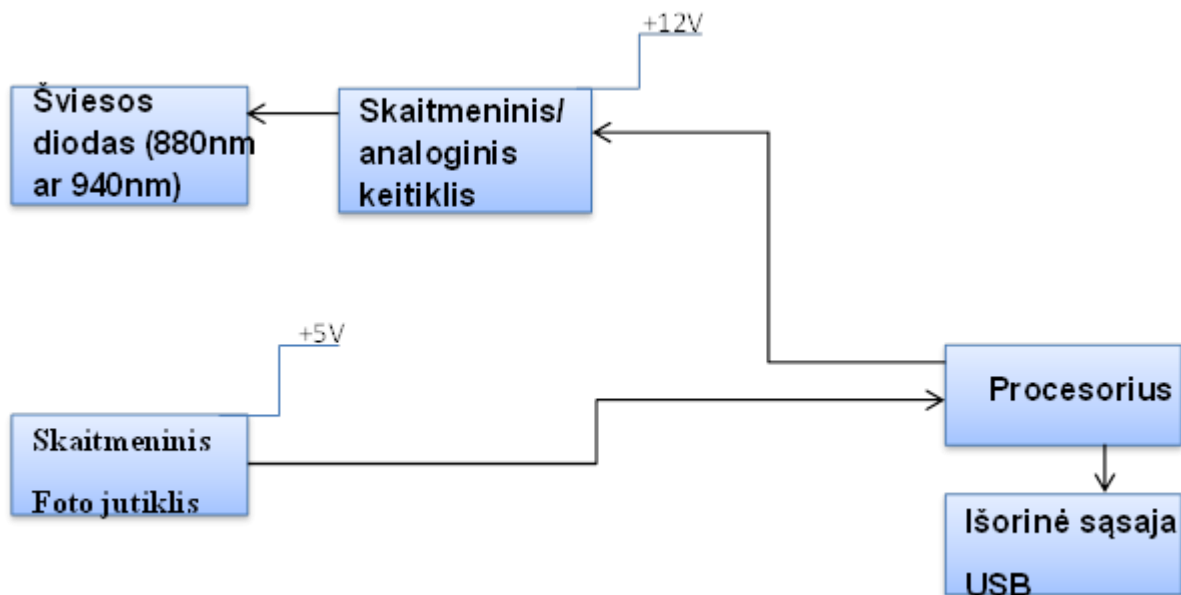
2.2 pav. Gliukozės absorbcija prie skirtingų koncentracijų

Tyrimo metu atstojamoji reikšmė buvo pasirinkta nuskanavus distiliuotą vandenį. Y ašyje atvaizduotas absorbcijos koeficientas A buvo automatiškai išskaičiuotas programos, papildomai pateikiamo prie spektrometro.

Paveikslėlyje 2.2 matyti, kad esant 5mmol/l tirpalui ryškiausiai išsiskiria du pikai esantys ties 880nm ir 960nm bangos ilgiu. Literatūros šaltiniuose rasta informacija apie gliukozės absorbcijos pikus pasitvirtino. Y ašyje atvaizduota gliukozės absorbcija pateikiama pagal formulę, kuri gaunama bendrai apjungus 2 ir 4 formules išanalizuotas prieš tai sugerties teorijos dalyje:

$$A = 1 - T = (I_0 - I) / I_0 = I_s / I_0 = 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l} \quad (6)$$

Vėliau buvo atliekami bandymai pasinaudojant darbo vadovo Lino Svilainio projektuotu prietaisu, kuris veikia pagal 2.3 paveikslėlyje pateikiamą blokinę schemą.



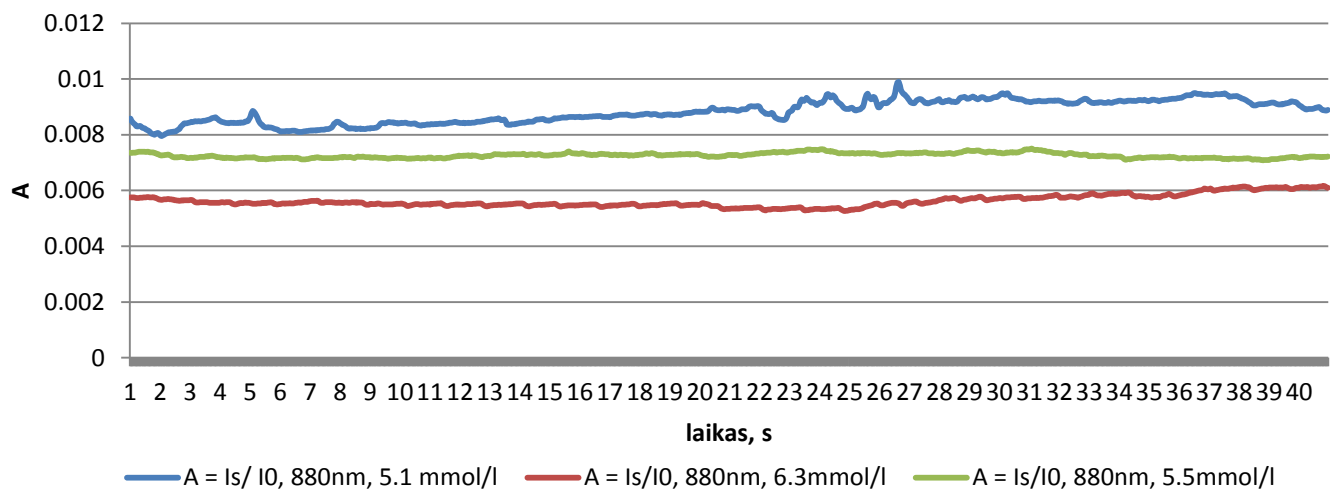
2.3 pav. Gliukozės kiekio kraujyje nustatymui naudoto prietaiso blokinė schema

Prietaisas buvo kuriamas siekiant išanalizuoti šviesos diodais apšviesto objekto pralaidumą. Prietaisas buvo kuriamas taip, kad būtų galima naudoti bet kokio bangos ilgio ir maitinimo šviesos diodą. Prietaise sumontuotas skaitmeninis plačiajuostis fotodiodas skirtas fiksuoti praėjusio ar atsispindėjusio intensyvumo šviesą. Prietaise sumontuotas CY7C68013-56PVC mikrovaldiklis. Iš skaitmeninio daviklio gaunami signalai buvo perleidžiami per skaitmeninis/analoginis signalas keitiklį (AD420AR). Tolesniam signalo apdorojimui panaudota programuojama logika (M4A3_64/3210VC). Signalas skirtas LED pašvietimui prieš tai apdorojamas 12 bitų skaitmeniniu/analoginiu keitikliu. Šio bandymo metu buvo naudoti du išvadiniai 940 ir 880 nm šviesos diodai. Ir skaitmeninis (TSL2550D) foto–diodas.

Pirmiausiai bandymui buvo naudota 880nm bangos ilgio diodas ir plačiajuostis foto–diodas. Matuojama buvo tris kartus: kai tiriamasis buvo nieko nevalgęs, suvartojo gliukozės tirpalo (100 % gryna gliukozė skiesta su vandeniu santykiu 30 su 70) skirto gliukozės tolerancijos testams ir praėjus valandai po suvartoto tirpalo.

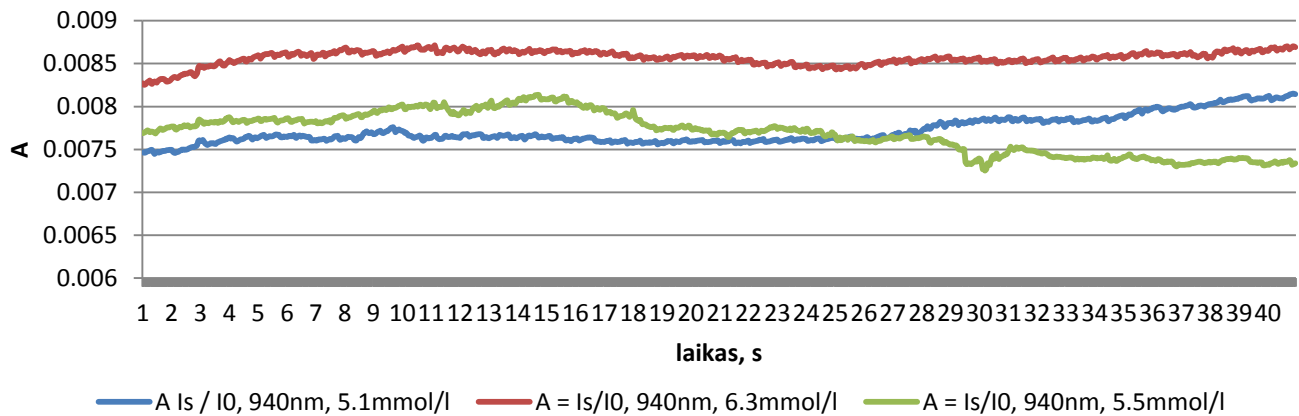
Šviesos diodui buvo paleista 20mA srovė ir fiksuojamas šviesos intensyvumo kitimas. Taip pat šalia neinvazinio bandymo buvo atliekamas invazinis tyrimas. Buvo matuota tris kartus ir nustatomas tikslus gliukozės kiekis kraujyje. Rezultatai gauti neinvaziniu būdu lyginami su invazinio tyrimo rezultatais.

Tyrimo principas paremtas sugerties teorija, kuri teigia, jog medžiagos kiekį tirpale (mūsų atveju kraujyje) nusako absorbcijos koeficientas. Mes spinduliuojame I_0 intensyvumo šviesą, kuri patenka į audinį, ten dėl jame esančių gliukozės molekulių nusilpsta, foto–diodas užfiksuoja pakitusį šviesos intensyvumą. Žinant šiuos du dydžius (pradinį šviesos intensyvumą I_0 ir praėjusios šviesos intensyvumą I_s) galime pasiskaičiuoti absorbcijos koeficientą. Atlikę šiuos tyrimus ir išanalizavę rezultatus (žiūrėti pav. 2.4 ir 2.5) nusprendėme, kad panaudojus atitinkamų bangos ilgių šviesos diodus, galime užfiksuoti gliukozės kiekio kraujyje kitimą.



2.4 pav. Gliukozės kiekio kraujyje kitimas matuojant su 880nm bangos ilgio diodu

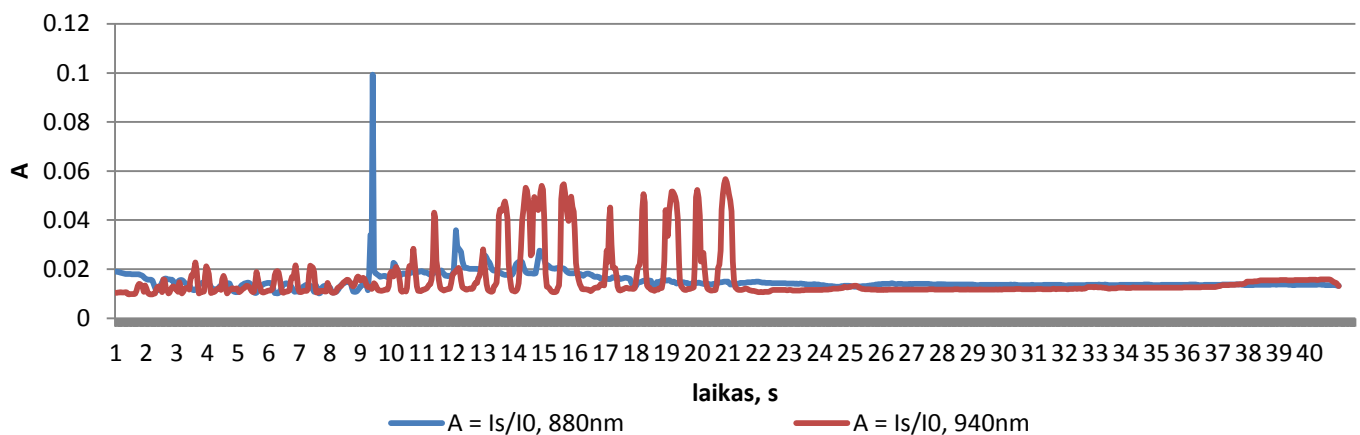
Išanalizavus duomenis matome, jog didėjant gliukozės kiekiui kraujyje atitinkamai mažėja ir absorbcijos koeficientas. Tai reiškia, kad mūsų pasirinkto bangos ilgio šviesos diodo spinduliuojama šviesa yra išsklaidoma gliukozės molekulių. Kuo daugiau gliukozės molekulių žmogaus organizme tuo gaunamas didesnis intensyvumas praėjusios šviesos.



2.5 pav. Gliukozės kiekio kraujyje kitimas matuojant su 940nm bangos ilgio diodu

Antras tyrimas buvo atliekamas su 940 nm bangos ilgio šviesos diodu. Atlikus šių duomenų analizę pastebėtas absorbcijos reiškinys. Skaiciuojant matome, kad mažėjant praėjusios šviesos intensyvumui, didėja absorbcijos koeficientas. Tai reiškia, kad didėjant gliukozės molekulių skaičiui, šviesa sugerama ir jo mažiau praeina pro tiriamąjį audinį.

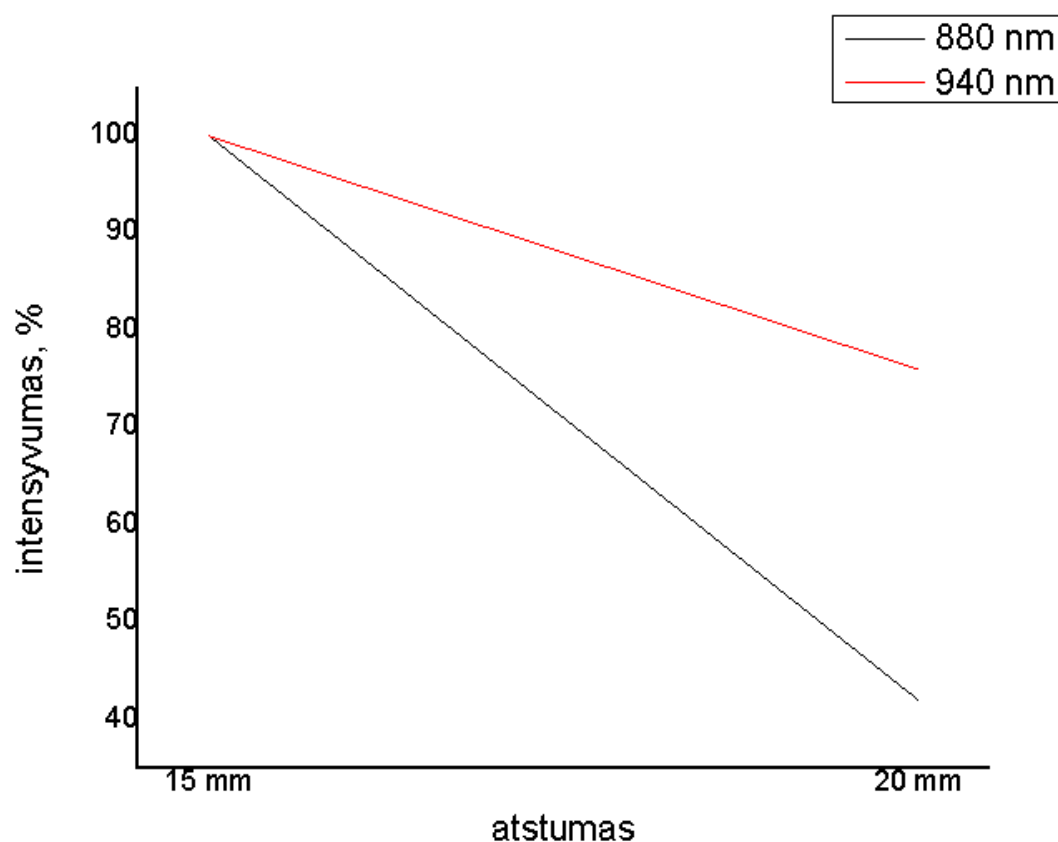
Atlikus bandymus ir nubraižius grafikus buvo pastebėta tam tikri svyravimai. Paveikslėlyje 2.4 bazinėje linijoje, kai tiriamasis nieko nevalgęs, matomas amplitudės kitimas. buvo konstatuoti keli veiksniai, dėl kurių galimi amplitudės staigūs kitimai. Pirmasis iš jų, kad matavimas paveiktas judesio artefakto. Tiriamasis judino ranką ir pan. Dar viena iš trikdžių galėjo būti išorinės šviesos įtaka matavimui. Norint įsitikinti ar judesiai turi įtakos analizuojant gliukozės kiekį kraujyje buvo atliktas bandymas vizualizuoti judesį. Tiriamasis tyrimo metu pusė laiko judino pirštą, likusią dalį, buvo ramybės būsenoje. Tyrimo rezultatai matomi 2.6 paveikslėlyje.



2.6 pav. Šviesos absorbcijos koeficiento kitimas esant judesio artefaktui

Analizuodami gautus rezultatus supratome, kad esant judesio artefaktui išskaičiuoti gliukozės kitimo, galima sakyti, neįmanoma. Matome, kad absorbcijos koeficientas kinta nuo 0,001 iki 0,01. Teoriškai, atliekant duomenų vidurkinimą turėtumėme išskaičiuoti gliukozės kiekį kraujyje net ir esant judesio artefaktui, tačiau manome, kad būtų gaunamos labai didelės paklaidos.

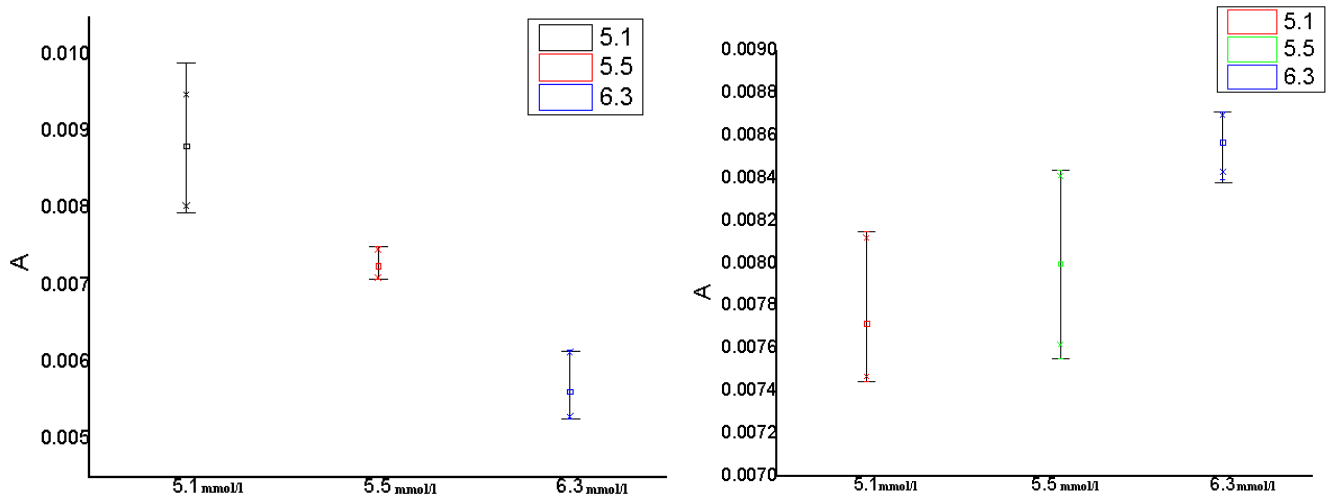
Žinome, kad matavimui didelę įtaką turi kintantis atstumas. Buvo atliktas bandymas, siekiant tuo įsitikinti. Šviesos diodų pradinis intensyvumas visuomet buvo toks pat, tik buvo keičiamas atstumas iki foto-jutiklio. Pradinis atstumas buvo pasirinktas 15mm, tai atitinka maždaug standartinį suaugusios moters piršto diametrą. Kaip galinis atstumas, buvo pasirinkta 20 mm.



2.7 pav. Šviesos intensyvumas procentais, kintant bangos ilgiui ir atstumui iki fotojutiklio

Iš diagramos matome, jog atstumas turi labai didelę įtaką fiksuojamam šviesos intensyvumui. Dvi kreivės pateikia skirtingų bangos ilgių šviesos diodų nuslopimą. Juodoji kreivė atitinka 880nm bangos ilgio šviesos diodo priklausomybę, raudonoji 940nm. Iš kreivių matome, kad 880nm bangos ilgio šviesos diodas sumažėjo net 58 procentais, o 940nm šviesos diodo – 24 %. Galime prieiti prie išvados, kad naudojant 940 nm bangos ilgio šviesos diodą, turėsime mažesnę šviesos intensyvumo nuslopimą, nei kadd naudodami 880nm.

Siekiant įvertinti apibendrintą gliukozės priklausomybę nuo bangos ilgio, kai tiriamojo invaziniu būdu gliukozės kiekis kraujyje yra 5.1 mmol/l, 5.5 mmol/l ir 6.3mmol/l.



2.8 pav. Gliukozės absorbcijos koeficiento kitimas, panaudojus atitinkamo bangos ilgio (880 nm – kairėje ir 940 – dešinėje) šviesos diodą, pagal invaziniu būdu ištirtą realų gliukozės kiekį kraujyje.

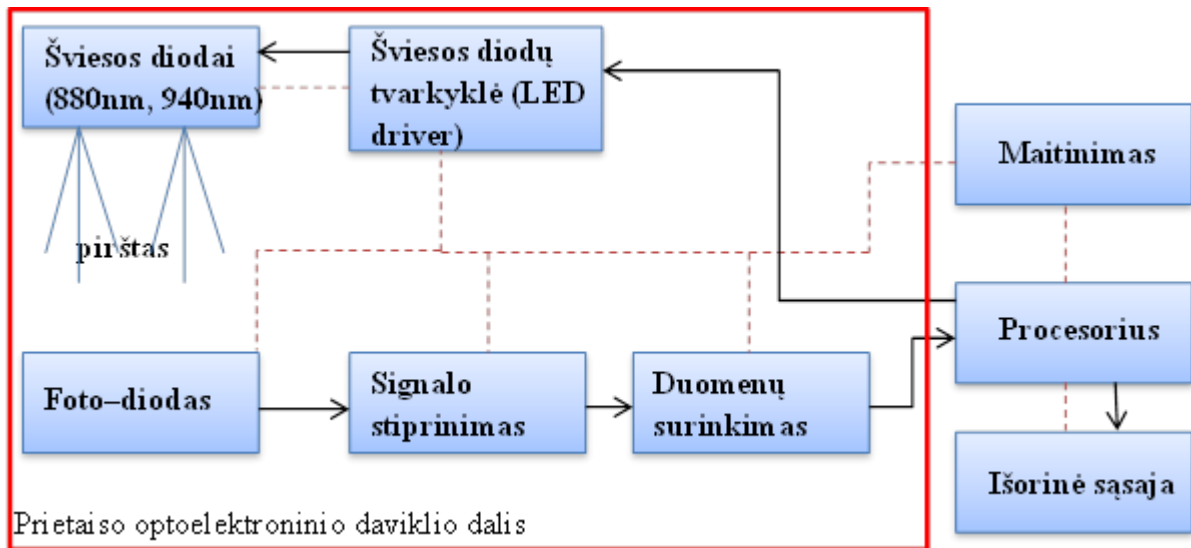
Išanalizavus gautus grafikus matome, kad 880nm ir 940nm bangos ilgio šviesos diodai turi atvirkštinę priklausomybę. Naudojant 880nm bangos ilgio šviesos diodą (žiūrėti 2.8 pav. kairėje) matome, jog didėjant gliukozės kiekiui kraujyje mažėja absorbcijos koeficientas. Tai reiškia, kad didėja praėjusios šviesos intensyvumas. Tai reiškia, kad gliukozės molekulės 880 nm bangos ilgio šviesos diodo šviesą sklaido. Reikšmės gaunamo geresniu tikslumu, nei 940 nm šviesos diodu. Grafike atidėtos reikšmės atsižvelgiant į išmatuotą intensyvumo minimumą, maksimumą ir visų reikšmių vidurkį. Tiksliausias matavimas buvo atliktas, kai matavome gliukozės kiekiui kraujyje esant prie 5.5 mmol/l reikšmės.

Analizuodami grafiką (žiūrėti pav. 2.8 dešinėje), kurio reikšmės gautos naudojant 940 nm šviesos diodą, pastebėjome, kad didėjant gliukozės kiekiui kraujyje didėja ir absorbcijos koeficientas. Kadangi pradinis šviesos intensyvumas nekinta, galime teigti, kad mažėja praėjusios šviesos intensyvumas – gliukozė šviesą absorbuoja. Tik šiame grafike reikšmių išsibarstymas matomas jau kur kas didesnis. Minimumo ir maksimumo reikšmės nuo vidutinės reikšmės (standartinis kvadratinis nuokrypis) nutolusios – $\sigma = 3,53$.

Matuojant su 940nm bangos ilgio diodu gauname tiesioginę priklausomybę nuo gliukozės molekulių žmogaus organizme, tačiau su didesnėmis paklaidomis nei matuojant su 880nm bangos ilgio šviesos diodu, kuri fiksuoja gliukozės molekulių sklaidą.

3 PROJEKTINĖ DALIS

Norint suprojektuoti optoelektroninį daviklį pirmiausia nubraižoma struktūrinė prietaiso schema. Pagal kurią toliau bus parenkamos to prietaiso funkcinės dalys. Prietaiso pagrindinė sudedamoji dalis yra optoelektronika. Tai du skirtingų bangos ilgių 940 ir 880nm šviesos diodai ir foto–diodas skirtas praėjusios pro tiriamą objektą šviesos surinkimui. Tam, kad šviesos diodai tinkamai šviestų reikalinga šviesos diodų tvarkyklė (LED driver). Diodai valdomi iš procesoriaus. Signalas iš foto–diodo pirmiausiai turi būti sustiprinamas. Toliau duomenys surenkami ir pasiunčiami į procesorių apdorojimui. Iš procesoriaus duomenys pateikiami į LCD ekraną, išsiunčiami į išorinį prietaisą per USB, saugomi SD kortelėje, panaudojus ryšio elektroniką bevieliu ryšiu išsiunčiami į kitą prietaisą. Žinoma, svarbu paminėti, kad prietaisui reikalingas maitinimo šaltinis.



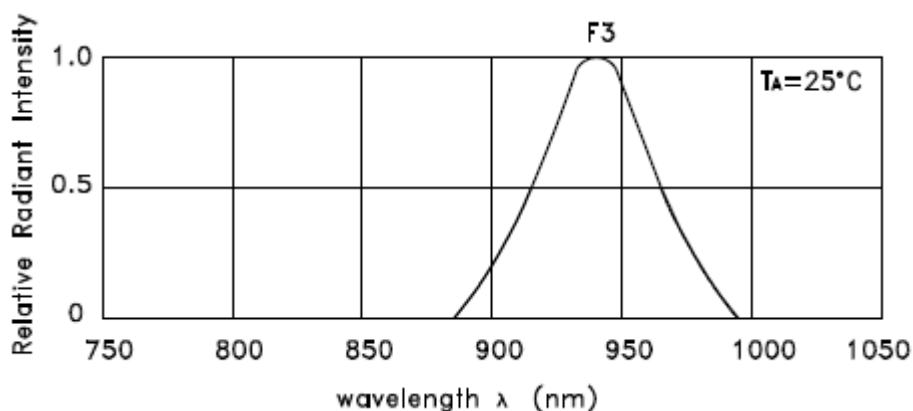
3.1 pav. Neinvazinio gliukometro struktūrinė schema

Pradedant projektuoti išsikėlėme svarbiausią uždavinį, prietaisas turi būti kuo mažesnių matmenų, išnaudota kuo mažiau elementų, prietaisas technologiškai turi būti inovatyvus. Teoriškai visas mūsų prietaiso veikimas pagrįstas pulsoksimetro, naudojančio šviesos diodus, veikimu.

3.1 Komponentų parinkimas

Šviesos diodai

Prietaiso projektavimas buvo pradėtas nuo esminės optoelektroninės dalies – teisingai parinktų šviesos diodų. Iš literatūros ir atlikus bandymus buvo nustatyta, kad šviesos diodai turi būti 960nm ir 880nm, tačiau ruošiantis prietaiso projektavimui susidūrėme su šviesos diodų pasiūlos problema. 960nm bangos ilgio šviesos diodais neprekiuojama. Bandydami surasti technologinį sprendimą išsirinkome rinkoje prieinamą 940nm bangos ilgio šviesos diodą su platesniu bangos ilgių diapazonu.

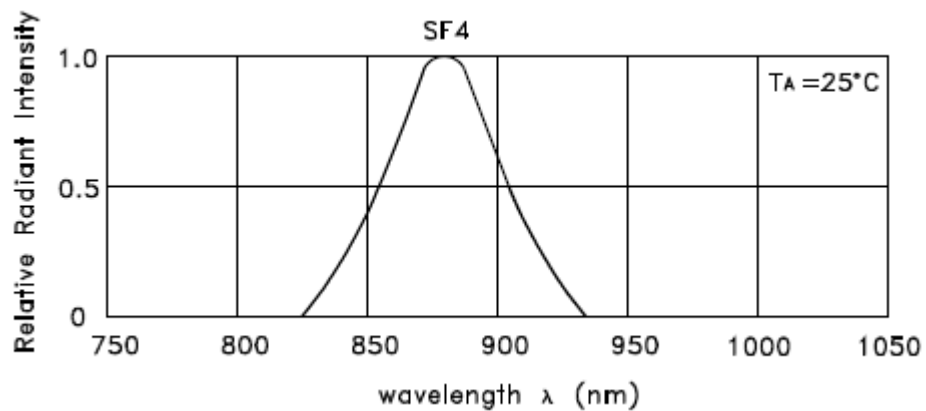


3.2 pav. 880nm bangos ilgio šviesos diodo charakteristika

Išsirinkto bangos ilgio diodas aprėpia mums reikiamą tyrimams atlikti bangos ilgių diapazoną. Svarbu paminėti ir kitus jo parametrus:

- Paviršinio montažo, labai mažas ir plonas šviesos diodas 2.0 mm x 1.25 mm x 1.1 mm
- Intensyvumas 3mW/sr
- Švietimo kampas 120^0
- Pašvietimo srovė 20mA
- Pikinis bangos ilgis 940nm
- Bangos ilgių juosta 50nm

Lyginant su šiuo, buvo pasirinktas ir kitas panašių parametru atraminis 880nm diodas. Šio diodo charakteristika turi būti labai panaši kaip 940 nm bangos ilgio diodo. Žemiau pateikta jo intensyvumo pagal bangos ilgį diagrama.



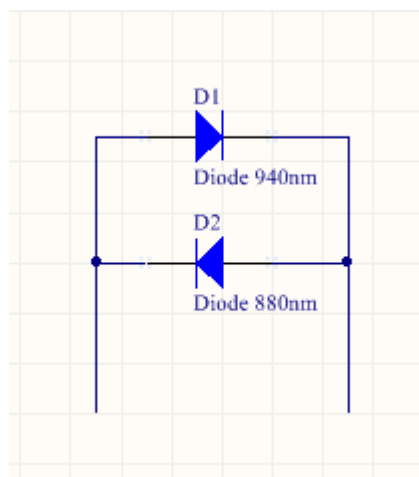
3.3 pav. 880nm bangos ilgio šviesos diodo charakteristika

Iš šios diagramos matyti, kuri nurodo šviesos intensyvumo priklausomybę nuo bangos ilgio, matome, kad šio pasirinkto šviesos diodo pikinis bangos ilgis yra ties 880nm, tai toks bangos ilgis, kuris tiksliai apibūdina gliukozės piką, mūsų prieš tai atliktuose bandymuose su spektrometru.

Taip pat, reikėtų paminėti ir kitus svarbius jo parametrus:

- Paviršinio montažo, labai mažas ir plonas šviesos diodas 2.0 mm x 1.25 mm x 1.1 mm
- Intensyvumas 1.5 mW/sr
- Švietimo kampas 120°
- Pašvietimo srovė 20 mA
- Pikinis bangos ilgis 880 nm
- Bangos ilgių juosta 50nm

Mūsų prietaise vienu metu bus naudojami du šviesos diodai. Atsižvelgiant į teorines ir praktines žinias, ir žinant, kad diodas srovę praleidžia tik į vieną pusę, buvo pasirinkta ši diodų sujungimo idėja:



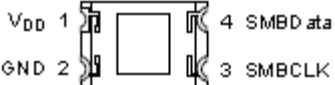
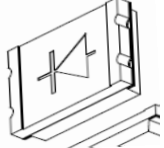
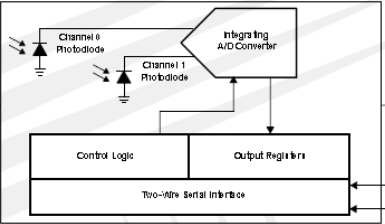
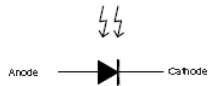
3.4 pav. Šviesos diodų jungimo būdas

Šio jungimo veikimas paremtas tuo, kad iš procesoriaus, kiekvieną laiko intervalą bus siunčiamas skirtingo poliarumo srovė. Vieną kart užmaitindama dvidešimčia mA 940nm šviesos diodą, kitą kart 880nm šviesos diodą. Taip sistemoje veiks abu šviesos diodai, tiesiog skirtingais laiko momentais bus užmaitinami skirtingo poliarumo srove. Taip į foto–diodą bus gaunama skirtingų intensyvumų šviesa, skirtingais laiko momentais, taip bus signalus paprasčiau apdoroti ir išvesti.

Foto–diodo parinkimas

Renkantis foto–diodą, vienas ir pagrindinis aspektas, pagal kurį buvo pradėta jo ieškoti, tai atitinkamų bangos ilgių šviesos intensyvumo fiksavimas. Mūsų šviesos diodai veikdama pusės galios lygyje intensyvumą spinduliuoja nuo 850nm iki 960nm. Todėl renkantis foto–diodą buvo svarbu jį išsirinkti tokį, kuris fiksuotų kažkokių bangos ilgių diapazoną, į kurį įeina ir mūsų spinduliuojamasis (850-960nm).

Lentelė 3.1 Pasirinktų foto-diodų palyginimas pagal parametrus

Parametrai	 TSL2550	 TEMD5080X01	 VBPW34S
Maitinimas	6V	1.3V	1.3V
Bangos ilgių ruožas	400-1000nm	350-1100nm	430-1100nm
Apšvitai jautrus plotas	1.23x0.28mm	7.7mm ²	7.5mm ²
Pikinis bangos ilgis	Ch1-700nm ir ch2-900nm	950nm	940nm
išėjimas	Skaitmeninis	Analoginis	Analoginis
Blokinė diagrama			

Foto–diodus buvo galima išskirti į dvi grupes tai skaitmeninius ir analoginius. Išsirinkome tris galimus ir juos palyginome (žiūrėti lentelėje 3.1).

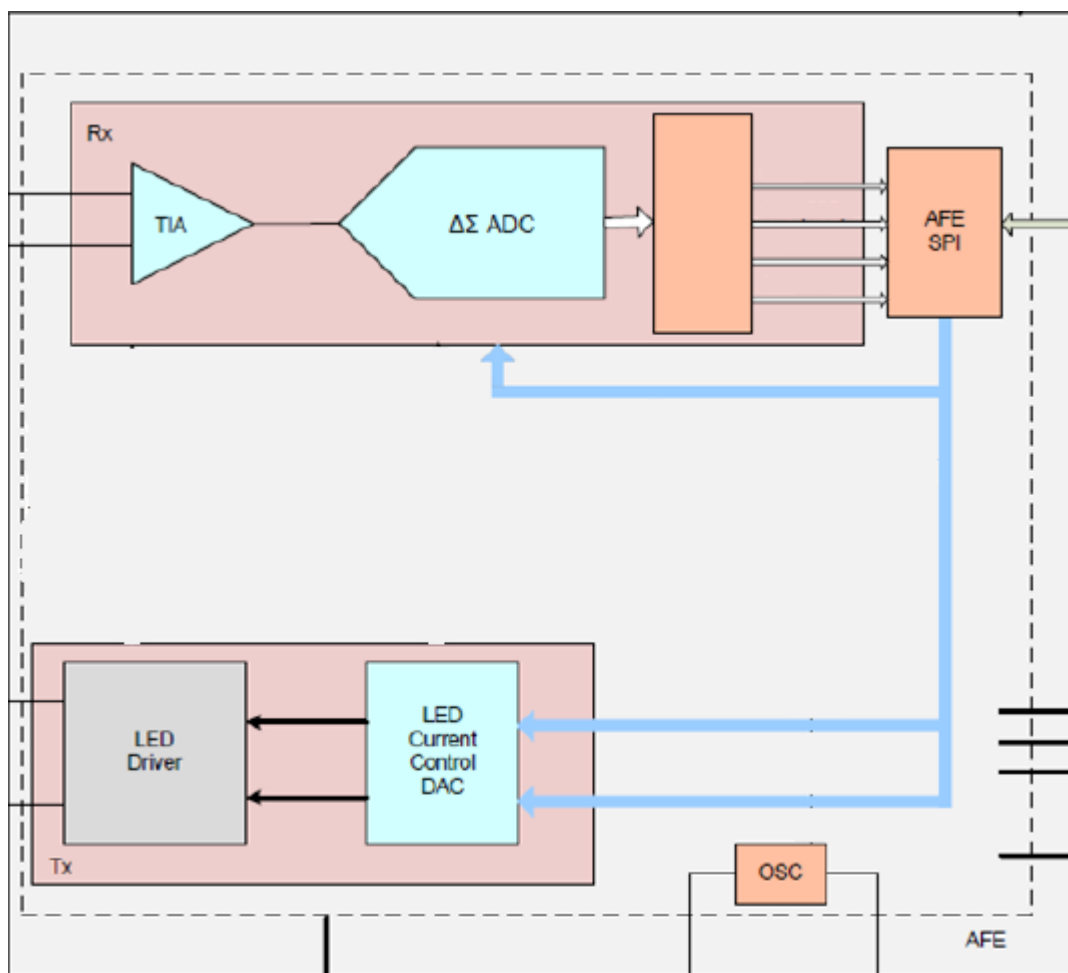
Iš pat pradžių renkantis foto–diodą patraukliausias pasirodė skaitmeninis (TSL2550). Iš jo blokinės diagramos (žiūrėti lentelėje 3.1) supratome, jog jame įmontuotas ASK, kontroliuojama logika, išėjimo registras ir tiesioginė sąsaja su procesoriumi. Tai reiškia, kad projektuojant išvengiama atskira stiprinimo ir duomenų surinkimo dalis. Elementų būtų kur kas mažiau, nes nenaudotumėme papildomų stiprinimo elementų, filtrų grandynų, papildomo ASK, skaitmeninių filtrų. Kadangi siekiama optimizuoti prietaiso dydį, išvengti papildomi elementai projektuojant suteikia technologinį pranašumą.

Lyginant analoginius foto–diodus šie du variantai per daug nesiskyrė, svarbiausia buvo atsižvelgti į apšvitai jautrų plotą bei priimamą pikinį bangos ilgį bei kampą. Atsižvelgdami į šiuos pagrindinius reikalavimus nusprendėme tarp galimų analoginių variantų pasirinkti TEMD5080X01. Šį sprendimą lėmė trys pagrindiniai parametrai, tai tinkamesnis pikinis bangos ilgis (950nm), didesnis apšvitai jautrus plotas (7.7mm^2) ir platesnis bangos ilgių diapazonas (350nm-1100nm).

Renkantis tarp analoginio ir skaitmeninio foto – diodų pirmasis pasirinkimo rodiklis buvo tas, kad šviesos diodai yra analoginiai tai renkantis analoginį fotodiodą valdymas turėtų būti gerokai paprastesnis. Taip pat, techniniame aprašyme pateiktų atsako į šviesą jautrumo diagramose matėme, jog skaitmeninio foto-diodo reikšmė ties pikiniu bangos ilgiu yra 0.4 mW/cm^2 , o analoginio 1 mW/cm^2 .

Optoelektroninio daviklio analoginių signalų apdorojimas

Norint, kad šviesos diodai būtų maitinami 20mA srove reikalinga šviesos diodų tvarkyklė (LED driver). Foto-diodo signalams apdoroti reikalingas stiprinimo elementas, ADC arba DAC konverteris, priklausomai nuo to foto-diodas skaitmeninis ar analoginis, bei filtrai. Pradėjus projektuoti, nusprendėme, kad alternatyva atskiriems analoginės dalies komponentams galėtų būti specializuotos paskirties mikroschema/grandynas (AFE – analog–front-end). Kadangi ši sistema yra skirta apdoroti analoginius signalus (3.5), tai palengvino foto-diodo pasirinkimą. Nusprendėme naudoti analoginį – TEMD5080X01.



3.5 pav. specializuotos paskirties mikroschema/grandynas [6]

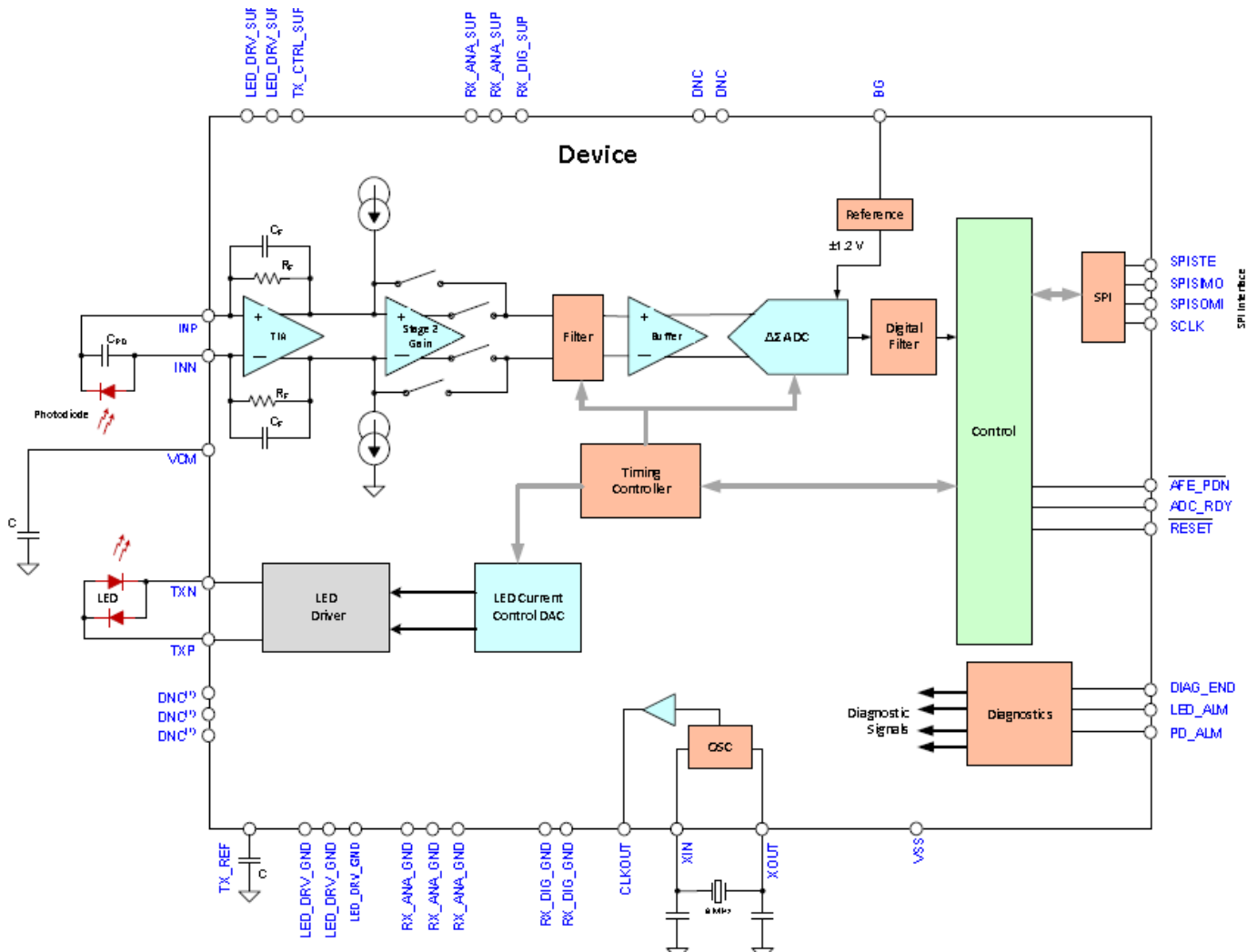
Renkantis specializuotos paskirties mikroschema/grandynas (AFE) buvo atsižvelgta į pulsoksimetrijoje naudojamus. Nes iš esmės mūsų projektuojamas prietaisas savo veikimu labai primena pulsoksimetrą, tačiau svarbu išskirti esminius skirtumus, tai kitų bangos ilgių šviesos diodus ir matematinius veiksmus pagal kuriuos bus paskaičiuojama gliukozės kiekis kraujyje.

Pradėjus paieškas pirmas ir galima sakyti vienintelis mums priimtinausias variantas buvo TEXAS INSTRUMENTS gaminy AFE4490. Jis skirtas kontroliuoti šviesos diodų veikimą bei apdoroja ir tiesiai į procesorių išsiunčia analoginio foto–diodo užfiksuotus signalus.

Svarbu išskirti pagrindinius AFE4490 panaudojimo :

- Mikroschema turi savyje integruotą visą reikalingą funkcionalumą.
- AFE4490 skiriamoji geba – 22 bitai,
- AFE4490 yra valdoma SPI sąsaja.
- Taip pat dėl 22 bitų skiriamosios gebos įėjimas ekranuojamas specialiu VCM signalu.

Funkcinè AFE 4490 schema



3.6 pav. Funkcinė schema su šviesos diodų ir fotodiodo pajungimu [6]

Projektuojant principinę schemą, remiamasi gamintojo techniniame aprašyme nurodyta pavyzdine jungimo schema [6]. Pagal gamintojo reikalavimus prie AFE4490 prijungiamas 8MHz kvarcinis osciliatorius. Maitinimas RX_ANA_SUP, TX_CTRL_SUP, LED_DRV_SUP papildomai nufiltruojami LC filtrais. Jei atsiranda trikdys ritėje krinta trikdžio įtampa, o kondensatorius šuntuoja įtampos šuolį. Papildomai apsaugoto mikroschemos įėjimą ir išėjimą naudojama diodų tilteliai (BAW99W).

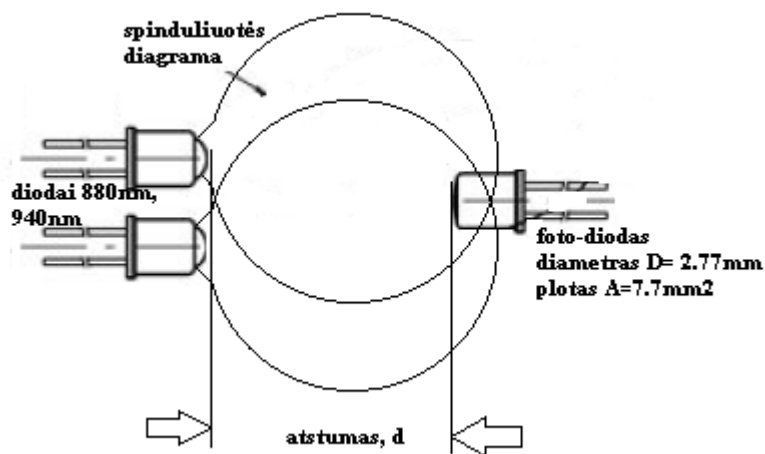
Optoelektroninio daviklio dali su procesoriumi jungiame laidais.

3.2 Optoelektroninio daviklio geometrija

Labai svarbu projektuojant optoelektroninį daviklį numatyti jo geometriją, nes pagal tai parenkami šviesos elementai pasižymintys specifiniais parametrais. Pirmiausiai turime numatyti atstumą nuo šviesos šaltinio iki šviesos detektoriaus. Kadangi tirsime prietaisą uždėję ant piršto, atstumas teoriškai priklauso nuo piršto storio. Pamatavus kelių kolegų piršto aukštį vidutiniškai vyravo 15 mm atstumas. Pagal tai ir buvo pradėta projektuoti optoelektroninės dalies geometrija. Teorijoje pateikiama šie svarbiausi parametrai žiūrėti:

- Diodo spinduliuotės intensyvumas
- Atstumas tarp šviesos šaltinio ir foto–diodo
- Foto-diodo šviesai jautrios dalies plotas ir ilgis (diametras)

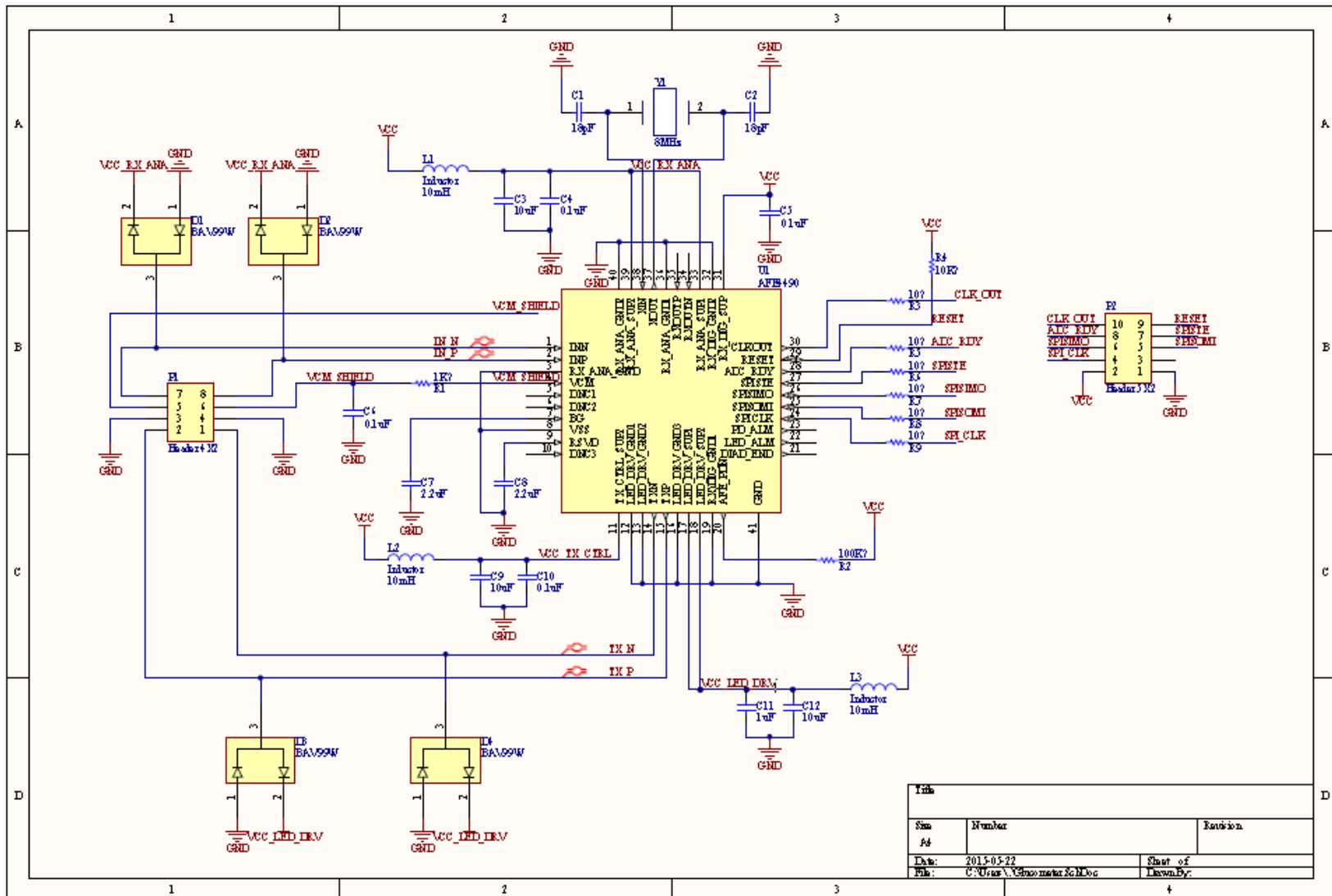
Pasitelkiant sugerties teoriją, galime išskaičiuoti gliukozės kiekį kraujyje. Mes žinome kokio intensyvumo (I_0) šviesa patenka į audinius (880nm – 1.5 mW/sr, 940nm – 3mW/sr), foto–diodas užfiksuoja praėjusios šviesos intensyvumą (I). Pasinaudodami 2 formule galime pasiskaičiuoti audinio pralaidumą, taip pat iš 5 formulės galime išsiskaičiuoti ir kraujyje esančios gliukozės koncentraciją.



3.7 pav. Optoelektroninės dalies geometrija

Iš atliktų bandymų pastebėjome kad labai svarbu, kad atstumas neslankiotų nei daugiau už 20mm nei mažiau negu 15 mm, todėl projektuojant prietaisą svarbu konstrukciją parinkti taip, kad ji būtų fiksuoto atstumo. Šviesos diodai turi būti išdėliojami pagal jų spinduliuotės diagramas taip, kad sudarytų bendrą persidengusį plotą, kuris sklįstų link foto-diodo.

3.3 Principinè schema



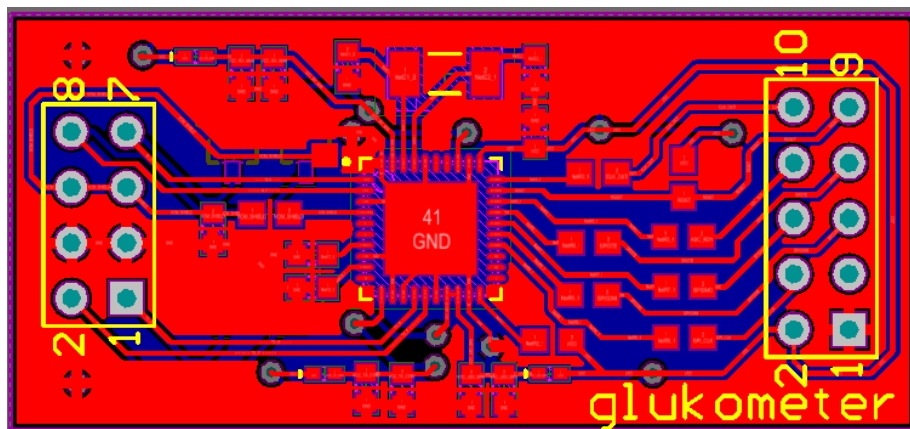
Energijos sąnaudos

Projektuojant prietaisą buvo svarbu numatyti energetines sąnaudas, kad būtų galima tiksliai numatyti jo maitinimą. Šviesos diodai maitinami 20mA srove, jie yra du, tačiau veikia tik po vieną, todėl galima teigti, kad pašvietimui naudojama 20mA srovė. AFE4490 naudojama srovė 100uA. Iš viso prietaisas maitinamas AFE4490 + diodų srovė tai apie 20,1mA srove. Perskaičiavus sunaudota galią gauname: $3.3V \cdot 20.1mA = 66.33 \text{ mW}$, nes prietaisas maitinamas 3.3 V įtampa. O perskaičiuojant į mWh turime nustatyti preliminarį prietaiso veikimo trukmę. Preliminariai prietaisas darbo režime turėtų veikti apie 30s, vadinasi apie 0.008h. Tai norint išsiaiškinti prietaiso veikimą mWh suvartojamą galią sudauginame su veikimo laiku – gauname 0.53064 mWh.

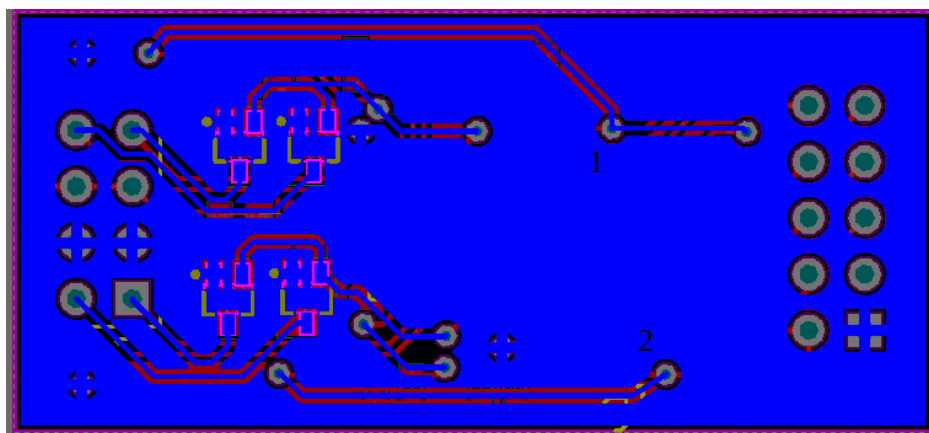
3.4 Montažinės plokštės projektavimas

Sudarius principinę schemą, buvo pradėtas montažinės plokštės projektavimas. Pirmiausia buvo nustatyti plokštės parametrai: 42mm x 19mm. Siekiant išlaikyti šį dydį visi komponentai parinkti 0603 dydžio. Suprojektavus plokštę išskiriama ši pagrindinė informacija:

- Metalizuotų kiaurymių 32
- Takelių 501
- Viršutiniame plokštės sluoksnyje yra 32 elementai, apatiniame 4
- Takelių plotis 0.250 mm
- Kiaurymės diametras 0.5mm



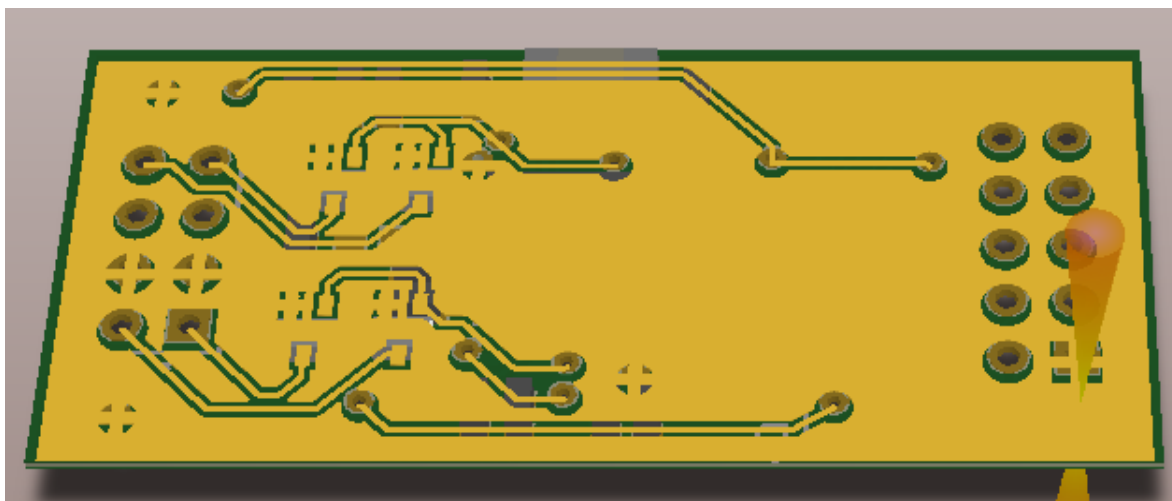
3.8 pav. Viršutinis plokštės sluoksnis



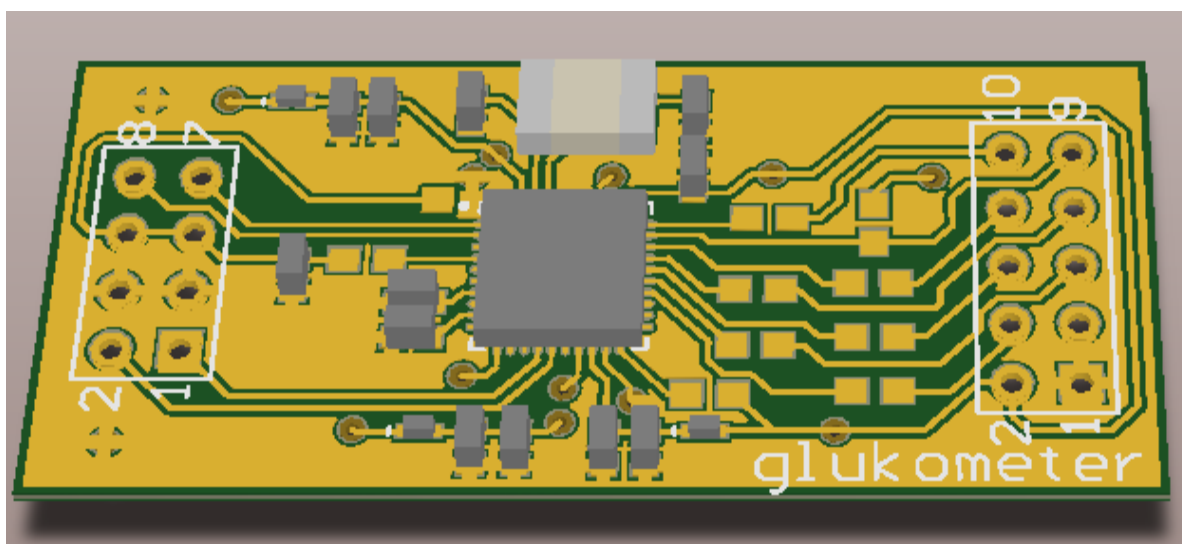
3.9 pav. Apatinis plokštės sluoksnis

Projektuojant spausdintinę plokštę pagrindinis dėmesys buvo skirtas žemės išvedžiojimui. Buvo stengtasi neišdalinti jos į atskiras sritis. Dėl šios priežasties padarytos dvi vijos montažinėje plokštėje, apatiniame sluoksnyje pažymėtos numeriais 1 ir 2, jos turėtų būti sujungtos maitinimo takeliu, bet siekiant nenutraukti žemės poligono vientisumo takelis nenuvestas ir lituojant realų prietaisą čia turėtų būti prilituotas laidas.

3.5 Plokštės 3D vaizdas



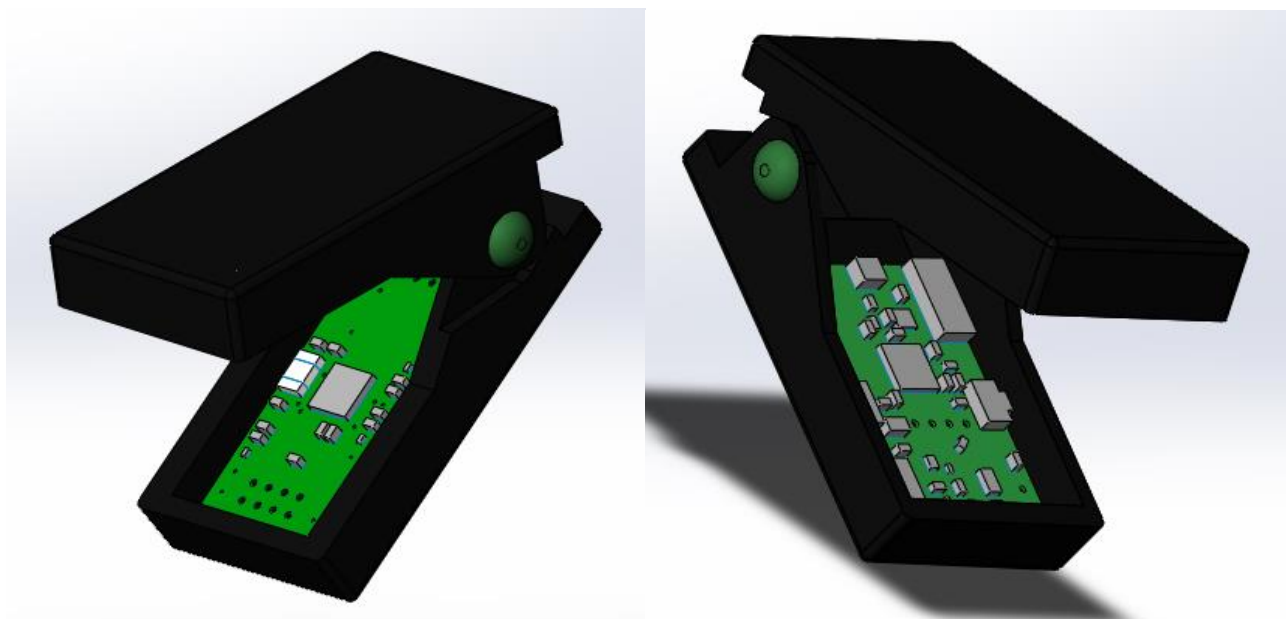
3.10 pav. viršutinio plokštės sluoksnio 3D vaizdas



3.11 pav. plokštės sluoksnio 3D vaizdas

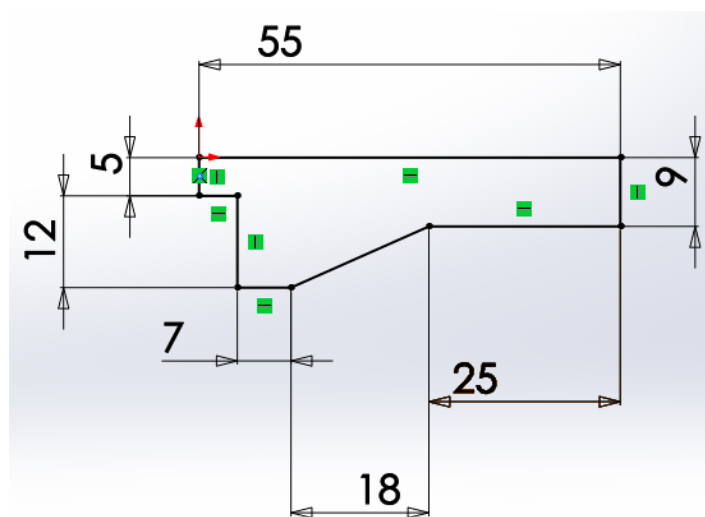
3.6 Korpusas

Korpusas buvo suprojektuotas naudojant SOLIDWORKS programą. Vėliau „KTU startup space“ atspausdintas 3D spausdintuvu



3.12 pav. korpuso ir jame patalpintų plokščių vaizdas

Korpusas buvo suprojektuotas ir atspausdintas, nes rinkoje specifinius korpusus labai sunku rasti. Suprojektuota buvo pagal konkrečius plokščių parametrus. Viena korpuso dalis padaryta su 19 x 41 mm išpjova. Kita korpuso dalis padarytas su 36x16mm išpjova.



3.13 pav. Korpuso tikslūs išmatavimai

Korpusas buvo suprojektuotas stengiantis išlaikyti mažus parametrus. Korpusas turėjo būti patogus ir patrauklus vartotojui.

IŠVADOS

1. Atlikus problemos analizę buvo nustatytas techninis reikalavimas gliukozės kiekio kraujyje matavimui – prietaisas turi būti neinvazinis.
2. Išanalizavus neinvazinius gliukozės tyrimo metodus, išsirinktas absorbcine spektroskopija pagrįstas metodas.
3. Atlinkti bandymai įrodė, jog optoelektroniniu metodu galima aptikti gliukozės kiekio kraujyje kitimą.
4. Apibendrinus gautus rezultatus ir nustačius gliukozės absorbcijos pikus išsirinkti 880nm ir 940 nm bangos ilgio šviesos diodai gliukozei aptikti.
5. Ištyrus optoelektroninio daviklio veikimą pastebėti judesio ir atstumo kitimo artefaktai

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- 1) David D. Cunningham, Julie A. Stenken „In vivo glucose sensing“ 2010 pp. 357-365.
- 2) Omar S. Khalil „Spectroscopic and Clinical Aspects of Noninvasive Glucose Measurements“ 1999 pp. 165-169.
- 3) Chi-Fuk So, Kup-Sze Choi, Thomas KS Wong, Joanne WY Chung. „Recent advances in noninvasive glucose monitoring“ 2012 pp. 45-51.
- 4) Carlos Eduardo Ferrante do Amaral, Benhard Wolf „Current development in non-invasive glucose monitoring“ 2007 pp. 501-547.
- 5) Spektrometro „beckman coulter DU800“ aprašas. [žiūrėta: 2015-03-05] Prieiga internete: <https://www.beckmancoulter.com/wsrportal/bibliography?docname=B2007-8367+DU800+Brochure.pdf>
- 6) AFE4490 techninis aprašymas. [žiūrėta: 2015-05-11] Prieiga internete: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/afe4490.pdf>
- 7) Šviesos diodo KP-2012SF4C (880 nm) techninis aprašymas. [žiūrėta: 2015-05-11] Prieiga internete: <http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/00/KP-2012SF4C%28Ver.12B%29.pdf>
- 8) Šviesos diodo KP-2012SF4C (940 nm) techninis aprašymas. [žiūrėta: 2015-05-11] Prieiga internete: <http://www.farnell.com/datasheets/1683597.pdf>
- 9) Foto-diodo temd5080 techninis aprašymas. [žiūrėta: 2015-05-11] Prieiga internete: <http://www.vishay.com/docs/81643/temd5080.pdf>
- 10) Sugerties teorija. [žiūrėta: 2015-03-05] Prieiga internete: http://www.biofotonika.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2013/02/Sugerties_teorija.pdf
- 11) Diabeto tipai. [žiūrėta: 2015-03-03] Prieiga internete: <http://www.sergudiabetu.lt/kas-yra-diabetas?full=1>
- 12) Optoelektroninės dalies paskaičiavimų ir geometrijos teorija. [žiūrėta: 2015-05-11] Prieiga internete: http://www.excelitas.com/downloads/app_ired.pdf
- 13) Fluorasencijos paaiškinimas. [žiūrėta: 2015-03-03] . Prieiga internete: <http://lt.wikipedia.org/wiki/Fluorescencija>
- 14) Tęstinio gliukozės matavimo prietaiso aprašas: . [žiūrėta: 2015-05-11] . Prieiga internete <http://www.maquet.com/int/product/EIRUS#tab=Overview>
- 15) Bendra informacija apie diabetą. [žiūrėta: 2015-03-16] Prieiga internete <http://www.idf.org/>

- 16) Diabeto tipai. . [žiūrėta: 2015-03-03] . Prieiga internete <http://www.diabetes-info.co.uk/what-is-diabetes/types-of-diabetes.html>
- 17) Fotopletizmografijos jutiklių tvirtinimo pavyzdžiai. Prieiga internete: . [žiūrėta: 2015-03-03] .
Prieiga internete: <http://xhale.com/assurance/sensor/> , <http://www.nonin.com/ReusableSensors> ,
<http://www.concordhealthsupply.com/7000-Disposable-Pulse-Oximetry-Sensor-p/non-7000.htm> .
- 18) Bioimpedansinis prietaisas „Pendra“ . [žiūrėta: 2015-05-11] . Prieiga internete:
<http://www.diabetes-symposium.org/index.php?menu=view&id=136>
- 19) Glucon aprice prietaiso veikimas: [žiūrėta: 2015-05-11] . Prieiga internete:
https://www.youtube.com/watch?v=Jqj_Oy0n0ZQ