



Mazcenas boluss spurekļa parametru monitoringam un agrīnai subakūtas spurekļa acidozes (SARA) diagnostikai govīm

18-00-A01612-000004

Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.-2020.gadam
M16.1 pasākums Sadarbība

Gala ziņojums

Rīgas Tehniskā universitāte, Elektronikas un datorzinātņu institūts, Latvijas
Lauksaimniecības universitāte, SIA "Ogres piens", z/s "Zilūži", Lauksaimnieku
organizāciju sadarbības padome

Augusts 2022
Versija 1.3

Satura rādītājs

Projekta uzdevumi	4
Projekta mērķis	4
Projekta sagatavošanas fāzē veiktie pētījumi par tirgu piedāvātiem risinājumiem.	4
1. DP1 SARA diagnosticēšanas sistēmas un sensoru izstrāde un adaptācija.....	5
1.1. Pasaules labāko risinājumu analīze un kritiskā izvērtēšana	5
1.1.1 Literatūras avotu analīze attiecībā uz govju priekškuņģa motorikas īpatnībām, subakūtas spurekļa acidozes patoģenēzi, diagnostiku un profilaksi.....	5
1.1.2 Dažādu pasaules risinājumu izpēte	6
1.2. SARA diagnosticēšanas sistēmas arhitektūras izstrāde	10
1.3. pH sensora izstrāde un pielāgošana agresīvai videi.....	13
1.4. Temperatūras sensora izstrāde un pielāgošana	15
1.5. Esošo paraugu validācijas testu veikšana (iepirkto bolusu izpēte).....	18
2. DP2 Diagnosticēšanas bolusa elektronikas komponentu izstrāde un adaptācija	19
2.1. Datu pārraides risinājumu izstrādē un testēšana laboratorijas apstākļos.....	19
2.2. Mikrokontroleru datu apstrādei izvēle un pielāgošana diagnosticēšanas risinājumam	22
2.3. Autonoma elektroapgādes sistēmas un bezvadu uzlādes ierīces izstrāde un aprobācija 38	
2.3.1. Autonoma elektroapgādes sistēmas, kura izmanto bateriju kā elektroapgādes avotu, izstrāde un aprobācija.	38
2.3.2. Autonoma elektroapgādes sistēmas, kura izmanto bateriju kā elektroapgādes avotu, pilnveidošana	71
2.3.3. Autonomas elektroapgādes sistēmas, balstītas uz elektrostatiska principa, izstrāde. 93	
2.4. Datu apstrādes programmatūras un Web interfeisa izstrāde un atsevišķo elementu salāgošana 104	
2.5. Diagnosticēšanas bolusa mehāniskas konstrukcijas izstrāde, testēšana un izmēģinājuma paraugu izgatavošana	105
3. Diagnosticēšanas sistēmas integrācija un testēšana laboratorija apstākļos	106
3.1. pH sensoru un sistēmas testēšana laboratorijas apstākļos	106
3.2. Jaunas mikrokontroliera plates shēmas pārbaude un sagatavošana pasūtīšanai	112
3.2.1. Jaunā mikrokontroliera plates shēmas pārbaude un izgatavošana.....	112
4. Diagnosticēšanas sistēmas testēšana drošos veterinārijas apstākļos.....	129

4.1.	Diagnoscēšanas sistēmas pilnveide un testēšana lauka apstākļos	129
4.1.1.	Pirmie bola un diagnoscēšanas sistēmas eksperimenti LLU fermā	130
4.1.2.	pH bolusa sensoru pilnveidošanā pēc pirmajiem izmēģinājumiem	132
4.1.3.	pH bolusa papildināšana un sagatavošana testēšanai	139
4.1.3.	SARA diagnoscēšanas sistēma izmēģinājumi Ogres Piens fermā	144
4.1.4.	Diagnoscēšanas sistēmas izstrādes apkopojums	146
4.2.	Fistulu uzstādīšana. Izmēģinājumi lauku apstākļos (LLU un zemnieku fermās), sākumā uz ierobežoto govju skaitā. Rezultātu dokumentācija un analīze.....	150
4.2.1.	Spurekļa permanentās fistulas sagatavošanas pamatojums	150
4.2.2.	Eksperimentālās daļas plāns LLU.....	152
4.2.3.	Projekta ietvaros jaunizstrādātā spurekļa bola prototipa pārbaudes fistulētā govī metodika	153
4.2.4.	Operācijas apraksts	156
4.2.5.	Paveiktie darbi SIA “Ogres piens” fermā SARA projekta ietvaros.....	163
4.2.6.	Paveiktie darbi Z/S “Zilūži” fermā SARA projekta ietvaros.....	165
4.2.7.	SmaXtec un SARA bolusa mērījumu analīze.....	167
5.	Secinājumi par projekta sasniegtiem rezultātiem	168
	Pielikumi:.....	170

Projekta uzdevumi

Projekta mērķis

Projekta mērķis ir izstrādāt un ieviest praksē intraruminālu ilgās darbības sistēmu un metodi spurekļa parametru monitoringam, lai paildzinātu augstražīgo slaucamo govju mūžu, palielinātu izslaukumu, savlaicīgi konstatētu nevēlamās spurekļa parametru pārmaiņas un veiktu pasākumus subakūtai spurekļa acidozes (SARA) novēršanai. Izstrādāta sistēma palielinās lopkopības nozares ražīgumu, samazinās lopkopju saimniecību mazproduktīva darba apjomu un uzlabos dzīvnieku uzturēšanas apstākļus.

Projekta sagatavošanas fāzē veiktie pētījumi par tirgu piedāvātiem risinājumiem.

Pasaulē zināmas tikai dažas līdzīgas norijamas ierīces, piemēram, www.ecow.co.uk un www.medi-nova.it boluss. Piemēram, eCow eBolus ir perorāli ievadāma bezvadu telemetriska ierīce, kas nodrošina pH, un temperatūras mērījumus govju spureklī. Tas ieraksta datus ar 1 minūšu intervālu un saglabā vidējos rādītājus ik pēc 15 minūtēm, lai nodrošinātu 96 rādījumus dienā. Šie dati tiek saglabāti bolusa atmiņā, un tos var ielādēt ikreiz, kad mobilā ierīce tiek pietuvināta pietiekoši tuvu govij. Tomēr esošās ierīces praktiski var būt pielietotas tikai zinātniskiem pētījumiem, bet ne zemniekiem nesamērīgas cenas dēļ (tuvu 10000 eiro) un pārāk īsas, mazāk ka 3 mēneši dzīvildzes dēļ (baterijas uzlādēšanas un sensoru degradācijas problēma).

Projekta piedāvājums būs spējīgs atrisināt abus šos defektus, lai ierīce kalpotu aptuveni govju mūžu, selektivitāti palielinot ar vairāk parametru analīzes metodēm. Papildus tiks palielināta sensoru ilgtspēja un tiks pagarināts baterijas darbības laiks. Ierīce inkorporēs augsto tehnoloģiju un masu tirāžas elektronikas komponentes, tāpēc būs laba darbība un par zemniekiem pieejamu cenu.

Ja minēto konkurentu ierīces der tikai zinātnei, tad plānotas ierīces pašizmaksa, kas ir novērtēta pēc komponentu cenas, darīs ierīci pieejamu fermeriem. Izvēlētais pH sensora risinājums nodrošinās projekta mērķa sasniegšanu, jo citi zināmie risinājumi tādu nedod (piemētam, spurekļa punkcija ir invazīva, govij rada ciešanas un infekcijas riskus; spurekļa satura iegūšana caur zondi, nesniedz precīzus rezultātus). Raidītāja izvēle rēķināsies ar radioviļņu slāpšanu strāvu vadošā ūdenī: testēs pakešdatu raidītājus, tai skaitā modernās efektīvas Nordic un LORA sistēmas. Bezvadu uzlādes ierīce atrisinās baterijas ilgmūžības problēmu. Magnētiskais lauks būs ar nekaitīgu intensitāti un izteikti īslaicīgs, tāpēc veselības problēmas govij neradīs. Tiek izstrādāta datu apstrādes un analīze programmatūra, kas ļaus ne tikai apkopot datus un izveidot dažāda veida grafikus, bet arī veiks datu korelācijas analīzi. Tiek izveidots Web interfeiss, lai nodrošinātu lietotājiem ērtu pieeju datiem un apstrādes rezultātiem. Nolasītos akumulēto mērījumu datus un govju numuru (RFID) periodiski noraidīs uz serveri reģistrēšanai un korelācijas analīzei, kas būs labs atspaidis fermas speciālistam, kas ēdina dzīvniekus, kalkulē barības racionu un novēro dzīvnieku veselības stāvokli. Veiks paralēlos testus ar citas firmas īsmūža pH sensoriem, vai salīdzinātu un izvērtētu iegūtus rezultātus.

1. DP1 SARA diagnostēšanas sistēmas un sensoru izstrāde un adaptācija

1.1. *Pasaules labāko risinājumu analīze un kritiskā izvērtēšana*

1.1.1 Literatūras avotu analīze attiecībā uz govju priekškuņģa motorikas īpatnībām, subakūtas spurekļa acidozes patoģenēzi, diagnostiku un profilaksi

Govs spurekļa anatomiskā uzbūve un fizioloģija, it īpaši tā motorika, ir ļoti būtiski faktori, lai izstrādātu iespējami labāko risinājumu ilgstošai minimāli invazīvai intraruminālai pH-metrijai lauka apstākļos. Turklāt metodei jābūt nekaitīgai un ērtai lietotājiem.

Spurekļa – acekņa kopējais apjoms govij ir liels – ap 90 kg. Izstrādājot spureklī – aceknī, ievadāms bolus ar iebūvētu sensoru ilgstošiem pH mērījumiem, jāņem vērā, ka spurekļa un acekņa motorikā izšķir četrus peristaltikas ciklus, kuri var ietekmēt izstrādātās metodes darbības efektivitāti (Constable et al, 1990). kā pirmais un svarīgākais ir primārais kontrakcijas cikls, kura laikā notiek spurekļa un acekņa satura nozīmīgākā samaisīšanās. Šajā ciklā ir iesaistīts aceknis, kura kontrakcijas sastāv no divām fāzēm – pirmās, kad barības masas tiek pārvietotas dorsāli un kaudāli, un otrās ļoti spēcīgas fāzes, kad barības masas tiek pārvadītas spureklī. Tālāk turpinās spurekļa kontrakcija, kad kontrahējoties tā dorsālajam maisam, barības masas tie virzītas uz ventrālo maisu kurš tajā laikā ir relaksēts. Šis cikls ir ļoti būtisks nepārtrauktai barības šķidrās un cietās komponentes sajaukšanai, kā arī sasmalcināšanai turklāt organisma vispārējā veselības stāvokļa traucējumu gadījumā, priekškuņģa primārās kontrakcijas cikls stipri pavājinās vai pat izzūd. Satura intensīva maisīšana varētu radīt ievietotā bolus pārvietošanos acekņa un spurekļa lūmenā un potenciālu dislokāciju, tāpēc būtiski būs arī izstrādātā bolusa masa un izmēri. Vidējais šo ciklu skaits stundā ir 60-105 cikliem, un to frekvence atkarīga no ēdināšanas biežuma un diētas. Sekundārais kontrakcijas cikls un atraugāšanās ir neatkarīgs no primārā cikla, tas ir vājāks un retāks (vidēji 1 x divās minūtēs), galvenokārt nodrošinot atraugāšanos un spureklī radušos gāzu izvadīšanai. Priekškuņģos notiek samērā intensīva gāzu (CO₂, N₂, CH₄) veidošanās – vidēji 1 L minūtē. Sekundārais kontrakcijas cikls ir svarīgs gāzu izvadīšanai no spurekļa un tā darbības traucējumu gadījumā var notikt spurekļa uzpūšanās. Trešais peristaltikas cikls ir atgremošana jeb ruminācija, kas sastāv no barības masu regurgitācijas (atrīšanas), remastikācijas (atkārtotas sakošļāšanas), insalivācijas (iesiekalošanas) un norīšanas. Tieši atgremošanas process un it īpaši insalivācija ir svarīgs process spurekļa satura pH regulācijā, jo siekalās esošais nātrija hidroģēnkarbonāts neitralizē spureklī radušās gaistošās taukskābes – pienskābi, etiķskābi, propionskābi un sviestskābi. Atgremošana diennaktī vidēji norisinās 7 stundas, bet viena cikla ilgums ir 10-60 minūtes. Barības vada rievās noslēgšanās ir ceturtais spurekļa peristaltikas cikls, kas svarīgs jaundzīvniekiem. Spurekļa motorikas fizioloģija jāņem vērā izstrādājot bolusu, kā arī domājot par risinājumiem attiecībā uz bolusa akumulatora pašuzlādi.

Spurekļa - acekņa saturs bagāts ar gaistošajām taukskābēm, kas ir disociētā un nedisociētā stāvoklī, kā arī hlora joniem (10-25 mEq/l). Šo taukskābju koncentrācija ietekmē spurekļa šķidrumsa pH, kas savukārt var būtiski ietekmēt iepriekš aprakstītos spurekļa – acekņa motorikas procesus. Spurekļa saturā pamatā ir šķidrums un cietās daļiņas, kuru vidējais izmērs govīm ir 2-4 mm. Spurekļa satura krāsa ir no zaļas līdz brūnai, kas atkarīgs no diētas. Izēdinot skābsienu, krāsa parasti ir dzeltenīgi brūna. Satura pH līmenis veselīgiem dzīvniekiem svārstās no 6,2- 7,2 un tas atkarīgs no izēdinātās barības. Ogļhidrātu uzņemšana būtiski pazemina pH vērtību. pH metra ieteicamais skalas diapazons ir 2-12. Spurekļa saturs ir bagāts ar mikroorganismiem un viensūņiem. Šie rādītāji jāņem vērā bolus tehnisko parametru un it īpaši sensoru izstrādē.

Subakūtā spurekļa acidoze parasti rodas govīm, kas tiek turētas intensīvajā lauksaimniecībā, kur lai sasniegtu augstākus izslaukuma rādītājus nepieciešamas dzīvniekiem izēdināt enerģētiski bagātāku barību, tādējādi racionā palielinot koncentrētās barības izēdināšanu. Tādējādi samazinās šķiedrvielu apjoms barībā, kas samazina siekalu izdales apjomu, samazina atgremošanas procesus. Rupjo daļiņu trūkums pazemina priekškuņģu motorikas aktivitāti. Par subakūtu spurekļa acidozi runā, ja satura pH nokrītas un ir starp 5,6 un 5,2. Ja pH ir 5,0 un zemāks dzīvniekam rodas akūta, klīniski smaga saslimšana. pH līmenis zem 5,5 novērojams pat 20% dzīvnieku kas turēti komerciālajos govju ganāmpulkos, kas liecina par šīs problēmas plašo izplatību un potenciāli lielo ekonomisko ietekmi – ASV 1,12 USD uz dzīvnieku dienā (Keunen et al.,2002). Īpaši svarīgi pievērst uzmanību govīm pēc atnešanās, jo sākoties laktācijai būtiski palielinās organisma vajadzība pēc enerģijas un dzīvniekam tiek atbilstoši izmainīts barības raciona. Diemžēl spurekļa adaptācija jaunajam racionam notiek tikai 3-5 nedēļu laikā. Subakūtās spurekļa acidozes laikā notiek izmaiņas spurekļa saturā, un smagākos gadījumos arī spurekļa- acekņa peristaltikas procesos. Pastiprināta ogļhidrātu uzņemšana rada būtiskas izmaiņas spurekļa mikroflorā 2-6 stundu laikā pēc barības uzņemšanas. Palielinās *Streptococcus bovis* savairošanās, kas ogļhidrātu fermentējot rada lielu daudzumu pienskābes, kā rezultātā pazeminās spurekļa pH. Pārāk skābā vidē ir traucēta celolītisko baktēriju un viensūņu attīstība, kuriem ir ļoti svarīga simbiotiska loma atgremotājdzīvnieku fizioloģijā. Ja normālā spurekļa satura osmolaritāte ir 280 mosmol/l, tad acidozes gadījumā tā var sasniegt pat 400 mosmol/l. Subakūtas acidozes gadījumā šīs svārstības nav tik izteiktas.

1.1.2 Dažādu pasaules risinājumu izpēte

<https://www.cowmanager.com/en-us/Solution>

CowManager ir risinājums, kas dod brīdinājumus gadījumos, kad kāda govys neēd vai nekošļā. CowManager izmanto auss sensora sistēmu, lai izsektu govju veselību un uzturu, ir risinājums, kādu var gūt labums no katra ražotāja.

<http://www.moow.farm/>

Moow spp. Bolus ir paredzēts nepārtrauktai un drošai pH un temperatūras mērīšanai. Visi dati tiek automātiski pārsūtīti uz bāzes staciju, un pēc tam uz mākoņa balstītu sistēmu, kas ļauj lauksaimniekiem, veterinārārstiem un zinātniekiem apstrādāt informāciju.



1.1.attēls. Bolus un tā rādītāju mērīšana

Sistēma ļauj piekļūt datiem, izmantojot tīmekļa paneli vai mobilās lietojumprogrammas, saņemt paziņojumus (trauksmes signālus), izmantojot dažādus sakaru kanālus (SMS, e-pastu), lai ātri reaģētu. Fi-ware saderīgs risinājums. Atkārtotājs paplašina bezvadu diapazonu, lai nodrošinātu pārklājumu lielākām saimniecībām.



1.2.attēls. Tīmekļa paneli

<https://ecow.co.uk/the-ebolus-for-researchers/>

eBolus

Specifikācija:

- Bolus Length: 135mm
- Bolus Diameter: 27mm
- Weight: 150g
- Specific Gravity: 2.7
- Temperature Accuracy: +/- 0.1°C
- pH Accuracy: +/- 0.1pH
- Data samples every minute to provide 96 data points per day.
- Data Storage: 2700 lines (4 weeks at 15 minute samples).

- Up to 5 months of logging
- Frequency: 432MHz



1.3.attēls. eBulus

eBulus ir bezvadu telemetriska ierīce, ko norīt gov. eBulus nodrošina regulāru pH, temperatūras un samazināšanas potenciāla mērījumu retikulā. Tā ieraksta datus 1 minūšu intervālos un saglabā vidējos rādītājus ik pēc 15 minūtēm, lai nodrošinātu 96 rādījumus dienā. Dati tiek saglabāti uz bolusa. Tos varētu ielādēt ikreiz, kad mobilais tālrunis tiek piegādāts bolusa pārraides diapazonā.

Risinājumu apkopojums:

Iepazīstoties ar pieejamām zinātniskajām publikācijām un internetā pieejamo ražotāju informāciju tika identificēti pavisam 6 pH sensora bolusi (turpmāk boluss), kurus izmanto SARA diagnosticēšanā. No esošajiem 6 bolusiem tika atlasīti 5, jo viens boluss, “Kahne bolus”, vairs netiek ražots tāpēc, ka kompānija “Kahne, Ltd” 2015. gadā paziņoja par bankrotu.

Informācija par pieejamiem bolusiem ir attēlota 1.tabulā. Informācijas avoti ir Eiropas projekta 4D4F mājaslapa [1], 2018. g. jūlijs, un bolusu ražotāju mājaslapas [3 – 7]. Avotā [2] 2015. gadā tiek minēti sekojoši bolusi un to ražotāji: SentinelTM (Kahne, Ltd), Well CowTM bolus (Well Cow Ltd), farmBulus (eCow) and YCow-S (DKKToa, Ymagata Co). BolussYcow-S internetā nav atrodams.

1.1. Tabula. Ražotāju informācija

pH bolusa nosaukums	Ražotājs	Dzīves ilgums	pH precizitāte	Temperatūras precizitāte	Izmēri diametrs un garums	Svars
eBulus	eCow	5 mēneši	±0,1pH; 30 dienas	±0,1°C	27mm x 135mm	150 g
smaXtec Premium Bolus	smaXtec animal care GmbH	5 mēneši	±0,2 pH līdz 90 dienai	±0,1°C	35mm x 132 mm	Nav zināms
Well Cow Bolus	Well Cow	80-100 dienas	±0,3 pH	Nav zināms	32mm x 145mm	240 g
Mow Rumens Bolus	Mow	3 gadi	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms

VetAsyst	MoonSyst	3 mēneši	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms
Moow spp	Moow.farm	3 gadi	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms	Nav zināms

No tabulas redzams, ka par pēdējiem diviem bolusiem - “Moow rumen bolus” un “VetAsist” ir ļoti nepilnīga informācija. Zinātniskajā periodikā šie bolusi netiek apskatīti un to pielietojumi nav pieminēti. Cik var spriest pēc to ražotāju mājaslapām [5,6] abi šie bolusi tiek izmantoti tikai Ungārijā. Nav pieejami pētījumu apraksti par šo 2 bolusu pielietošanu. Tāpēc analīzei tika atlasīti pirmie 3 bolusi, kas kā vienīgie izmantojamie ir apskatīti arī avotā [8].

Bolusu analīzei un izvērtēšanai tika izmantotas zinātniskās publikācijas, kuru pētījumos ir izmantoti bolusi. Pavisam tika izskatītas 12 zinātniskās publikācijas no 2014. līdz 2018. gadam. Apkopojot bolusu ražotāju informāciju, jāsecina, ka bolusus raksturojošie parametri ir visai līdzīgi, ko var izskaidrot ar to, ka bolusu sensoros tiek izmantotas līdzīgas tehnoloģijas. Visos bolusos izmanto RF bezvadu sakarus. Visos bolusos temperatūras mērīšanai izmanto termistorus, tāpēc precizitāte ir vienāda. Tāpat visos pH sensoros izmanto stikla elektrodus, kas ierobežo bolusu dzīves ilgumu.

No publikācijām izriet, ka ģeogrāfiski visizplatītākais un visvairāk pielietotais boluss ir “Smaxtec premium bolus”, ko izgatavo “smaXtec Animal Care GmbH, Graz, Austria”[3].

Šis boluss atšķiras no citiem ar to, ka tam ir 50 dienu garantija un tas ir pārbaudīts Vācijas Lauksaimniecības Biedrībā (Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft) uz spurekļa šķidruma izturību. Jāatzīmē, ka šim bolusam ir vispilnīgākā specifikācija.

Informācijas avoti:

1. <https://www.4d4f.eu/>
2. B.FLT.0240 Final Report - Review of diagnostic technologies for monitoring feedlot animal health, Meat and Livestock Australia Limited, July 2015.
3. <https://www.ecow.co.uk/the-ebolus-for-researchers/>
4. <https://www.smaxtec.com/en/smaxtec-premium-bolus/>
5. <http://wellcow.co.uk/bolus/>
6. <http://moow.farm/>
7. www.moonsyst.com/
8. Caja C, Castro-Costa A & Knight CH, 2016, Engineering to support well-being of dairy animals Journal of Dairy Research 83, pp. 136-147.

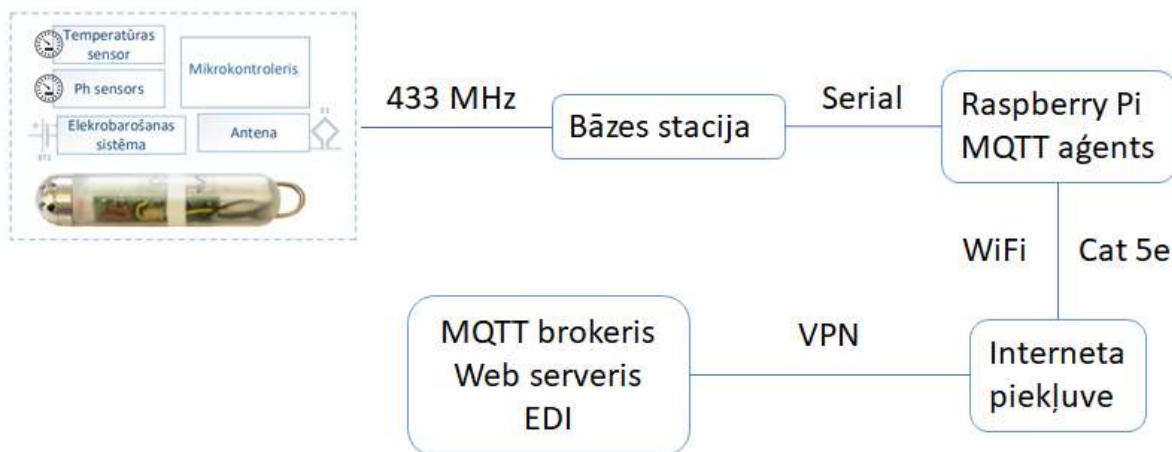
1.2. SARA diagnosticēšanas sistēmas arhitektūras izstrāde

Sistēmas arhitektūras izstrādes 1. posms

1.4.attēlā piedāvātā SARA diagnosticēšanas sistēmas arhitektūras risinājuma mērķis ir parādīt nepieciešamās informācijas saites, informācijas plūsmas un to apstrādei nepieciešamos aparatūras resursus. Vienlaikus arhitektūras risinājumam jāspēj nodrošināt nepieciešamo sistēmas funkcionalitāti.

Piedāvātais arhitektūras risinājums ietver pH bolusu, bāzes staciju, MQTT aģentu, interneta piekļuvi, MQTT brokeri un Web serveri. pH boluss satur pH un temperatūras sensorus, mikrokontroleri, radiatoritāju ar antenu un barošanas sistēmu. Bāzes stacija kalpo datu saņemšanai no bolusa un to tālākai pārraidei uz MQTT aģentu. Datu pārraidei izmanto 433 MHz radiofrekvenci. MQTT aģentam ir jānodrošina savienojums ar interneta piekļuves punktu, izmantojot WiFi vai "Ethernet" kabeli. Tālāk dati tiek nosūtīti pa VPN savienojumu uz MQTT brokeri un Web serveri.

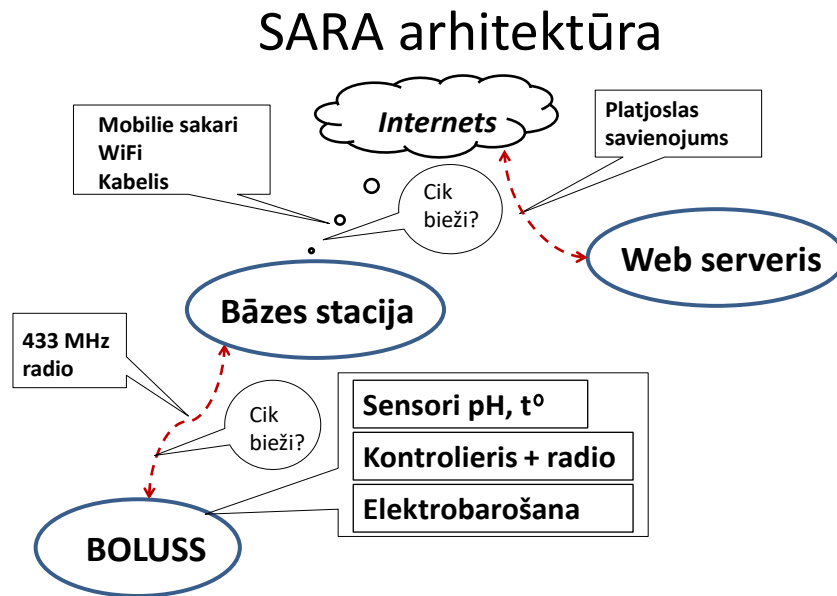
Primārais parametrs, kas nosaka bolusa mikrokontroliera un radiatoritāja izvēli, ir to patērējamā jauda dažādos režīmos. 433 radiofrekvences izvēli nosaka tās labāka izplatība vidē. Detalizētāka bolusa arhitektūra tiks precizēta pēc atbilstošu pH un temperatūras sensoru izvēles, kas noteiks arī sensoriem nepieciešamos barošanas spriegumus. Priekšroka būtu jādod tādiem mikrokontroliera risinājumiem, kuros radiatoritājs ir integrēts ar kopā mikrokontrolieri. Radiatoritājā ir paredzēts izmantot uz čipa balstītu izplatīšanās spektra modulāciju, kas varētu nodrošināt 1-2 mW pārraides jaudu un paaugstinātu spēju izplatīties vidē. Vienlaikus jāatzīmē, ka netiek izslēgta radiosakaru aizvietošana ar RFID. Tam ir nepieciešama papildu izpēte, lai izvērtētu nepieciešamo barošanas enerģijas patēriņu.



1.4.attēls. SARA diagnosticēšanas sistēmas arhitektūras risinājuma 1.variants

Sistēmas arhitektūras izstrādes 2. posms

Turpinot darbu pie SARA diagnostiskās sistēmas arhitektūras izstrādes, tiek piedāvāts jauns variants. Tika modificēts iepriekš piedāvātās diagnostiskās sistēmas arhitektūra, piedāvājot alternatīvas izvēles datu pārsūtīšanai no bāzes stacijas uz web serveri. Arhitektūras modifikācija parādīta 1.5. attēlā.



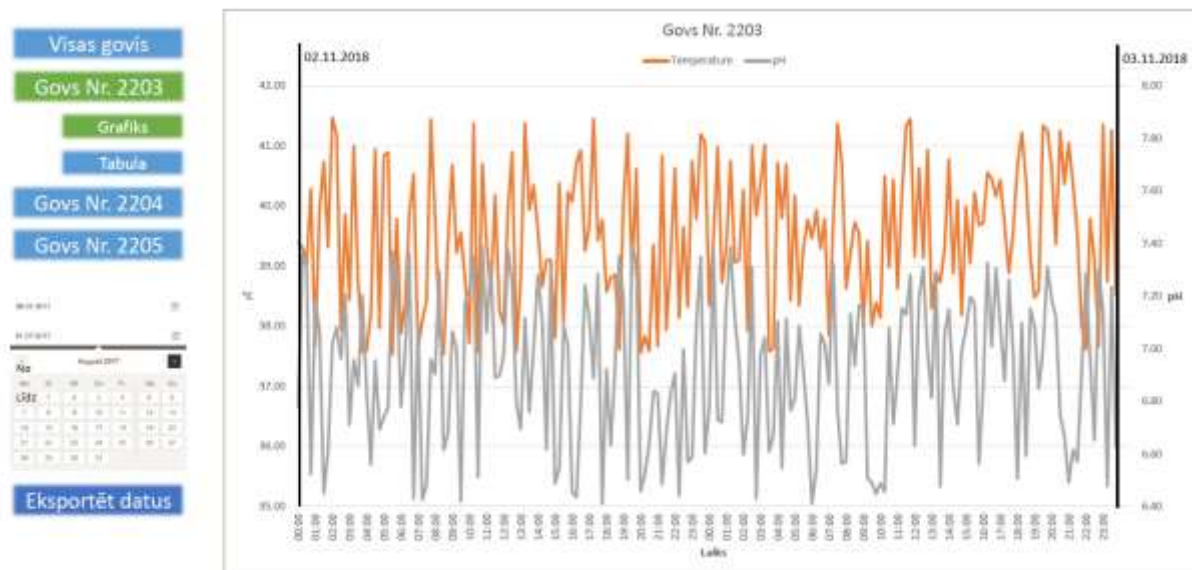
1.08. EDI

3

1.5.attēls. SARA diagnostiskās sistēmas arhitektūras risinājuma 2.variants

Diagnostiskās sistēmas interfeisi:

Ekrāns 1-2



[Visas govis](#)
[Govs Nr. 2203](#)
[Govs Nr. 2204](#)
[Govs Nr. 2205](#)

No 06.07.2017
 Līdz 09.07.2017

August 2017

[Eksportēt datus](#)

Grafiks		Tabula	
Date	Time	Temperature	pH
02.11.2018	00:00	39.62	7.25
02.11.2018	00:15	41.08	7.10
02.11.2018	00:30	39.19	7.30
02.11.2018	00:45	39.06	6.96
02.11.2018	01:00	41.33	7.17
02.11.2018	01:15	38.62	6.85
02.11.2018	01:30	39.65	6.73
02.11.2018	01:45	39.85	6.80
02.11.2018	02:00	40.05	6.51
02.11.2018	02:15	37.64	6.99
02.11.2018	02:30	40.70	7.26
02.11.2018	02:45	41.11	7.14
02.11.2018	03:00	37.53	7.36
02.11.2018	03:15	38.31	7.21
02.11.2018	03:30	38.12	7.21
02.11.2018	03:45	39.55	7.03
02.11.2018	04:00	38.68	7.34
02.11.2018	04:15	38.16	6.91
02.11.2018	04:30	39.37	7.18
02.11.2018	04:45	39.96	6.71
02.11.2018	05:00	40.11	7.17
02.11.2018	05:15	41.36	6.60
02.11.2018	05:30	37.87	7.06
02.11.2018	05:45	38.87	6.52
02.11.2018	06:00	37.98	7.39
02.11.2018	06:15	39.96	7.37
02.11.2018	06:30	37.57	6.42
02.11.2018	06:45	37.87	6.91
02.11.2018	07:00	40.60	7.12

Ekrāns 2-2

[Visas govis](#)
[Govs Nr. 2203](#)
[Grafiks](#)
[Tabula](#)
[Govs Nr. 2204](#)
[Govs Nr. 2205](#)

No 06.07.2017
 Līdz 09.07.2017

August 2017

[Eksportēt datus](#)

Date	Time	Temperature	pH
02.11.2018	00:00	39.62	7.25
02.11.2018	00:15	41.08	7.16
02.11.2018	00:30	39.19	7.30
02.11.2018	00:45	39.06	6.96
02.11.2018	01:00	41.33	7.17
02.11.2018	01:15	38.62	6.85
02.11.2018	01:30	39.65	6.73
02.11.2018	01:45	39.85	6.80
02.11.2018	02:00	40.05	6.51
02.11.2018	02:15	37.64	6.99
02.11.2018	02:30	40.70	7.26
02.11.2018	02:45	41.11	7.14
02.11.2018	03:00	37.53	7.36
02.11.2018	03:15	38.31	7.21
02.11.2018	03:30	38.12	7.21
02.11.2018	03:45	39.55	7.03
02.11.2018	04:00	38.68	7.34
02.11.2018	04:15	38.16	6.91
02.11.2018	04:30	39.37	7.18
02.11.2018	04:45	39.96	6.71
02.11.2018	05:00	40.11	7.17
02.11.2018	05:15	41.36	6.60
02.11.2018	05:30	37.87	7.06
02.11.2018	05:45	38.87	6.52
02.11.2018	06:00	37.98	7.39
02.11.2018	06:15	39.96	7.37
02.11.2018	06:30	37.57	6.42
02.11.2018	06:45	37.87	6.91
02.11.2018	07:00	40.60	7.12
02.11.2018	07:15	38.68	6.38
02.11.2018	07:30	39.43	6.63
02.11.2018	07:45	39.03	7.04
02.11.2018	08:00	40.82	7.14
02.11.2018	08:15	41.00	6.82

1.6.attēls. SARA diagnosticēšanas sistēmas aprēķini

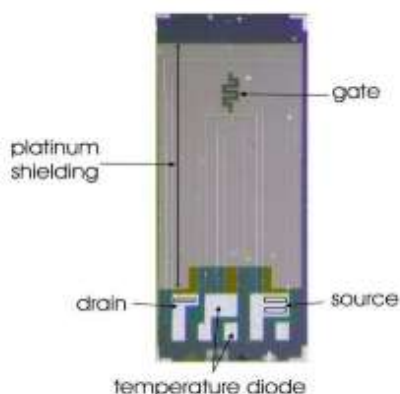
Secinājumi par SARA arhitektūras risinājumu kritiskie faktoriem, noslēdzot projekta 1. posmu:

- Galvenokārt saistīti ar bolusā ievietojamu elektroniku
- Bolusa elektronikas enerģijas patēriņš
- pH sensora dzīves ilgums
- Radiosakaru stabilitāte un drošums

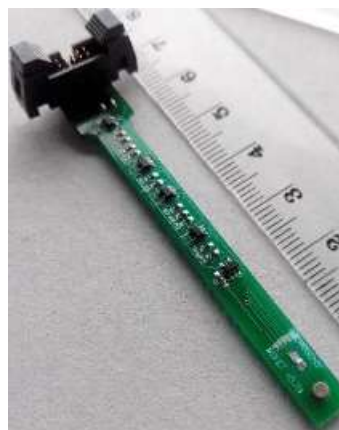
1.3. pH sensora izstrāde un pielāgošana agresīvai videi

Projekta 1. posmā notika pH sensora izstrāde un pielāgošana agresīvai videi. Ir uzsākts esošo pH sensoru izvērtējums un to piemērotības analīze projekta vajadzībām. Sensora kritiskā komponente ir atbalsta (references) sprieguma elektrods, kas pH sensora darbības laikā, ir pakļauts ārējās vides iedarbībai un tiek piesārņots. Piesārņošana ir cēlonis būtiskam pH mērījumu kļūdas vērtības pieaugumam.

Tika turpināta pH sensora izstrāde un tā pielāgošana agresīvai videi. Tika izvērtēti piemērotākie pH sensori un nolemts turpināt darbu ar MSFET3330 un MSFET3332 ierīcēm, kuras piedāvā Šveices uzņēmums "MICROSENS SA" - vietne www.microsens.ch. Notika sazināšanās ar ražotāju par iespēju piegādāt ierīces, pH sensorus MSFET3330 (1.7.attēls) un MSFET3332 (1.8.attēls). Ražotājs atsūtīja pa e-pastu savu piedāvājumu.



1.7. attēls. pH sensors MSFET3330



1.8. attēls. pH sensors MSFET3332

Par cik pH sensoru dokumentācijā nebija informācijas par pH sensoru nepārtrauktas darbības ilgumu, tad aizsūtījām 12. novembrī uzņēmuma "MICROSENS SA" pārstāvim sekojošus jautājumus:

1) Kāds ir paredzamais pH sensoru MSFET3330 un MSFET3332 un atbalsta (references) sprieguma elektroda MSREF1 darbības ilgums?

2) Kāds ir paredzamais pH sensoru MSFET3330 un MSFET3332 rādījumu ilgtermiņa dreifs?

3) Cik bieži pH sensori MSFET3330 un MSFET3332 ir jākalibrē, lai novērstu rādījumu ilgtermiņa dreifu?

Diemžēl atbildes uz šiem jautājumiem nav saņemtas. Tāpēc tiek izvērtēta iespēja izmantot citu ražotāju ISFET pH sensorus. Viena no iespējām, kas jāizvērtē, ir Sentron ISFET pH sensori www.sentron.nl.

Nākamā posmā tika veikta Sentron ISFET pH sensoru www.sentron.nl izvērtēšana, balstoties uz saitē: http://www.sentron.nl/files/9714/9812/9726/E7500347.03_Technical_Guide_pH-kit.pdf

pieejamo informāciju. Tiek plānota pH-kit tuvāka izpēte pēc to iegādes.

Secinājumi par pH sensora izstrādi, noslēdzot projekta 1. posmu:

- Pēc tehnisku jautājumu uzdošanas pirmais izvēlētais pH sensoru piegādātājs neatbildēja.
- Ierobežojošais faktors ir pH sensora references elektroda mūža ilgums, kurš ir spēcīgāks gan stikla, gan ISFET mērīšanas elektrodiem.
- Jauns references elektroda veids REFEX



1.9.attēls. REFEX

Izmanto patentētu REFEX™ tehnoloģiju – neporains, jonus vadošs polimeru materiāls, kas nodrošina galvanisko kontaktu ar references šķidrumu.

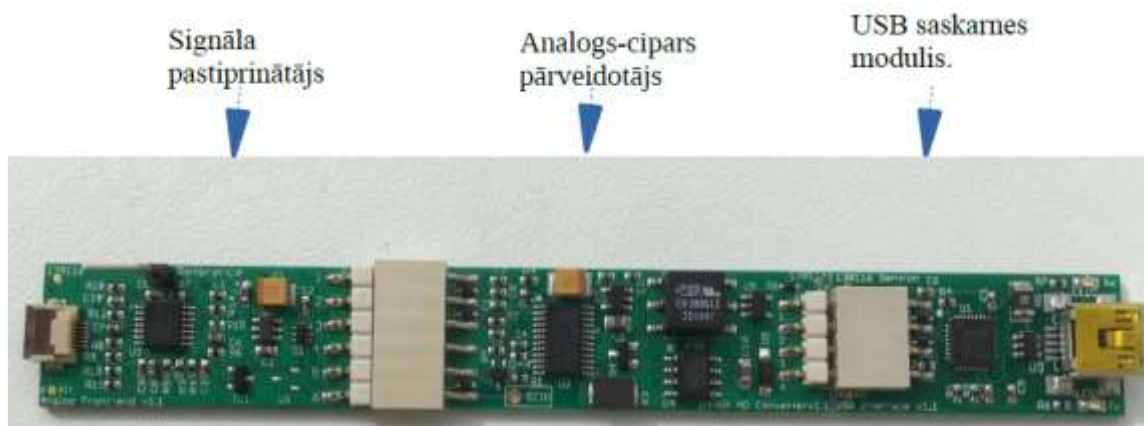
Maijā un jūnijā 2019. g. turpinājās darbi pie pH sensora izstrādes un adaptācijas. Tika pasūtīti un saņemti firmas “Sentron” ISFET pH sensori, kas parādīti 1. attēlā.



1.10.attēls. Firmas “Sentron” ISFET pH sensori

Sensoru pārbaudei un parametru kontrolei, tika pasūtīts firmas “Sentron” pH mērītāja elektronikas moduļu komplekts, kas parādīts 1.11. attēlā. Komplektā ietilpst:

- 1) pH analogā signāla pastiprinātājs;
- 2) signāla pārveidotājs “Analog – cipars”;
- 3) USB saskarnes modulis.



1.11.attēls. Sentron” pH mērītāja elektronikas moduļu komplekts

1.4. Temperatūras sensora izstrāde un pielāgošana

Februārī galvenā uzmanība tika veltīta temperatūras sensora izvēles novērtējumam un izvēles pamatojumam. Tika veikta vairāku iespējamo risinājumu analīze, tai skaitā apskatot PT1000, MLX90614, TSYS01 un TMP117 pielietojuma iespējas.

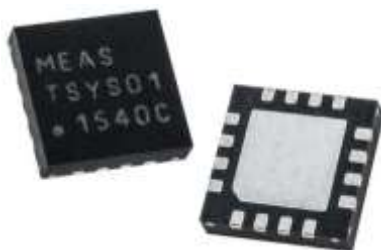
Sākotnēji tika paredzēts temperatūras mērīšanai izmantot platīna rezistoru PT1000 komplektā ar nepieciešamajām elektroniskajām ierīcēm, piemēram MAX31865. Šāda risinājuma trūkums ir nepieciešamība izmantot vairākus elementus, kas palielina enerģijas patēriņu un pamazina sensora drošumu.

Tāpēc tika apskatīta iespēja izmantot digitālos temperatūras sensoru. Sākotnēji izvēlētais MELEXIS.

MLX90614 temperatūras sensors 1.12. attēls nodrošināja pat attālinātu temperatūras mērīšanu, bet nenodrošināja nepieciešamo precizitāti $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. MLX90614 precizitāte ir $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$.



1.12.attēls. MLX90614



1.13.attēls. TSYS01



1.14.attēls. TMP117

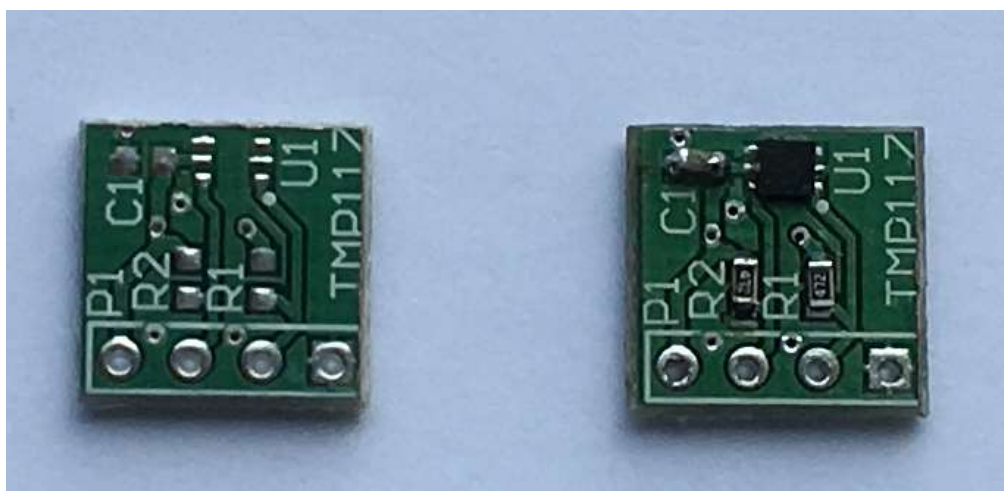
Līdz ar to tika apskatīti 2 citi digitālie temperatūras sensori, kas nodrošina precizitāti $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$: TE connectivity TSY501 (1.13. attēls) un Texas Instruments TMP117 (1.14. attēls). Abi šie sensori nodrošina nepieciešamo precizitāti un saskarni datu pārraidei uz mikrokontrolieri. Salīdzinot abus, tika izvēlēts sensors TMP117 mazāka enerģijas patēriņa un mazāka izvadu skaita dēļ. Sakarā ar to, ka sākotnēji sensors TMP117 nebija pieejams, būdams jauns izstrādājums, komponentu izmēģinājumos bija paredzēts izmantot temperatūras sensoru TSY501, vēlāk aizvietojo to ar TMP117.

Martā 2019. g. tika uzsākta temperatūras sensora TMP117 moduļa izstrāde. TMP117 ir ciparu termometrs, kas nodrošina augstu precizitāti, ļoti mazu stāvas patēriņu, datu pārsūtīšanu pa I2C kopni un veic gan vienreizējus, gan cikliskus mērījumus. TMP117 ir paredzēts kā alternatīva platīna termometru PT100, PT500, PT1000 aizvietošanai. Galvenie TMP117 parametri ir redzami 1.2.tabulā.

1.Tabula. Galvenie TMP117 parametri

N.p.k.	Parametrs	Vērtība
1	Precizitāte	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ no -20°C līdz $+50^{\circ}\text{C}$
2	Strāvas patēriņš miera stāvoklī	150 nA
3	Strāvas patēriņš pie 1 Hz mērīšanas frekvences	3.5 μA
4	Barošanas sprieguma diapazons	1.8 V - 5.5 V
5	Mērījumu vidējās vērtības iegūšana	ir
6	Mikroshēmas izmērs	2.0 x 2.0 mm

Martā 2-19. g. TMP117 plate ir izgatavota. Montāžai nepieciešamās detaļas ir nopirkas. Aprīlī tika turpināta temperatūras sensora TMP117 moduļa aparatūras un programmatūras izstrāde. TMP117 strādā kā ciparu termometrs, kas nodrošina mērījumu augstu precizitāti, patērējot dažus μA lielu strāvu.

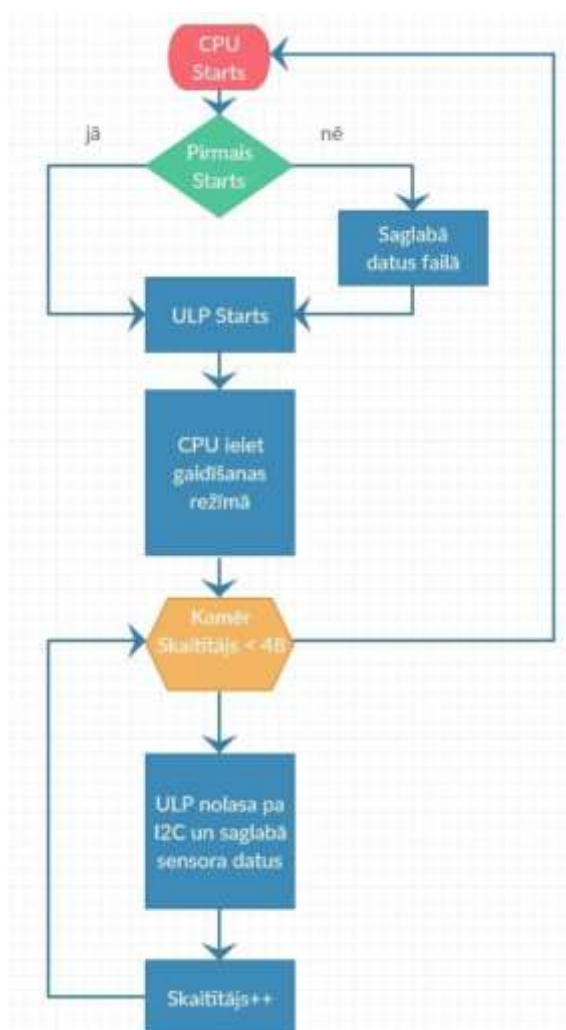


1.15.attēls: a)

b)

TMP 117 sensora plate ir attēlota 15.attēlā a) daļā. Samontētā TMP 117 sensora plate ir attēlota 1.15.attēlā b) daļā. Ir uzsākta un turpinās TMP 117 plates testēšana.

Pielietojot mikrokontroliera “ESP32 Pico Kit” moduli, tika pārbaudīta temperatūras sensora saskarnes (I2C) darbība, pielietojot ESP32 moduļa ļoti zema enerģijas patēriņa (ULP) koprocatoru. Izstrādātās ULP programmatūras blokshēma ir redzama 1.16.attēlā. Programmatūra nodrošina sensoru ciklisku nolasīšanu ar periodu 10 minūtes un nolašu saglabāšanu atmiņā. Temperatūras nolasīšanas dati ir redzami 2. Pielikumā.



1.16.attēls. ULP programmatūras blokshēma

1.5. Esošo paraugu validācijas testu veikšana (iepirkto bolusu izpēte)

Līdztekus tiek veikta esošo paraugu validācijas testu veikšana (iepirkto bolusu izpēte). Tika pārbaudīta smaXtec bolusa SX-1042A sagatavošanas un ieslēgšanas secība. Pārbaudot smaXtec bolusu SX-1042A, tika veikta bolusa izjaukšana. Noskaidrots, ka boluss ir vienreizējas lietošanas ierīce un nav paredzēts izjaukšanai ar atkārtotu montāžu. Izjaucot plastmasas korpusu, tas tika sadrupināts, lai nesabojātu bolusa iekšienē esošo elektroniku. Bolusa iekšiene aizpildīta ar melnu silikonu. Bolusa iekšienē novietota misiņa caurule D=28mm, H=55mm, kurā ievietoja elektronikas plate. Barošanas avots ir vienreizējas lietošanas. Tiek izmantota litija baterija ER14505, 3.6V, 2400mAh. Izmantotais mikrokontrolieris ir CC430F5137, kas ir SoC ar iebūvētu raiduztvērēju.

Secinājums: izdarītais tests deva pietiekošu priekšstatu par citas kompānijas produktu. Pieņemts lēmums neiztērētus plānotus šai aktivitātei izdevumus izmantot papildu materiālu iepirkumam, kas būtu vajadzīgi, lai veiktu operēto dzīvnieku aprūpi.

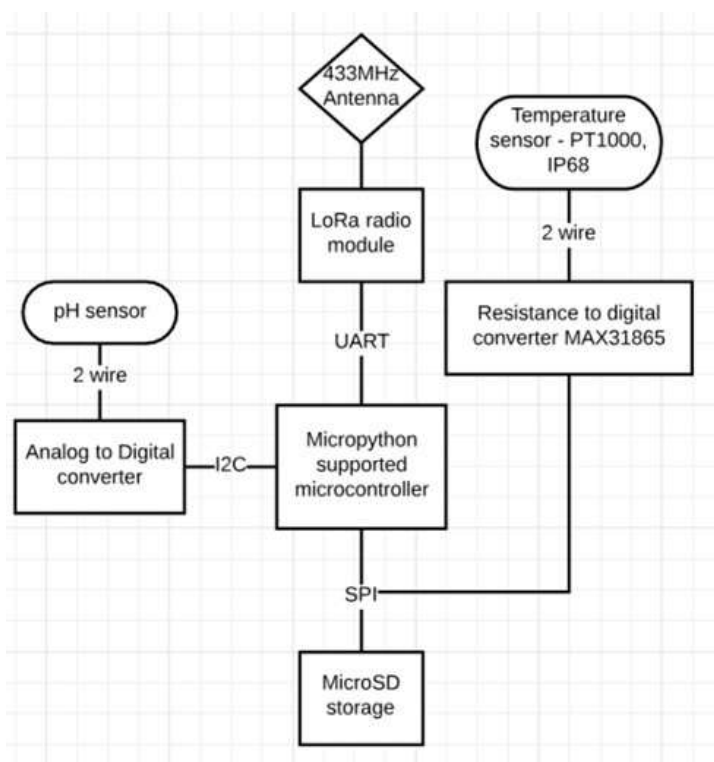
2. DP2 Diagnostiskās bolusa elektronikas komponentu izstrāde un adaptācija

2.1. Datu pārraides risinājumu izstrādē un testēšana laboratorijas apstākļos

Tika veikta datu pārraides risinājumu izstrāde un testēšana laboratorijas apstākļos, izmantojot LoRa raidzuvērijus ar 2 dBm jaudu un darba frekvenci 863,9 MHz. Izmēģinājumi tiek turpināti.

Uzsākta mikrokontroleru datu apstrādes izvēle un pielāgošana diagnostiskās risinājumam, par pamatu izvēloties uz ARM procesora balstītu mikrokontroleri.

Precizēta bolusā ievietojamās elektronikas struktūrhēma, kas parādīta 2.1.attēlā, galveno vērību pievēršot mikrokontroliera izvēlei.



2.1. attēls. Bolusa elektronikas struktūrhēma

Pavisam tika apskatīti 4 mikrokontrolieri: STM32F405RGT6, STM32F411RET6, MSP432P401R un ESP32-D0WD. To salīdzinošā analīze ir attēlota 3.tabulā.

2.1. tabula. Mikrokontroleru parametru salīdzinājums

Mikrokontrolieris	Arhitektūra	Micro Python atbalsts	Micro SD atbalsts	Ir pieejams gatavs modulis	LoRa atbalsts
STM32F405RGT6	32-bitu ARM Cortex-M4F	Jā	Jā	Jā PyBoard	Jā
STM32F411RET6	32-bitu ARM Cortex-M4F	Jā	Jā	Jā PyBoard	Jā
MSP432P401R	32-bitu ARM Cortex-M4F	Nē	Jā	Jā MIKROE 2503	Nē
ESP32-D0WD	32-bitu Xtensa LX6 ar WiFi un BlueTooth	Jā	Jā	Jā LoPy4 ESP32-WROOM	Jā

Analīzes veikšanai tika izmantotas sekojošas interneta saites:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf,

<https://pycom.io/product/lopy4/>,

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf,

<https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>,

<https://store.micropython.org/product/PYBv1.1>,

<https://store.micropython.org/product/PYBLITEv1.0-AC>,

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp432p401r.pdf>,

<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/15a7/0900766b815a7a6c.pdf>.

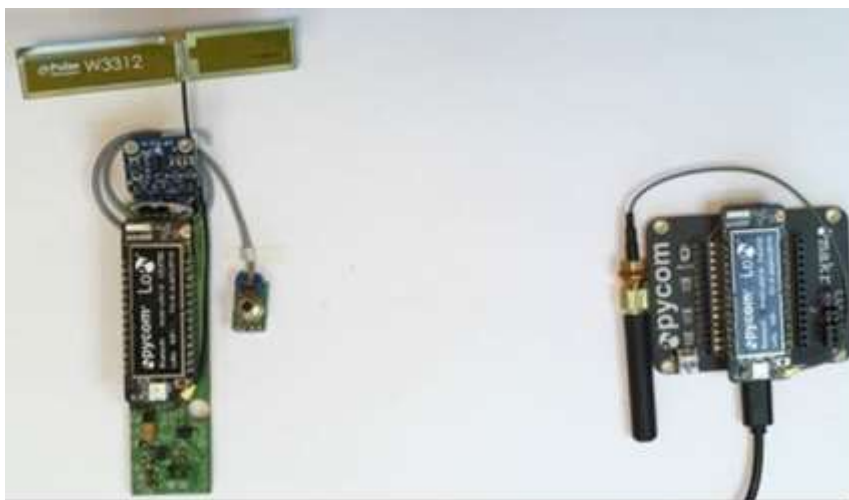
No enerģijas taupīšanas viedokļa vispiemērotākais ir mikrokontrolieris MSP432P401R, kam ir arī gatavs modulis un microSD atbalsts. Diemžēl iztrūkst MicroPython un LoRa atbalsts. Tas nozīmē ievērojamu papildus programmatūras izstrādes un skaņošanas darbu apjomu. Papildus nepieciešama LoRa modulis SX1276. Ir izskatīti papildu varianti:

- STM32F405RGT6 un STM32F411RET6 ir gan labi enerģijas taupīšanas rādītāji, gan izvirzīto prasību atbalsts. Papildus ir nepieciešams LoRa modulis SX1276.
- ESP32-D0WD izpilda visas atbalsta prasības. Ir ļoti daudz gatavu moduļu. Pielietojuma vajadzībām tiek vērtēti LoPy4 un ESP32-WROOM. LoPy4 priekšrocība ir tāda, ka tajā ir iebūvēts LoRa SX1276 modulis.
- ESP32-WROOM ir papildus ir nepieciešams LoRa modulis SX1276. Izvēles veikšanai ir nepieciešami papildus enerģijas patēriņa mērījumi.

2019. gada janvārī tika uzsākta mikrokontroliera ESP32 ļoti zema patēriņa (Ultra Low Power – ULP) kopprocesora atbalsta programmatūras – ULP kopprocesora bibliotēkas izstrāde. Ir izveidota Python3 funkciju bibliotēka pamatdarbībām ar ULP kopprocesoru. Uzsākta ULP kopprocesora bibliotēkas komponentu testēšana.

Turpinās aparatūras izvērtējums MQTT pielietojumam bolusa datu pārraides vajadzībām. Tiek izvērtēta iespēja izmantot MQTT pielietojumā ESP32 WROOM, ESP32 VROVER vai LoPy4 mikrokontrolierus un atbilstošu maršrutētāju.

Koncepcijas pārbaudei tika izveidota datu pārraides sistēma, sastāvoša no 2 LoPy moduļiem, kas parādīta 2.2. attēlā. Pirmais LoPy modulis ar temperatūras sensoru imitē bolusā ievietojamo elektronikas moduli. Otrais LoPy modulis imitē bolusa datu uztveršanas ierīci.

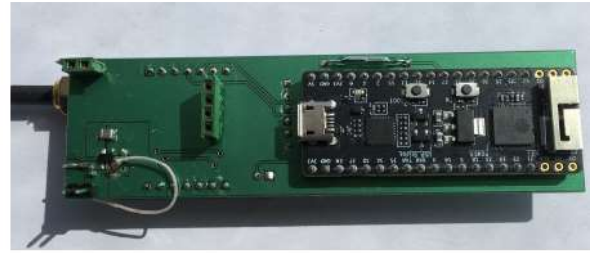
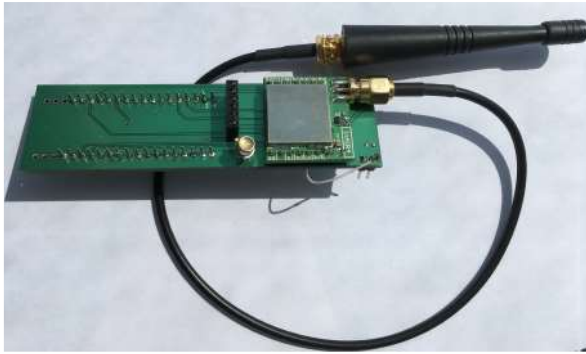


2.2.attēls. Datu pārraides sistēma, sastāvoša no 2 LoPy moduļiem

- Mikrokontrolieris ESP32 ar LoRa raiduztvērēju
- 2 procesori, 1 maza patēriņa kopprocesors
- Radiofrekvence 869 MHz, jauda 2dBm (3mW)
- Tiek aplūkoti 3 darbības režīmi:
 - ULR – Ultra Low Processor. RTC – Real Time Control.
 - Enerģijas patēriņš: gulēšanas režīms – 80%; mērīšanas – 14%; raidīšanas – 6%.

2019. gada jūlijā tika uzprojektēta un izgatavota bolusa elementu komutācijas plates kārtēja versija, kas parādīta attēlos 2.3.a un 2.3.b.

2.3.a attēlā ir parādīts LoRa raiduztvērēja modulis ar pieslēgtu antenu. 2.3.b attēlā parādīts mikrokontroliera “ESP32 Pico Kit” modulis. Bolusa elementu komutācijas plates shēma ir attēlota 3. pielikumā. Tika veikta zema enerģijas patēriņa (ULP) kopprocesoru programmatūras, kas veic sensoru nolases, testēšana. Temperatūras sensoru testa mērījumu rezultāti ir attēloti 2. pielikumā.



2.3.attēls. Bolusa elementu komutācijas plates trešā versija, a) ar pieslēgtu antēnu;
b) mikrokontroliera “ESP32 Pico Kit” modulis

SARA diagnostikas sistēmas un sensoru izstrāde un adaptācija

Septembrī turpinās ISFET sensora atbalsta elektroda moduļa izstrāde. Notiek izveidotā atbalsta elektroda konstrukcijas pilnveidošana. Tiek izstrādāta programmatūra pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plates datu reģistrēšanai, uzkrāšanai un analīzei.

Diagnostikas bolusa elektronikas komponentu izstrāde un adaptācija

Septembrī tiek pabeigta izstrādātās un uzprojektētās pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plates shēmu pārbaude. Novērstas atklātās nepilnības un veikti elektriskās shēmas uzlabojumi barošanas trokšņu samazināšanai. Plates dokumentācija nosūtīta drukātās plates izgatavotājam.

Tika turpināta Semtech SX1276 433MHz raiduztvērēju darba režīmu pārbaude, izmantojot ESP32 mikrokontrolieri un 1 viļņa dipola antenu pie dažādām raidītāja izejas jaudām un dažādiem raidītāja parametriem optimālākā enerģijas režīma noteikšanai. Turpinājās arī darbs pie ESP32 mikrokontroliera ar Semtech SX1276 433 MHz raiduztvērēju un LoPy4 sakaru pilnveidošanas, testējot darbības režīmus, kas ir nepieciešami datu pārraidei no bolusa. Tika pārbaudīta Semtech SX1276 433MHz raiduztvērēju spēja pārraidīt maksimāli pieļaujamo informācijas apjomu vienasakaru seansa laikā.

Pabeigta WEB saskarnes programmatūras 1.versija ar SARA mērījumu mājas lapu, kas tiks demonstrēta 10.oktobra sanāksmē, lai saņemtu potenciālo lietotāju vērtējumu un ieteikumus saskarnes un mērījumu mājas lapas pilnveidojumiem.

2.2. Mikrokontrolieru datu apstrādei izvēle un pielāgošana diagnostikas risinājumam

Novembra mēnesī galvenā uzmanība tika veltīta diagnostikas bolusā pielietojamo elektronikas komponentu darbības režīmiem un tiem nepieciešamo enerģijas patēriņam.

Tika izvērtēta ESP32 mikrokontrolieru darbības režīmi un paredzamais enerģijas patēriņš katrā no tiem. Tika izdalīti 3 galvenie mikrokontrolieru darbības režīmi: tukšgaita, mērāmo datu iegūšana, datu pārraide. Aptuvenais strāvas patēriņš: tukšgaitā ir aptuveni 0,2mA; mērāmo datu iegūšanas laikā ir 2-4mA; datu pārraides laikā ir 60-80mA. Šīs vērtības ir aptuvenas, un to precizēšanai ir nepieciešams veikt papildu mērījumus.

Tiek atzīts, ka mikrokontroliera normālais darbības režīms ir tukšgaita. Tukšgaitas režīmā mikrokontrolierim ir mazs strāvas patēriņš, bet, tā kā strāvas patēriņš ir nepārtraukts, tad tukšgaitas režīms nosaka kopējo patēriņu. Mikrokontroliera pārslēgšanās no tukšgaitas režīma uz mērāmo datu iegūšanu vai datu pārraidi notiek periodiski. Periodiskumu nosaka uzdotā laika intervāla vērtība. Mūsu gadījumā mērāmo datu iegūšanas intervāls ir 10 minūtes. Datu pārraides intervāls ir 12 stundas. Diennakts enerģijas patēriņa noteikšanai ir paredzēts veikt mikrokontroliera strāvas patēriņa mērījumus pie uzdotā periodiskuma.

Balstoties uz iepriekš veikto izpēti, 2019. g. martā tika veikta mikrokontroliera “ESP32 Pico Kit” moduļa, kas parādīts 2.2.1. attēlā, iegāde.



2.2.1. attēls. “ESP32 Pico Kit” modulis

Šis modulis līdzīgs citiem ESP32 moduļiem, bet atšķiras ar izmēriem un daudz mazāku komponentu skaitu uz plāksni, jo komponentes ir integrētas mikrokontroliera mikroshēmā. Mikrokontroliera plāksnes izmēri ir 52 x 20.3 mm. Tika pārbaudīta jau izstrādāto programmu savietojamība ar “ESP32 Pico Kit” moduļa aparatūru. Testējot programmatūru, atšķirības programmu darbībā netika konstatētas.

ESP32 ULP kopprocesoram ir uzrakstīts I2C dzinis, kas ļauj nolasīt bolusa sensorus pie dažādu 10 μ A liela strāvas patēriņa. Tiek veikta I2C dzināja pārbaude, pilnveidošana un testēšana. Pašreizējais ULP dzinis aizņem 1024 baitus lielu ULP atmiņas apjomu.

SARA diagnosticēšanas sistēmas un sensoru izstrāde un adaptācija

Atskaites posmā turpinās ISFET sensora atbalsta elektroda moduļa izstrāde. Notiek izveidotā atbalsta elektroda konstrukcijas pilnveidošana. Tiek izstrādāta programmatūra pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plāksnes datu reģistrēšanai, uzkrāšanai un analīzei.

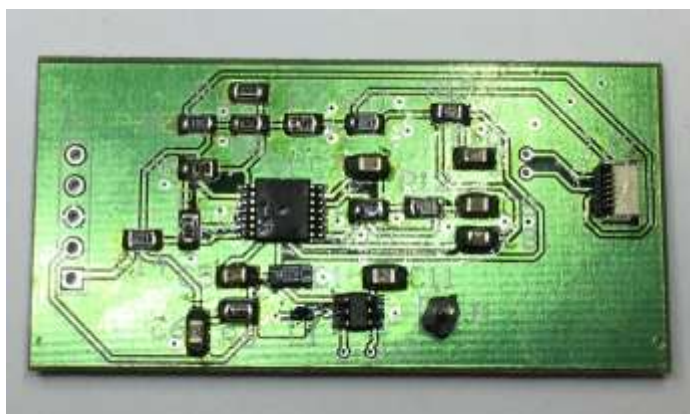
Diagnosticēšanas bolusa elektronikas komponentu izstrāde un adaptācija

Ir pabeigta izstrādātās un uzprojektētās pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plates shēmu pārbaude. Novērstas atklātās nepilnības un veikti elektriskās shēmas uzlabojumi barošanas trokšņu samazināšanai. Plates dokumentācija nosūtīta drukātās plates izgatavotajam.

Tika turpināta Semtech SX1276 433MHz raiduztvērēju darba režīmu pārbaude, izmantojot ESP32 mikrokontrolieri un 1 viļņa dipola antenu pie dažādām raidītāja izejas jaudām un dažādiem raidītāja parametriem optimālākā enerģijas režīma noteikšanai. Turpinājās arī darbs pie ESP32 mikrokontroliera ar Semtech SX1276 433 MHz raiduztvērēju un LoPy4 sakaru pilnveidošanas, testējot darbības režīmus, kas ir nepieciešami datu pārraidei no bolusa. Tika pārbaudīta Semtech SX1276 433MHz raiduztvērēju spēja pārraidīt maksimāli pieļaujamo informācijas apjomu viena sakaru seansa laikā.

Pabeigta WEB saskarnes programmatūras 1.versija ar SARA mērījumu mājaslapu, kas tiks demonstrēta 10. oktobra sanāksmē, lai saņemtu potenciālo lietotāju vērtējumu un ieteikumus saskarnes un mērījumu mājaslapas pilnveidojumiem.

Izprojektētā un izgatavotā pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plate ir parādīta 2.2.2. attēlā. Uzsākti plates pābaudes un lāgošanas darbi.



2.2.2. att. pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plate

Tika strādāts pie Web interfeisa pilnveides, kā arī veikta problēmu analīze un atrasti to risinājumi.

N.p.k.	Problēma	Risinājums
1	“Slīdoša” grafika izveide, kas <i>atspoguļotu</i> vidējus mērījumus par pēdējām 3 stundām	Tiks izveidots vēlāk noslēguma fāzē, kad programmatūra veiksmīgi darbosies
2	Trauksmes celšana. Pēc cik mērījumiem, ja tiek pārkāpts bīstamais sliekšnis?	Jānosaka nepieciešamais mērījumu skaits un sliekšņa vērtība
3	Kur sūtīt trauksme signālu: uz telefonu, e-pastu, vai ieslēgt fermā sarkano lampu	Sākotnēji var izveidot tā, lai izsuta e-pastu, vēlāk, iespējams risināt problēmu

	u.t.t.?	ar mobilās lietotnes palīdzību
4	Vai varētu "ritināt" grafiku, pārskatot dienu pēc dienas mērījumus?	Web lapā pagaidām tas nebūs, ja nepieciešams jāņem pilns CSV eksports un jāskatās dati ar citu programmu. Ja būs nepieciešams, var beigās, kad viss pārējais jau ir gatavs
5	Cik bieži sūtīt sakrātus datus uz serveri? Vai 2 reiz dienā ir pietiekoši?	Pašlaik ir paredzēts sūtīt datus uz serveri 3x dienā.
6	Nedēļas grafiks: cik daudz mērījumi jābūt parādītam vienā dienā? Pašreiz ir 1 mērījums – it kā par maz?	Ir veikts labojums, tagad nedēļas skatā katrai dienai ir 3 mērījumi (vidējā vērtība ik pa 8 stundām)

Atskaites periodā noritējis darbs pie pH sensora analogā signāla pastiprinātāja plates pārbaudes un lāgošanas. Analizētas iespējas, kā inicializēt bolusā ievietoto mikrokontrolieri.

Izskatītas divas iespējas. Viena iespēja ir izmantot herkona slēdzi, ko ieslēdz pieliekot bolusa korpusam magnētu.

Otra iespēja ir izmantot Holla efekta sensoru, ko arī ieslēdz, pieliekot magnētu. Tika veikta abu risinājumu parametru salīdzinošā analīze, kas attēlota sekojošā tabulā:

N.p.k.	Parametrs	Holla efekta sensors	Herkona slēdzis
1	Iedarbības attālums	Līdz 20 mm	Līdz 40 mm
2	Izejas prasības	Pastāvīga strāva >10mA	Nav
3	Elektroniskais aprīkojums	Ir nepieciešams	Nav
4	Pastāvīgs barošanas spriegums	Ir nepieciešams	Nav
5	Detektēšanas ķēde	Ir nepieciešama	Nav
6	Izejas jutība pret polaritāti	Kritiska	Nav
7	Noslēgtas ķēdes pretestība	> 200 Ω	0.050 Ω
8	Pārslēgšanās reižu skaits pie > 5V un 10 mA	> 1 miljards reižu	> 1 miljards reižu
9	ESD aizsardzība	Ir nepieciešama	Nav

10	Vibrācija	> 50 g	10 g
----	-----------	--------	------

No salīdzinātajiem 10 parametriem, tikai vienā, vibrācijās, Holla efekta sensors pārspēj herkona slēdzi. Papildus tika analizēti vēl 17, mūsu pielietojumam nebūtiski, parametri, bet nevienā Holla efekta sensors nepārspēja herkona slēdzi. Tā kā mūsu pielietojumam vibrācija nepārsniedz 10 g, tad bolusa aktivizēšanai tiks izmantots herkona slēdzis. Mūsu sākotnējais pieņēmums, ka Holla efekta sensora risinājums varētu būt energoefektīvs, bija kļūdainis.

Papildus tika izvērtēti risinājumi, kas ļautu ekonomēt enerģijas patēriņu bolusā, izmantojot mikrokontrolleri ESP32 ar “dziļā miega” enerģijas taupīšanas režīmu (deep-sleep), kurā strādā tikai reālā laikā pulkstenis (RTC) un ultrazemā patēriņa kopprocesors (ULP – Ultra Low Power Coprocessor). Sensoru rādījumu lasīšanu un uzkrāšanu veic ULP, bet ESP32 CPU veic uzkrāto datu apstrādi, un to raidīšanu, izmantojot LoRa raiduztvērēju. Darba gaitā radās hipotēze, ka varētu ietaupīt CPU enerģijas patēriņu, samazinot pārraidāmā mērījumu datu masīva apjomu. Apjoma samazināšanu var sasniegt, pielietojot datu kompresijas metodes.

Tika izveidota programmatūra datu pārsūtīšanai pie dažādu mērījumu skaita bez kompresijas. Tika veikti laika mērījumi, un uzņemti CPU darbības laiki bez kompresijas pie dažāda raidāmo datu apjoma, kas atkarīgs no veikto mērījumu skaita.

Laika testa tabula bez kompresijas:

Mērījumu skaits	Pakotņu skaits	CPU darbības laiks [s]
1	1	4,22
5	1	4,23
10	2	5,46
20	3	6,11
30	5	10,22
40	7	12,84
48	8	14,5

LoRa raiduztvērēja īpatnība ir tā, ka bufera izmērs nepārsniedz 255 baitus. Mēs izvēlējāmies mazāku vienas pakotnes apjomu - 200 baitus. Veicot 48 mērījumus, pakotņu skaits ir 8 un, nepielietojot datu kompresiju, CPU darbības laiks ir 14,5 sekundes.

Izmantojot datu kompresiju, samazinātos pakotņu skaitu un samazinātos arī datu pārraidei nepieciešamais CPU darbības laiks. Tika izmēģināti vairāki kompresijas algoritmi DEFLATE, LZW un LZSS. Pirmos 2 nevarēja izmantot ESP32 ierobežotā atmiņa apjoma dēļ. LZSS kompresija saspieda 48 mērījumus 4 pakotnēs, taču kopējais patērētais CPU laiks bija 23 sekundes, kas nozīmē, ka kompresijas veikšanai tiek patērētas ~ 15 sekundes bet pakotņu pārraidei ~ 8 sekundes, rēķinot 1 pakotnes pārraides laiku - 2s.

Līdz ar to LZSS kompresiju nav mērķtiecīgi izmantot ESP32 mikrokontrolerī, jo neizmantojot datu kompresiju, CPU darbības laiks ir 14,5 sekundes, bet, izmantojot kompresiju, CPU darbības laiks pieaug līdz 23 sekundēm.

Diagnoscēšanas bolusa elektronikas komponentu izstrāde un adaptācija

1. Sagatavošanās bolusa izmēģinājumiem.

Lai sagatavotos bolusa darbības pārbaudei, tika veikti vairāki priekšdarbi. Tika apsvērta iespēja bolusa izmēģinājumu laikā, kad boluss ir hermētiski noslēgts, papildus, bolusā ievietotajai Lion baterijai, pieslēgt ārēju līdzīgu vai lielākas ietilpības Lion bateriju. Tas ļautu taupīt bolusa baterijas enerģiju, veicot dažādus eksperimentus bolusa pārbaudei. Bolusa korpusā šim nolūkam būtu izveidots iegremdēts mikro spraudnis ārējās Lion baterijas pieslēgšanai un bolusa iekšienē būtu nepieciešams papildus komutācijas mezgls Lion bateriju saslēgšanai. Vienkāršākais komutācijas mezgla risinājums ir 2 paralēli saslēgtas Šotki diodes, ko mūsu gadījumā nevar pielietot, jo sprieguma kritums uz Šotki diodes ir apmēram 0,3V. Tas būtiski samazina bolusa Lion baterijas, kuras spriegums ir 3,7V izmantošanas ilgumu. Tāpēc mēs izvēlamies ideālās diodes risinājumu, skat.:

<https://www.analog.com/en/products/ltc4358.html#product-overview>

<https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/amplifiers/MAX40200.html>

Sākotnēji izvēlamies Analog Devices LTC4412:

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4412fb.pdf>

Tomēr tāpēc, ka LTC4412 ir nepieciešams ārējs MOSFET tranzistors, izvēlamies MAX40203 5-pin SOT-23.

<https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/analog-switches-multiplexers/MAX40203.html>

Saziņas pilnveidošana ar bolusa lietotājiem.

Saziņas pilnveidošanai ar lietotājiem, tika pārbaudīta iespēja nosūtīt ārkārtas ziņojumu lietotājam kā mobilā telefona īsziņu. Īsziņa varētu saturēt informāciju par ievērojamām novirzēm sensoru rādījumos. Realizācija ir aprakstīta 1.pielikumā. Paredzēts, ka modems varētu tikt pievienots bāzes stacijai un tikt izmantots ārkārtas ziņojumu nosūtīšanai.

Diagnoscēšanas sistēmas testēšana un optimizācija

Bolusa sensoru rādījumu pareizības un precizitātes pārbaude

Bolusa sensoru nolases tiek veiktas, regulāri izpildot ULP (ultrazemas enerģijas patēriņa) kopprocesora programmu. ULP programma veic sensoru nolases ik pēc 10 minūtēm. Lai samazinātu enerģijas patēriņu, barošanas spriegums +3.3V nav pieslēgts sensoriem un signāla

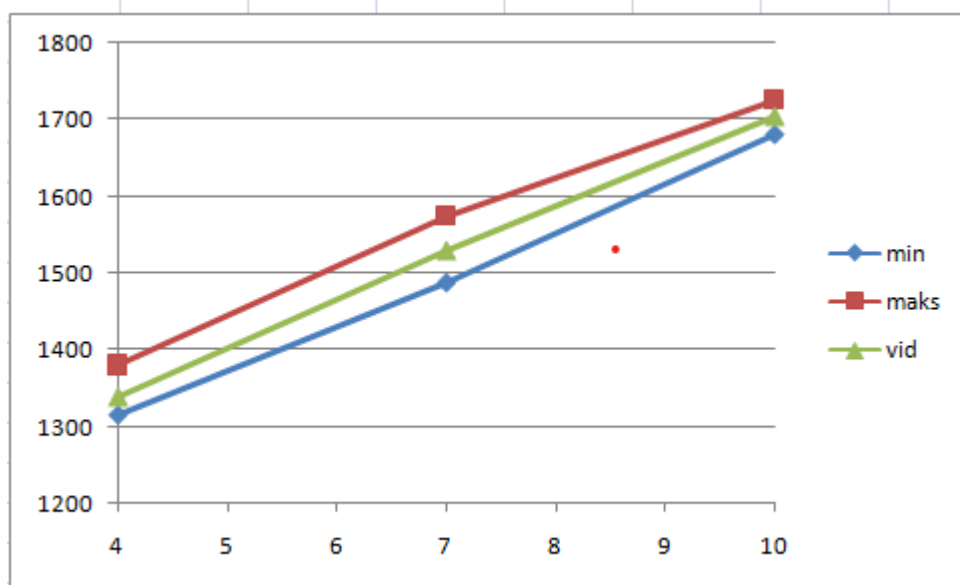
pastiprinātajiem. Sensori un signālu pastiprinātāji patērē ~4mA. Barošanas spriegumu pieslēdz uz dažām sekundēm mērījumu veikšanas laikā un tad atslēdz. Tika pieņemts, ka laiks, dažas sekundes, varētu būt nepietiekošs precīzu rezultātu iegūšanai. Tāpēc tika veikti mērījumi, pieslēdzot barošanas spriegumu pastāvīgi un veicot mērījumus ar ACP komandu virkni:

```
import machine
adc=machine.ADC(33)
adc.atten(adc.ATTN_11DB)
adc.collect(0.1, len=12)
adc.stopcollect()
adc.collected()
```

– dod rezultātu: pH min, maksimālo un vidējo vērtību.

Mērījumi tika veikti ievietojot pH buferšķīdumos ar vērtībām 4.0, 7.0 un 10.0.

Mērījumu rezultāti ir parādīti 2.2.3.attēlā.



2.2.3. attēls pH sensora vērtību izkliedes

Bolusa sensoru rādījumu reģistrēšana un uzkrāšana

Gatavojoties eksperimentiem ar bolusu, tika papildus izveidots datu uzkrāšanas modulis, kas sastāv no Raspberry Pi 3 datora ar 7" ekrānu, uz kura ir instalēta Ubuntu 20.10 servera versija. Šī ierīce ir rezerves iespēja, papildus iespējai uzkrāt mērījumu datus EDI SARA projekta webserverī. Dati tiek saglabāti Raspberry Pi un, ja nepieciešams, var tikt nolasīti. Ekrāns ļauj sekot līdz nolašu procesam, jo līdztekus datu uzkrāšanai notiek pēdējo saņemto datu indicēšana uz ekrāna. Pašlaik tiek attēloti nepārveidoti mērījumu rezultāti. Nākotnē tos varētu aizvietot ar pH un temperatūras vērtībām. Datu uzkrāšanas modulis ir parādīts 2.2.4. attēlā.

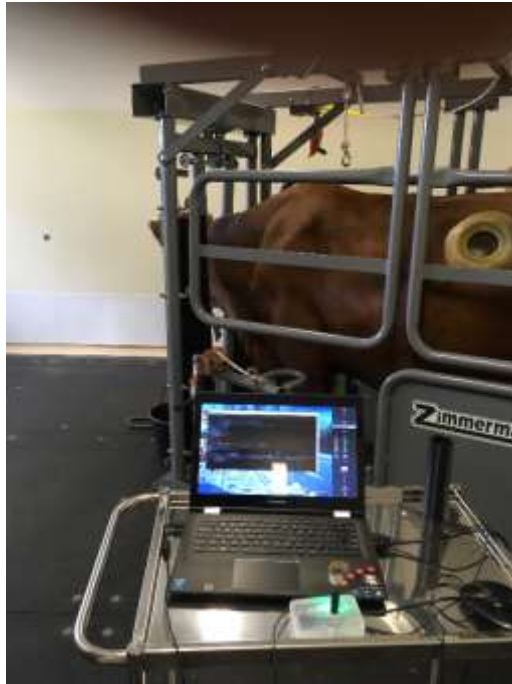


2.2.4. attēls Datu uzkrāšanas modulis

Diagnoscēšanas sistēmas integrācija un testēšana drošos veterinārijas apstākļos Izmēģinājumi lauku apstākļos (LLU)

Tika sagatavots pH bols izmēģinājumiem LLU. Bola svars ir 150 g, diametrs 37 mm un augstums 122 mm. Hermetizēts pH bols tika testēts trīs dienas laboratorijas apstākļos pH7 buferšķīdumā. 22. aprīlī bols tika izmēģināts LLU. Attēlā 2.2.5. ir parādīts izmēģinājumu stends bola testēšanai. Testēšanas mērķis bija pārlicināties:

- 1) ka bols ir pienācīgi hermetizēts;
- 2) ka pH bola raiduztvērējs spēj noraidīt savākto informāciju;
- 3) ka bola sensori funkcionē normāli reālajā mērīšanas vidē.



Attēls 2.2.5. pH bola izmēģinājumu stands

Bols veica 12 temperatūras un pH mērījumus un noraidīja tos ar vienu 152 baitu sūtījumu.

(2021, 4, 22, 16, 17, 29, 3, 112) -131

e1641;2623;2500;2;**1482**[**3389**;3;**1421**;**4558**;>1>16;dm37=5;13+5910;6;**1396**;5°4;7;15;;x3»
98;13<7k**1436**;9;13##;##bf=1;;!φ18;**5020**«8š{=?4X?7Rbd;42«14;1;5PòtW

Attēls 2.2.6. No pH bola reālos apstākļos saņemtā informācija

Datums un laiks: 2021.g. 22.aprīlis 16.17:29. Uztvertā signāla stipruma indikators (RSSI) ir -131. Laboratorijas apstākļos RSSI mainās no -40 līdz -80. Bola adrese: **e164**.

Saņemto un sūtīto baitu skaits sakrīt – 152. Informācija ir ar kropļojumiem. Pirmie trīs mērījumi ir salasāmi. Tad sākas kropļojumi, bet vēl trīs skaitļus var atpazīt, 6., 8., un 10. mērījumā. Sarkanajā krāsā ir derīgie mērījumi.

Kopumā izmēģinājums bija sekmīgs, jo tika iegūti pieņemami rezultāti. Nepieciešams optimizēt pH bola raiduztvērēja parametrus, padarot tos vairāk piemērotus vāju signālu pārraidei. Šie parametri ir kodēšanas ātrums (coding rate) un izplatīšanās faktors (spreading factor). Tāpēc ir nepieciešams veikt izmaiņas pH bola programmatūrā, lai varētu izvērtēt parametru tādu kombināciju, kas dod vislabākos rezultātus vāju signālu uztveršanā.

Mērījumu apkopojums un to pārveidojums pH un temperatūras vērtībās ir parādīts tabulā.

Bola mērījumu apkopojums un pārveidojums.

Mēr. Nr.	pH kods	pH vērtība	Temperatūras kods	Temperatūras vērtība °C
2	1482	7.8	3389	26.5
3	1421	6.9	4558	35.6
6	1396	6.5	-	-
8	1436	7.1	-	-
10	-	-	5020	39.2

Novērtējot iegūtos mērījumus, kopumā tie ir apmierinoši. Detalizētākas analīzes veikšanai ir nepieciešami vairāk mērījumu.

Diagnoscēšanas sistēmas integrācija un testēšana drošos veterinārijas apstākļos

Bolusa aparatūras optimizācija

Lai panāktu stabilu eksperimentu mērījumu datu saņemšanu no govju bolusa, tika veikti LoRa radio datu pārraides izmēģinājumi pie vāja uztverama signāla līmeņa, (signāla stipruma indikators (RSSI) ir < -120). Tika izvēlēti 3 pārraidāmā signāla parametri:

- 1) pārraidāmā signāla jauda;
- 2) kodēšanas ātrums (CR);
- 3) izplatīšanās faktors (SF).

Mainot pārraidāmā signāla parametru vērtības, tika noskaidrots optimālais risinājums. Uzreiz atklājās, ka pārraidāma signāla jaudas palielināšana nenodrošina optimālo risinājumu, jo palielinot pārraides jaudu ievērojami palielinās strāvas patēriņš, kas redzams tabulā.

Kopējā strāvas patēriņa atkarība no pārraidāmā signāla jaudas

N.p. k.	Signāla jauda mW	Signāla jauda dBm	Kopējais strāvas patēriņš mA pie 160Mhz procesora frekvences
1	1.58	2	81 - 84
2	2.5	4	89 - 91
3	6.3	8	111 - 116
4	25	14	140 - 144

CR vērtības var mainīt robežās no 5 līdz 8. SF vērtības var mainīt robežās no 6 līdz 12. Variējot un izmēģinot dažādas CR un SF vērtības, tika izvēlēta vērtību kombinācija CR=8 un SF=10. Šāda parametru kombinācija nodrošina optimālu signāla uztveršanu. Optimāla uztveršana nozīmē, ka tiek nodrošināta vāju signālu uztveršana un arī pietiekams signāla pārraides ātrums. Parametru vērtības tika mainītas programmatūras konfigurācijas datnē. Aparatūrā nekādas izmaiņas netika veiktas.

Izmēģinājumi lauku apstākļos (LLU)

Tika turpināti pH bolusa izmēģinājumi LLU ar uzlabotām bolusa raiduztvērēja parametru vērtībām. 19.05.2021. plkst.11.00 tika ievietots pH boluss govs VIDA spureklī. 1. attēlā parādīts izmantotais radiosignāla uztvērējs ar attālinātas vadības ierīci, kas ļauj attālināti vadīt un kontrolēt uztvērēja darbību. Notika 3 radiosignāla uztveršanas seansi plkst.13.09, 15.09 un 17.09. Uztveramā radiosignāla RSSI bija -104, kas garantē pietiekošu lielu signāla uztveršanas drošības rezervi.



2.2.7. attēls. Bolusa radiosignāla uztvērējs ar attālinātas vadības ierīci

Vairāk datu pārraides seansu ar bolusu nenotika. Izņemot pH bolusu no spurekļa, tika atklāta plaisa bolusa korpusa apakšējā daļā. Tas varēja būt cēlonis šķidruma nokļūšanai bolusā, kas apstādina bolusa darbību. Plaisas veidošanās var būt saistīta ar bolusa vairākkārtīgu izmantošanu. Lai eksperimentus varētu turpināt, tiek veikta jaunu bolusu korpusu izgatavošana.

Eksperiments parādīja, ka bolusa īpatnējam ***svaram un svara sadalījumam bolusā ir liela nozīme, lai boluss nemainītu savu atrašanās vietu.*** Tāpēc jaunā bolusa korpusā ir paredzēts ievietot papildus svaru, lai palielināt bolusa īpatnējo svaru.

Bolusa aparatūras testēšana

Kalibrējot pH sensorus un veicot ar tiem mērījumus, iegūtie rezultāti ir ļoti atšķirīgi pēc to atkārtojamības un pēc to precizitātes. Var teikt, ka, ja pH sensoru mērījumu rezultātu precizitāte ir zema, tad rezultātu atkārtojamība arī būs vāja. pH sensoru veido 2 atsevišķas komponentes: ISFET elements un references elektrods, pret kuru tiek mērīts ISFET elementa potenciāls. Līdz ar to mērījumu kvalitāti vienlīdz ietekmē abas komponentes. Pēc pH sensoru komponentu uzglabāšanas ir nepieciešams zināms laiks no 2 līdz 8 stundām, lai normalizētos pH sensoru elementu darbība un to mērījumos iegūtie rezultāti būtu atkārtojami. Tika arī konstatēts, ka pH sensora precizitāti būtiski neietekmē izmantojamais barošanas veids - 3.6V baterija vai barošanas avots, un izmantotais darbības režīms Pašlaik ir veikti eksperimenti ar 2 pH sensoru

komplektiem: SARA-1 un SARA-5, no kuriem SARA-5 uzrāda labu precizitāti un stabilitāti, bet SARA-1 rādījumi ir ar lielu izkliedi.

SARA-5 pH sensora vērtības pH10 buferšķīdumā

N.p.k.	pH vērtība	Temperatūras vērtība
1	10.0059	30.6
2	10.0050	30.9
3	10.0053	30.9
4	10.0031	31
5	10.0047	31.2
6	10.0019	31.4
7	10.0078	31.2
8	10.0084	31
9	10.0069	30.9
10	10.0094	31
11	10.0119	31.6
12	10.0031	31.4

Izmēģinājumi lauku apstākļos (LLU)

Tika turpināti pH bolusa izmēģinājumi LLU ar palielinātu bolusa svaru 221 g un izmainītu bolusa hermetizācijas procedūru. 9. jūnijā hermetizēja SARA-1 bolusu un ievietoja pārbaudei pH10 buferšķīdumā. 11. jūnijā plkst. 10.30 tika ievietots SARA-1 pH boluss govs VIDA spureklī. Tika uzsākti SARA-1 bolusa pārbaudes mērījumi. SARA-1 boluss sūtīja datus līdz 17. jūnijam plkst. 23. Pēc tam netika reģistrēta datu saņemšana no SARA-1 bolusa. 22.jūnijā boluss tika izņemts no spurekļa. Datu sūtīšanas pārtraukšanas cēlonis vēl nav noskaidrots. Ir tikai skaidrs, ka cēlonis nav baterijas izsīkšana, jo ievieojot bateriju 9.jūnijā, tās spriegums bija 3,678V, bet izņemot 22.jūnijā baterijas spriegums bija 3.662V, kas ir darba spējīgs spriegums.

Diagnoscēšanas sistēmas pilnveide un testēšana lauka apstākļos

Bolusa korpusa pilnveidošana

Bolusa izgatavošanai, lai to izmantotu lauka apstākļos, tika izmantots materiāls (PEI 1010), kas ir mehāniski izturīgs, pilnīgi nekaitīgs dzīvniekiem un iztur augstas temperatūras. Attēlā 2.2.8. ir parādīts salikta bolusa korpuss. Attēlā 2.2.9. ir parādītas bolusa 4 sastāvdaļas: 1 - korpusa augša, 2 - korpusa apakša, 3 - apakšas uzmava sensoru aizsardzībai un 4 - iekšējā čaula mikrokontroliera plates un pH elektrodu nostiprināšanai.



Attēls 2.2.8. Bolusa kopskats



Attēls 2.2.9. Bolusa sastāvdaļas

Savienojumu hermētiskuma nodrošināšanai izmanto speciālu elektronikai paredzētu silikona hermētiķi.

Bolusa mikrokontroliera programmatūras pilnveidošana

Ir uzsākta bolusa mikrokontroliera programmatūras pilnveidošana, kuras mērķis ir panākt pārraidāmo datu zudumu novēršanu. Eksperimentu laikā tika novēroti pārtraukumi informācijas saņemšanā no bolusa. Dažreiz šie pārtraukumi ir novēroti naktī, bet dažreiz dienā. Dienas pārtraukumi bija izskaidrojami ar govju iziešanu ganībās. Iespējamais nakts pārtraukumu cēlonis ir datu pārraidei nelabvēlīgs bolusa novietojums dzīvniekam guļot, kas traucē datu pārraidi.

Lai novērstu bolusa datu pārraides zudumus, pilnveidojot tiek veiktas sekojošas darbības: 1) Visi mērījumi tiek saglabāti bolusa mikrokontroliera atmiņā 2) pirms datu pārraides bolusa mikrokontrolieris sagaida bāzes stacijas signālu, ka bāzes stacija ir gatava uztveršanai. Tajos gadījumos, kad boluss neuztver bāzes stacijas signālu, datu pārraide nenotiek un tiek atlikta uz nākošo datu pārraides seansu, kas pašlaik ir ik pēc 2 stundām. Šāds risinājums nodrošinātu aizsardzību pret datu zudumiem un novērstu nevajadzīgu datu pārraidi, gadījumos kad datu uztveršana nav iespējama. Pašlaik ir veikti sekmīgi laboratorijas izmēģinājumi testa režīmā. Ir nepieciešams pārveidot mikrokontrolieru darba programmas, lai varētu veikt pārbaudi reālos apstākļos. Laboratorijas izmēģinājumos izmantotā programma ir redzama attēlā 2.2.10.

ESP32 sadarbība ar GSM moduli SIM808

Ir pārbaudīta ESP32 mikrokontrolera komunikācija ar GSM modemu. Realizēta sistēma, kas, izmantojot mobilā telefona tīklu, spēj sūtīt SMS uz jebkuru telefona numuru.

Mēs izvēlējāmies GSM modemu, kas uzbūvēts uz mikroprocesora SIM808 pamata, un modulis ir DevBoard tipa. Adafruit ražotā plate – FONA GSM Modem with GPS.

Mikrokontroleris ESP32 ir DevBoard – ESPRESSIF ražotā plate ESP32-PICO-KIT.

Lai varētu nosūtīt no modema datus uz ESP32 mikrokontrolleru, ir nepieciešams izveidot UART komunikāciju starp modemu un ESP32 un, tad pa UART sūtīt uz modemu AT komandas.

Uz mikrokontrollera ir uzstādīta LoBo Micropython programmatūra (firmware), 2018. gada versija.

Ir uzrakstīta programma ESP32 uz MicroPython (atrodas main.py), kas realizē GSM modema un mikrokontrollera komunikāciju, un arī nosūta SMS uz vienu no mobilajiem telefona numuriem.

Šī programma ir jāielādē ESP32, kā izpildāmais fails main.py direktorijā /flash.

Programma realizē ESP32 UART pinu inicializāciju; tiek sūtītas nepieciešamās AT komandas uz modemu, lai pieslēgtos pie mobilā tīkla. Tiek sūtītas komandas SMS nosūtīšanai.

SMS teksts sūtīšanai tiek paņemts no teksta datnes msgtext.txt.

Strādājot ar FONAS GSM modemu, ir jāņem vērā, ka tas prasa lielu strāvu. Tāpēc, lai varētu to iedarbināt, nepieciešams tam pieslēgt Lion bateriju. Ja pievada tam barošanu tikai no mikrokontrollera, tad modems neieslēdzas, jo strāva ir nepietiekama.

```

1 import machine
2 import time
3 from lora_lib import timelit
4 from machine import Pin
5
6 print("I am awake")
7
8
9 WAIT_TIMEOUT = 2.2 # max waiting time for hello packet from dev 2.
10 MAX_PACKET_LENGTH = 16
11 TRANS_REC_SIZE = 12
12 DEEP_SLEEP_TIME = 100
13 MAX_DATA_RATE = 20 # bytes per second
14
15 lora = None
16
17
18 def callbakck_resp(lora, payload):
19     global val
20     val = True
21     print("received message: ", payload)
22
23
24 def init_lora():
25     global lora
26     from lora_lib import config_lora, sx127x
27
28     # from lora_lib import controller_esp, sx127x
29
30     controller = config_lora.Controller()
31     lora = controller.add_transceiver(sx127x.SX127x(name="LoRa"), pin_id_ss=26)
32     time.sleep(0.1)
33     # lora.onReceive(27, callbakck_resp)
34
35
36 def check_lora_avail():
37     start_time = time.time()
38     while time.time() - start_time < WAIT_TIMEOUT:
39         if lora.receivedPacket():
40             payload = lora.read_payload().decode()
41             if payload == "hello_word":
42                 print("Received hello_word!")
43                 time.sleep(0.01)
44                 return True
45             time.sleep_ms(100)
46     print("Not found hello word")
47     return False
48
49
50 def read_sens(): # example function for sensor reading
51     import random
52
53     random.seed(round(time.time() * 1000))

```

```

54     return [round(float(i), 5) for i in range(20)]
55
56
57 try:
58     fi = open("data.txt", "r+")
59 except OSError:
60     fi = open("data.txt", "w+")
61
62 all_records = fi.readlines()
63
64 print("reading sensors")
65 cur_time = time.time()
66 cur_record = (
67     ", ".join([str(col) for col in ([len(all_records), cur_time] + read_sens())]) + "\n"
68 ) # create string from read data
69 fi.write(cur_record)
70 fi.close()
71
72 all_records.append(cur_record)
73 print("Appended to current records, len: ", len(all_records))
74
75 if len(all_records) % TRANS_REC_SIZE == 0:
76     print("time to send packets")
77     import os
78
79     init_lora()
80     if check_lora_avail():
81         send_bytes = bytes("".join(all_records), "ascii")
82         packets_amount = len(send_bytes) // MAX_PACKET_LENGTH
83         print(
84             "sending bytes: ",
85             len(send_bytes),
86             " in ",
87             packets_amount,
88             " packets ",
89         )
90         last_send = 0
91         for i in range(0, len(send_bytes), MAX_PACKET_LENGTH):
92             sleep_time = MAX_PACKET_LENGTH / MAX_DATA_RATE - (time.time() - last_send)
93             if sleep_time > 0:
94                 time.sleep(sleep_time)
95             print(
96                 "Sending buffer: ", send_bytes[i : i + MAX_PACKET_LENGTH], " ", end=""
97             )
98             last_send = time.time()
99             lora.println(send_bytes[i : i + MAX_PACKET_LENGTH])
100         os.remove("/flash/data.txt") # remove file
101     lora.sleep() # go to sleep mode
102
103
104 print("going deepsleep")
105 machine.deepsleep(DEEP_SLEEP_TIME)

```

Att. 2.2.10. Mikrokontrolieru datu pārraides programma ar uztvērēja gatavības pārbaudi

Jaunas mikrokontroliera plates izstrāde

Veicot diagnosticēšanas sistēmas pārbaudes un testēšanu laboratorijas apstākļos, nonācām pie slēdziena, ka nepieciešams izstrādāt jaunu mikrokontroliera plati, lai: 1) samazinātu plates izmērus ievietošanai bolusā; 2) samazinātu plates enerģijas patēriņu, noņemot no plates neizmantojamās mikroshēmas; 3) pilnveidot atsevišķu funkcionālo mezglu ieslēgšanu un izslēgšanu. Plates izstrāde ir uzsākta. Izstrāde tiks pabeigta februārī.

Bolusa korpusa materiāla izvēle izmēģinājumiem

Sākotnēji tika paredzēts bolusa korpusu izgatavošanai izmantot materiālu PEI 1010. Šim materiālam ir teicamas termiskās un mehāniskās īpašības. Tas ir sertificēts izmantošanai pārtikas rūpniecībā. Taču materiāla specifika prasa to izmantot visu uzreiz, jo tas uzsūc mitrumu un nav atkārtoti izmantojams bez speciālas apstrādes. Tāpēc bolusa izgatavošanas izmēģinājumiem esam paredzējuši izmantot PLA, kas arī ir nekaitīgs dzīvniekiem, atstājot materiālu PEI 1010 gala produkta izgatavošanai.

2.3. Autonoma elektroapgādes sistēmas un bezvadu uzlādes ierīces izstrāde un aprobācija

2.3.1. Autonoma elektroapgādes sistēmas, kura izmanto bateriju kā elektroapgādes avotu, izstrāde un aprobācija.

Sākotnējā izstrādes posmā tika veikts darbību kopums, lai atrastu tādus enerģijas uzkrājējus, kuri būtu piemēroti izstrādājamās iekārtas barošanas vajadzībām.

- Pirmkārt, tika atlasītas nelādējamās baterijas, kuras ir ar pietiekami ilgu derīguma termiņu.
- Otrkārt, tika atlasītas tās baterijas, kuru gabarīti atbilst izstrādājās iekārtas prasībām.
- Rezultātā tika iegūts saraksts ar baterijām, kuras ir komerciāli pieejamas.
- Sarakstā ir dota informācija par bateriju enerģētisko ietilpību.

Tālākai darbībai ir nepieciešama informācija par iekārtas elektroenerģijas patēriņu, lai noskaidrotu, kura no atlasītajām baterijām ir piemērota sistēmas barošanai.

2.3.2.tabula. Tiek izvērtēti bateriju izmantošanas dažādi scenāriji

Konfigurācija	1 gab. D	2 gab. D	1 gab. C	2 gab. C
Izmērs (mm)	34,2x61,5	34,2x123	26,2x50	26,2x100
Spriegums (V)	3 - 3,6	6 - 7,2	3 - 3,6	6 - 7,2
Kapacitāte (Ah)	11,1 - 19	22,2 - 38	4,8 - 9	9,6 - 18
Cena (EUR)	~28+PVN	~56+PVN	~24+PVN	~48+PVN
1 mēr. E (mWh)	0,38 - 0,65	0,76 - 1,3	0,16 - 0,31	0,33 - 0,62

<= risinājumi izmantojot tipveida D un C izmēra bateriju šūnas
<=diametrs x garums

2.3.3. tabula. Paskaidrojums par enerģijas 1 mērījuma enerģiju:

19	0.052	0.00018	
	365	289	288
kapacitāte Ah	dienas	reizes dienā	12x24

- Ja tiktu izmantota 19Ah baterija, tad katru dienu varētu iztērēt 52mAh
- Ja dienā ik pēc 5 min tiek veikts mērījums, tad vienam mērījumam tiek atvēlētas 0,18mAh
- Sanāk, ka vienam mērījumam nevajadzētu būt apjomīgākam par 0,65mWh pie 3,6V (pieņemti ideāli apstākļi).
- Cena ņemta no starptautiskiem interneta veikaliem.

Pārskata periodā tika izskatītas iespējas bolusa enerģijas nodrošināšanai ar **īstermiņa uzkrājēju**:

- Ja boluss tiktu aprīkots ar iekārtu, kas spēj ražot enerģiju, tad šo enerģiju vajadzētu uzkrāt, lai nodrošinātu vismaz 3 dienu darbību bez enerģijas ģenerācijas.
- Analizējot literatūru, tika noskaidrots, ka šādām vajadzībām varētu tikt izmantotas litija-jonu baterijas ar lielu uzlādes/izlādes ciklu skaitu.
- Alternatīvi varētu izmantot arī superkondensatorus.
- Tika veikta komponentu piegādātāju katalogu analīze un tika noskaidrots, ka D baterijas izmērā ir iespējams iegādāties superkondensatorus ar kapacitāti vismaz 220F pie 2,7V sprieguma.
- Šāds kondensators var uzkrāt 0,2Wh enerģijas, ja netiek ņemti vērā sprieguma pārveidošanas zudumi.
- Līdz ar to ir būtiski noskaidrot, vai ar šādu enerģijas daudzumu pietiek, lai nodrošinātu bolusa darbību vismaz 3 dienas.

Tiek izskatīta iespēja izmantot Texas Instruments izstrādāto EnergyTrace tehnoloģiju bolusa elektronikas enerģijas patēriņa mērīšanai. Veicot pieejamās literatūras analīzi, tika secināts, ka ar šo tehnoloģiju ir iespējams mērīt strāvu, kuru patērē uz mikrokontrolera balstīta iegultā sistēma. Tika noskaidrots, ka šī tehnoloģija ir pieejama jaunākajās MSP-EXP430G2ET izstrādes platēs, līdz ar to, tika nolemts, ka ir nepieciešams iegādāties šādu plati, lai eksperimentāli novērtētu mērījumu precizitāti.

Tiek veikts darbs pie tipveida vienreiz lietojamo AA un AAA izmēra bateriju piemērotības novērtēšanas. Tika ievākta un apgūta literatūra par šo bateriju energoietilpību, izlādes raksturlīknēm, novecošanu un izlietoto bateriju degradāciju. Ņemot vērā, ka šādu bateriju nominālais spriegums ir 1.5V, prototipa vajadzībām būtu nepieciešamas trīs virknē slēgtas baterijas, lai iegūtu 4,5V. Iegūto spriegumu ir nepieciešams pārveidot par stabilizētu 3,3V spriegumu. Šim uzdevumam var izmantot lineāros regulatorus vai impulsregulatorus – ir jāveic tirgū pieejamo produktu analīze, lai atrastu piemērotāko risinājumu.

Lineāra sprieguma regulatora izvēle:

Tika pētīts tirgus ar mērķi atrast piemērotākos lineāros sprieguma regulatorus. Par pamata kritēriju tika pieņemts, ka lineārā regulatora tukšgaitas pašpatēriņš nedrīkst būt lielāks par 1% no baterijas ietilpības. Tā kā baterijas perspektīvā ietilpība ir 4Ah, tad pašpatēriņš nedrīkst būt lielāks par 4.6uA.

Stabilizējamais spriegums tika pieņemts 3,3V. Tā kā baterijas nominālais spriegums, visticamāk, būs 3,6V, tad sprieguma kritums uz regulatora nedrīkst pārsniegt 0,3V. Provizoriski lineārā regulatora izejas strāvai jābūt vismaz 150mA.

Izmantojot šos meklēšanas datus, tika atlasīti vairāki tādi lineārie sprieguma regulatori, kuru pašpatēriņš ir iespējami zems. Lai izvēlētos regulatora gala versiju, ir jāveic eksperimentāla regulatoru pārbaude, lai noskaidrotu nezināmos parametrus un reālo patēriņu ar paredzamo slodzi.

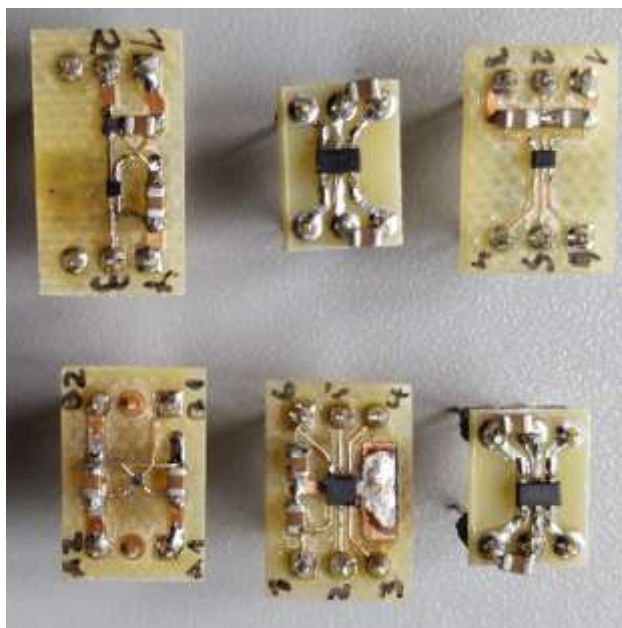
2019. gada maijā-jūnijā darba periodā tika strādāts pie baterijas sprieguma stabilizēšanas ar lineāro regulatoru. Tika veiktas darbības, lai iegādātos sešus lineāro regulatoru modeļus:

- TPS780330220DDCR
- TPS780330220DRVR
- NCV8170AXV330T2G
- S-1167A33-M5T1U
- TCR3UG33A,LF
- NCV8170AMX330TCG

Katrs modelis tika iegādāts piecos eksemplāros. Lai veiktu tālākas regulatoru veiktspējas pārbaudes, tika izprojektētas un izgatavotas regulatoru pārejas plates. Lineāro sprieguma regulatoru montāža tiek veikta uz izgatavotajām pārejas platēm (skat. 2.3.1. attēlu).

Pēc montāžas katrs no sešiem regulatora modeļiem tika testēts, lai noskaidrotu regulatora pašpatēriņa strāvu. Pašpatēriņa strāva tika mērīta ar multimetru pie trīs dažādām slodzēm kā arī tukšgaitā. Tika noskaidrots, ka zemākais patēriņš ir TCR3UG33A regulatoram, bet tā korpuss ir grūti lodējams mazo izmēru dēļ.

TPS780330220 patēriņš ir nedaudz lielāks, bet šis regulators ir pieejams daudz ērtākā SOT23 korpusā, kas arī nodrošina labāku regulatora jaudas izkliedes spēju, līdz ar to, tiek rekomendēts izmantot šo lineāro regulatoru.



2.3.1. attēls. Lineāro sprieguma regulatoru montāža uz izgatavotajām pārejas platēm

2.3.4. tabula. Slodzes mērījumi

Slodze	I _{in} [uA]						modelis	korpuss
	TCR3UG33A	TPS780330220	TPS780330220	NCV8170AXV330	NCV8170AMX330	S-1167A33		
	4WCSP-F	6SON	SOT23	SOT563-6	4XDFN	SOT23-5		
R=0	0,37	0,43	0,44	0,47	0,52	9,3		
R=3,27M	1,39	1,45	1,46	1,54	1,59	10,31		
R=331,5k	10,38	10,47	10,48	10,69	10,75	19,3		
32,85k	101,35	101,55	101,65	102,4	102,55	110,16		

2.3.5. tabula. Pašpatēriņa mērījumi

Slodze	I _q [uA]						modelis	korpuss
	TCR3UG33A	TPS780330220	TPS780330220	NCV8170AXV330	NCV8170AMX330	S-1167A33		
	4WCSP-F	6SON	SOT23	SOT563-6	4XDFN	SOT23-5		
0uA	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	9,3		
1uA	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	9,3		
10uA	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	9,3		
100uA	0,9	1,1	1,2	1,9	2,1	9,7		

Barošanas risinājumu izpēte un izstrāde (bateriju un superkondensatoru paralēlas darbības izpēte) Atskaite par paveikto septembrī.

Pārskata periodā, tika iegādātas divas Saft LS14500 baterijas. Šīs baterijas ir ar 2,6Ah ietilpību, 50mA nominālo strāvu, 3,6V nominālo spriegumu un pēc izmēra atbilst AA baterijai. Šīs baterijas tika izvēlētas pirmo testu veikšanai, gala izstrādei paredzēts izmantot baterijas ar lielāku ietilpību.

Vienai no iegādātajām baterijām tika veikta impulsa strāvas testēšana. Baterija tika aprīkota ar lineāro sprieguma regulatoru TPS780, kurš izejā dod 3,3V. Regulatora izejā īslaicīgi (0,1s) tika pieslēgts viens no pieciem slodzes rezistoriem. Izmantojot osciloskopu, tika izmērītas šāda slodzes sprieguma vērtības:

Pretestība	Strāva*	Spriegums*
3300 Ω	1 mA	3,385 V
330 Ω	10 mA	3,115 – 3,288 V
67 Ω	50 mA	2,654 – 3,038 V
33 Ω	100 mA	2,440 – 2,769 V
18 Ω	183 mA	2,170 – 2,442 V

Tabulā dotā slodzes strāva atbilst 3,3V slodzes spriegumam. Izmērītajam spriegumam ir dots diapazons, jo osciloskops uzrādīja sprieguma iekritienu pie slodzes pieslēgšanas. Galvenais secinājums, ka esošais risinājums nespēj nodrošināt stabilu 3,3V barošanas spriegumu, ja slodzes strāva ir lielāka par 10mA.

Kā risinājums tika izskatīta iespēja paralēli baterijai pievienot superkondensatoru. Pirmajiem testiem tika izmantoti laboratorijā pieejamie superkondensatori. Divi kondensatori izrādījās nederīgi pārāk lielas iekšējās pretestības dēļ. Veicot testus ar vēl vienu kondensatoru, tika secināts, ka tā sākotnējā noplūdes strāva būtiski ietekmē baterijas veiktspēju. Turpmākajās aktivitātēs ir nepieciešams padziļināti izpētīt superkondensatoru veiktspēju.

Superkondensatoru saistošo īpašību izpēte

Par galveno mērķi tika uzstādīts iegūt reālo superkondensatoru pašpatēriņa jeb noplūdes strāvas datus. Mērķa sasniegšanai tika iegādāti 7 dažādi superkondensatori, kuru darba spriegums ir lielāks par 3,7V - tā, lai tos varētu slēgt paralēli galvenajam enerģijas avotam -

baterijai. Noplūdes strāvas mērījumi tika veikti pie 3,6V sprieguma, kas ir tuvs paredzamajam baterijas spriegumam. Iegūtie noplūdes strāvas dati ir doti tabulā 2.3.6.

Tabula 2.3.6. Superkondensatoru īpašības

Modelis	C(F)	Unom (V)	U(V)	Inom(uA)	I(uA)	I/C
PC10	10	2,5	1,8	40	3,6	0,36
PHB-5R0V505-R	5	5	3,6	25	12,5	2,50
DGH355Q5R5	3,5	5,5	3,6	20	3,7	1,06
BMOD0002 P005 B02	2,5	5	3,6	8	3,2	1,28
SCMR18C105PRBA0	1	5	3,6	6	1	1,00
PHB-5R0V305-R	3	5	3,6	16	5,7	1,90
EMHSR-0001C5-005R0	1,5	5	3,6	5	1,6	1,07
SCMT32D755SRBB0	7,5	5,4	3,6	70	19,6	2,61
SCMT32D755SRBB0	7,5	5,4	3,6	70	19,4	2,59

Tā kā bolusa ilgmūžības nodrošināšanai ir nepieciešams samazināt enerģijas patēriņu, tad būtu vēlams izmantot 3,5F kondensatorus, kuru noplūdes strāva ir 1,06uA/F. Papildus tika veikta arī viena 2,5V kondensatora noplūdes strāvas mērīšana pie 1,8V. Šī kondensatora proporcionālā noplūdes strāva ir daudz zemāka nekā divu elementu kondensatoriem, līdz ar to vajadzības gadījumā var izskatīt atsevišķu kondensatoru iegādi un atlasīšanu, lai iegūtu saskaņotu pāri.

Nākamā plānotā aktivitāte ir superkondensatoru testēšana kopā ar bateriju. Šajā aktivitātē ir jāizgatavo spiestā plate ar vietu superkondensatoram, regulatoram un pārslēdzamai slodzei. Tālāk jāveic impulsa slodzes testi, lai novērtētu visas barošanas sistēmas stabilitāti.

TPS780 lineārā regulatora darbības novērtējums ar superkondensatoru un bateriju.

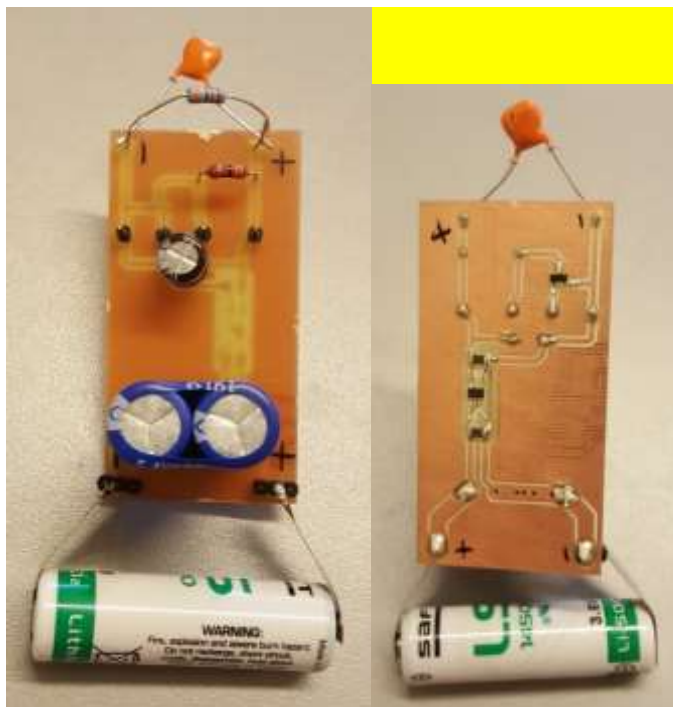
Testēšanas vajadzībām tika izgatavota plate, pie kuras tika piestiprināta baterija, superkondensators, regulators un slodze.

Testi tika veikti ar ārēju barošanas bloku, ar ārēju barošanas bloku un superkondensatoru, kā arī ar bateriju un superkondensatoru.

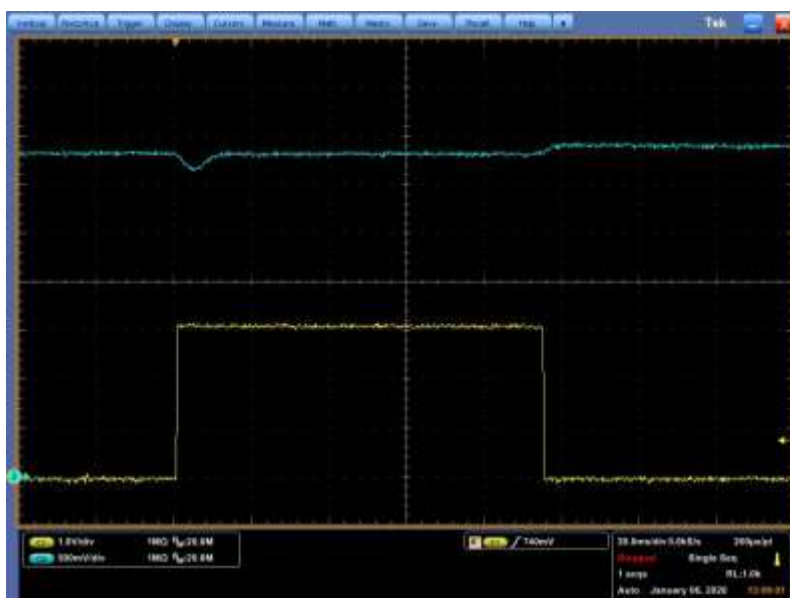
Testi tika veikti ar 7,5F, 5F un 1F kondensatoriem. Slodzes strāva tika uzstādīta uz 100mA un slodzes laiks aptuveni 100ms. Pēc testiem var secināt, ka pat 1F kondensators ir pietiekams dotās slodzes gadījumā. Būtiski, ka dotais lineārais regulators pārejas procesā izejas spriegumam ļauj nokristies par 200mV, kas varētu būt pārāk liels iekritiens. Tāpat, arī atslēdzot slodzi ir vērojams pārregulējums.

Tālākajās darbībās varētu veikt izmēģinājumus ar TCR3UG regulatoru, bet tā montāžai nepieciešama kodināta spiestā plate.

Ir nepieciešams izskatīt citus baterijas variantus, lai samazinātu superkondensatora nepieciešamību. Superkondensatora iekļaušana risinājumā radīs nevēlamu papildus sprieguma kritumu, jo barošanas shēmā būtu jāiekļauj superkondensatora uzlādes ķēde.



Att. 2.3.2. Testa plate ar bateriju, superkondensatoru un regulatoru.



Att. 2.3.3. Oscilogrammā redzams slodzes pieslēgšanas laiks (dzeltens) un spriegums uz slodzes (zils)

Pārskata periodā tika veiktas darbības, lai iegādātos trīs dažādas C izmēra baterijas, kuras ir pieejamas NTG veikalā:

Ražotājs	Modelis	Kapacitāte	Max strāva
Saft	LSH 14	5,8Ah	1,3A
Tadiran	SL-2770	8,5Ah	0,23A
EVE Energy	ER26500	8,5Ah	0,15A

Kā redzams, viena no baterijām ir ar mazāku kapacitāti, bet ar būtiski lielāku maksimālo strāvu. Pēc testēšanas varēs noteikt vai šādai baterijai ir nepieciešams superkondensators.

Papildus tika pasūtīta spiestā plate (no Ķīnas), lai pārbaudītu TCR3UG lineārā regulatora veiktspēju. Plates piegāde vēl ir procesā.

Tabulā 2.3.7. attēlota TCR3UG lineārā regulatora testēšana ar trīs dažādām C izmēra litija baterijām, kuru iegāde tika uzsākta iepriekšējā periodā.

Tabula 2.3.7.

C izmēra litija bateriju tehniskie parametri.

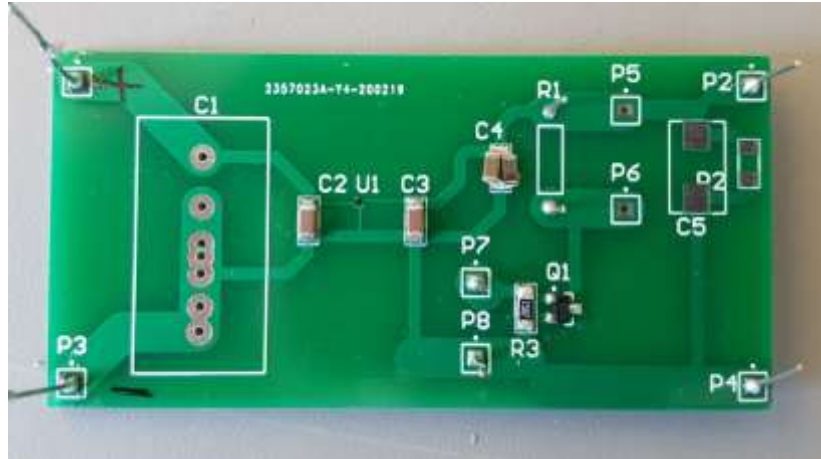
Ražotājs	Modelis	Kapacitāte	Max nep. strāva	Max. Pīķa strāva
Saft	LSH 14	5,8Ah	1,3A	2A
Tadiran	SL-2770	8,5Ah	0,23A	0,4A
EVE Energy	ER26500	8,5Ah	0,15A	0,3A

Attēlā 2.3.4. ir attēlotas tirgū pieejamās baterijas.



Att. 2.3.4. Iegādātās C izmēra litija baterijas.

Regulatora testēšanai tika uzprojektēta, izgatavota un salodēta spiestā plate. Platē ir iekļauta vieta superkondensatoram un impulsa slodzes testēšanas shēma, kura sastāv no 33Ω rezistora un MOSFET slēdža.



Att. 2.3.5. TCR3UG lineārā regulatora testēšanas plate.

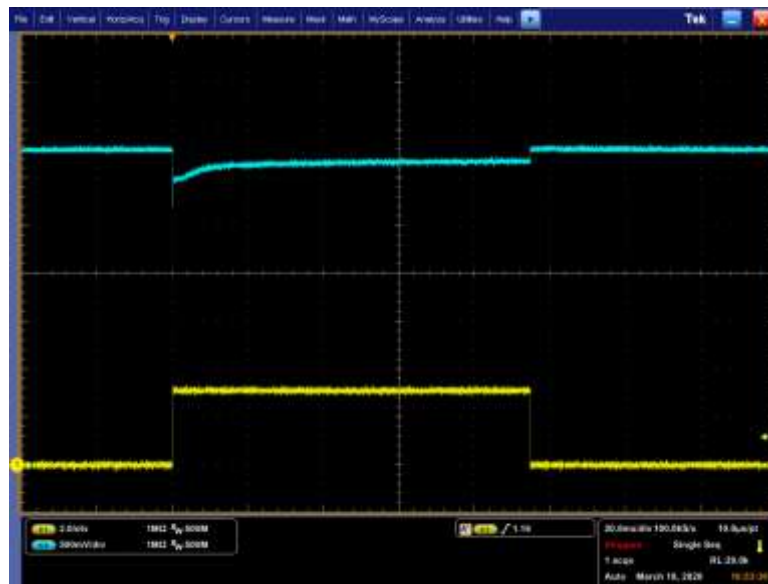
Testēšanas plates (Att. 2.3.5.) ieejā tika pārmaiņus pieslēgts: barošanas bloks, EVE baterija, Tadiran baterija, Saft baterija. Ar katru avotu (Att. 2.36.-2.3.8.) tika veikts tests, kura laikā regulatora izejai uz nepilnām 100ms, tika pieslēgts 33Ω rezistors. Ar osciloskopu tika mērīts regulatora izejas spriegums.



Att. 2.3.6. TCR3UG regulatora izejas spriegums ar barošanas bloku ieejā.



Att. 2.3.7. TCR3UG regulatora izejas spriegums ar EVE ER26500 bateriju ieejā.



Att. 2.3.8. TCR3UG regulatora izejas spriegums ar Tadiran SL-2770 bateriju ieejā.

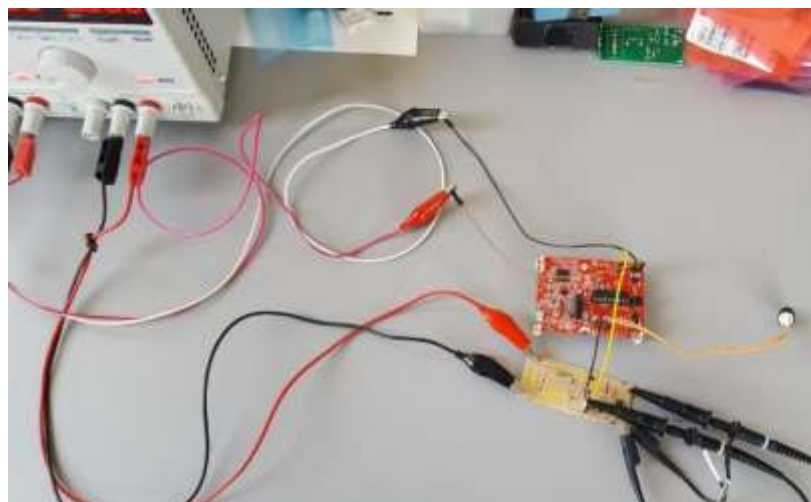


Att. 2.3.9. TCR3UG regulatora izejas spriegums ar Saft LSH14 bateriju ieejā.

Pēc veiktajiem testiem var secināt, ka EVE ER26500 baterija ir ar vislabāko soļa slodzes reakciju – tai ir viszemākais sprieguma iekritiens.

lineārā regulatora NCV8170BXV330T2G izpēte.

Regulatora NCV8170BXV330T2G testēšana tika veikta, jo iepriekšējie regulatora TPS780 testēšanas rezultāti norādīja uz nepietiekamu regulatora sprieguma stabilizāciju impulsa testa laikā. Tālāk tika veikta regulatora TCR3UG testēšana, pēc kuras gan tika secināts, ka regulatora sniegums ir piemērots bolusa barošanas vajadzībām, bet regulatora miniatūrais korpuss apgrūtina prototipu izveidošanu un testēšanu. Šī iemesla dēļ tika testēts NCV8170 saimes lineārais regulators, kurš ir pieejams ērtā SOT-563 korpusā.



Att. 2.3.10. NCV8170 regulatora testēšana ar impulsa slodzi un barošanu no laboratorijas barošanas bloka.

Lai varētu veikt testēšanu, tikai izstrādāts spiestās plates projekts, bet pati plate tika izgatavota vienā slānī izmantojot CNC frēzēšanas iekārtu. Pēc plates izgatavošanas, tika veikta

detaļu montāža un pirmā testēšana, lai pārlicinātos par pamata funkcionalitāti. Tālākos testos, tāpat kā iepriekš, regulators tika testēts ar 100mA@1s impulsa slodzi. Regulatora izejas sprieguma mērīšanai tika izmantots osciloskops. Pirmajam testam regulatora plate tika barota no laboratorijas bloka kā redzams Att. 2.2.12. Testa rezultātā uzņemtajā oscilogrammā (Att. 2.2.13.) redzams, ka regulatora izejas spriegums (zilā līkne) ir konstants visa testa laikā. Ar dzeltenu līkni redzams slodzes pieslēgšanas slēdža vadības spriegums.



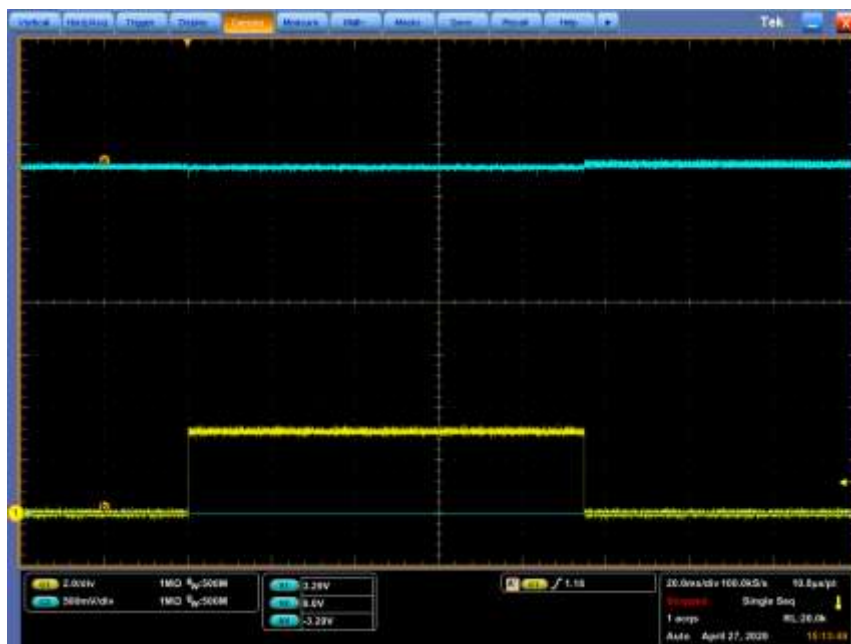
Att. 2.3.11. NCV8170 impulsa slodzes tests ar barošanas bloku.

Otrais tests tika veikts laboratorijas barošanas bloka vietā pieslēdzot EVE ER26500 bateriju. Testam tika izmantota tieši tāda pati procedūra. Uzņemtā regulatora izejas sprieguma oscilogramma ir dota Att. 2.2.14. Kā redzams, baterijas veikspēja ir zemāka par barošanas bloka veikspēju un pie impulsa slodzes baterijas spriegums krīt, kā rezultātā krīt arī regulatora izejas spriegums. Testa laikā izejas spriegums nokritās līdz 3V līmenim – par 300mV mazāk par uzdoto 3,3V līmeni.



Att. 2.3.12. NCV8170 impulsa slodzes tests ar EVE ER26500.

Trešais tests tika veikts ar EVE ER26500 bateriju un tai paralēli slēgtu 1F superkondensatoru. Testa rezultāts ir Att. 2.2.15., kurā redzams, ka izejas sprieguma līkne impulsa laikā nemaina savu vērtību un paliek konstanta.

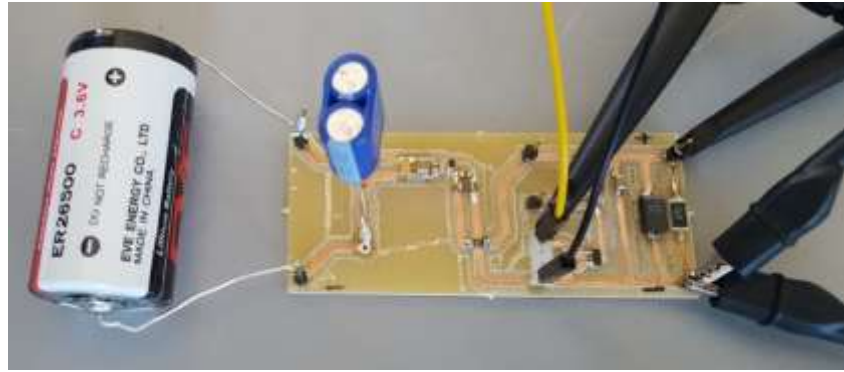


Att. 2.3.13. NCV8170 impulsa slodzes tests ar EVE ER26500 un 1F superkondensatoru.

Pamatojoties uz eksperimentālajiem pētījumiem var secināt, ka bolusa barošanai var izmantot NCV8170BXV330T2G lineāro regulatoru, kurš par enerģijas avotu izmanto EVE ER26500 bateriju, kurai paralēli slēgts 1F superkondensators. Iespējams, ka superkondensatora kapacitāti varētu samazināt, tādējādi samazinot izmaksas, pašpatēriņa strāvu un atvieglojot kondensatora pirmo uzlādi. Turpmākajos darbos tiek plānots veikt paplašinātu EVE ER26500 baterijas testēšanu ar mērķi noskaidrot ilgtermiņa veiktspēju.

Baterijas EVE ER26500 izlādes testēšana

Baterijas EVE ER26500 testa vajadzībām izstrādāta regulatora plate, kas aprīkota ar 270Ω slodzes rezistoru. Līdz ar to baterija tiek konstanti izlādēta ar 12mA strāvu. Ja jauna baterija tiktu izlādēta ar šādu strāvu, tad tā tiktu pilnībā izlādēta pēc aptuveni 29 dienām. Papildus, snieguma novērtēšanai, baterijai katru darba dienu divas reizes tika veikta impulsa izlāde (tāda pati, kā iepriekš), pirms kuras tika izmērīts baterijas un regulatora izejas spriegums. Izmantojot osciloskopu, tika fiksēts maksimālais un minimālais stabila izejas sprieguma līmenis (signāla līknes augstākā un zemākā vērtība). Tests tiks turpināts tik ilgi, līdz baterija vairs nespēs nodrošināt nepieciešamo izejas spriegumu.

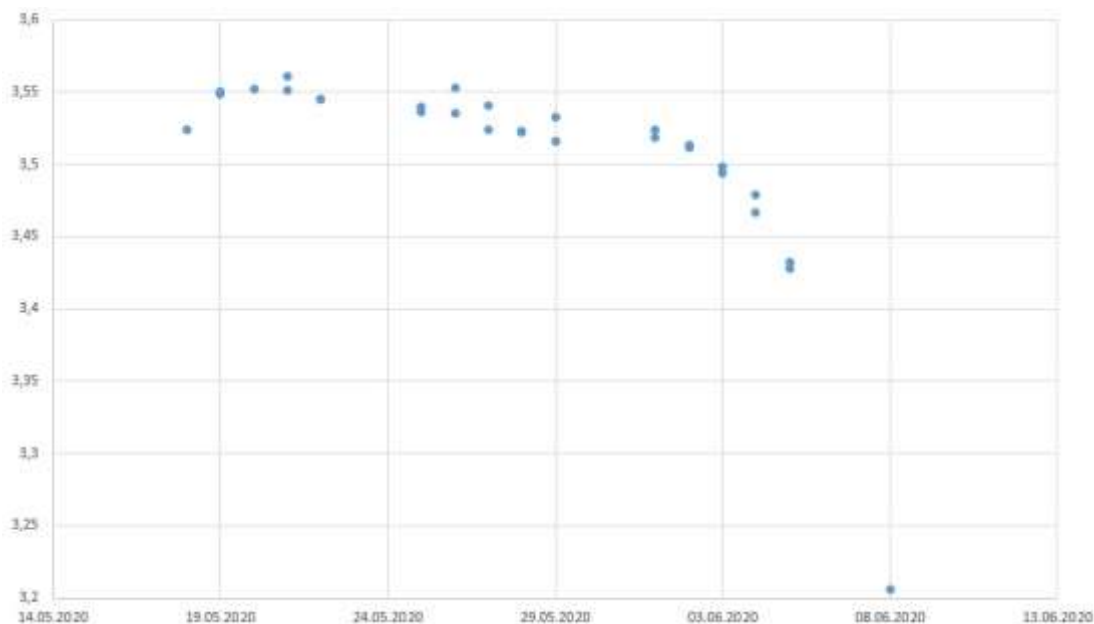


Att. 2.3.14. Baterija ar regulatora plati, uz kuras uzlodēts slodzes rezistors.



Att. 2.3.15. impulsa izlādes process.

Attēlā 2.3.15. redzamas impulsa izlādes process, kur dzeltenās krāsas signāls attēlo slodzes pieslēgšanas laiku, savukārt zilais signāls ir regulatora izejas spriegums. Ir redzams, ka pie impulsa slodzes pieslēgšanas un atslēgšanas, izejas spriegumā novērojami dažu desmitu mV lieli pīķīši, kuri uzskatāmi par nenozīmīgiem. Attēla kreisajā augšējā stūrī ir redzami mērījumi, kuri veikti ar Y novietojuma kursoriem. Kursors A norāda uz signāla augstāko vērtību, bet kursors B norāda uz signāla zemāko vērtību laikā, kad ir pieslēgta impulsa slodze.

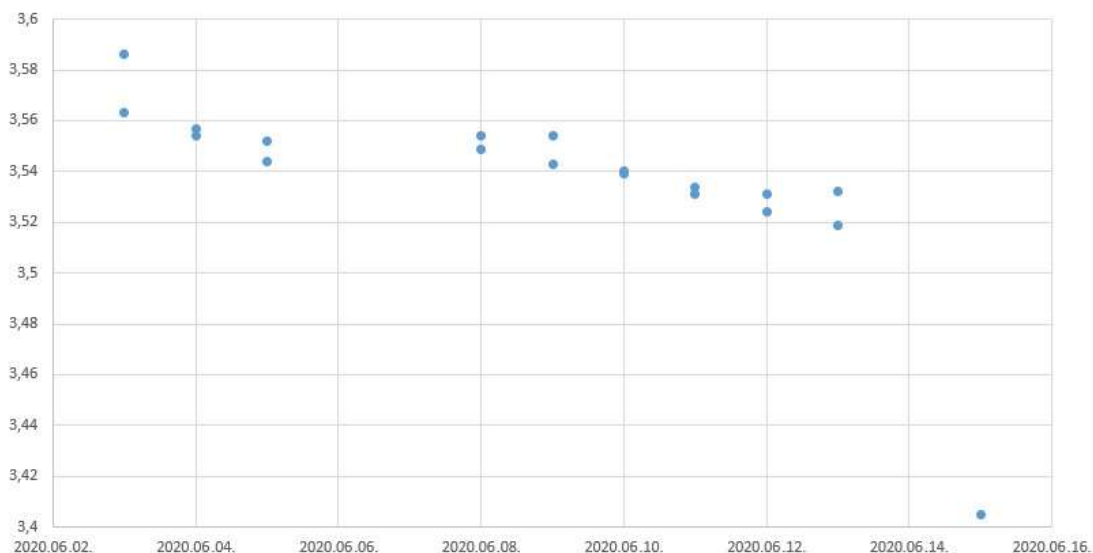


Att. 2.3.16. Baterijas ER26500 sprieguma mērījumi.

Att. 2.3.16. redzami baterijas ER26500 sprieguma mērījumi – arī šī baterija bija aprīkota ar 1,0 F superkondensatoru. Laikam ritot, baterijas spriegums samazinās un pēc 15 izlādes dienām baterija spriegums bija tik tālu samazinājies, ka tā vairs nevarēja nodrošināt nepieciešamo spriegumu. Šo dienu laikā tika izlādētas aptuveni 4,3Ah, kas ir būtiski mazāk par nominālo 8,5Ah ietilpību. Būtiski, ka baterijas spriegums tiek pazemināts dēļ netipiski lielas izlādes strāvas (12mA) – nominālā strāva ir 4mA. Arī šī testa baterija jau tika izmantota citos testos un tā jau bija daļēji izlādēta. Pozitīvais secinājums ir, ka baterija spēja nodrošināt impulsa testam nepieciešamo strāvu un spriegumu visu testa laiku.

Baterijas Saft LS14500 izlādes testēšana

Arī iepriekš iegādātā un izmantotā Saft LS14500 baterija tika testēta ilgstošas izlādes testā, izmantojot NCV8170 regulatoru. LS14500 tika izlādēta ar 3,3mA. Šī vērtība tika izvēlēta, lai izlādes tests nebūtu ilgāks par vienu mēnesi. Papildus, divas reizes dienā, baterija 0,1 sekundi tika izlādēta ar 100mA impulsa slodzi. Pirms katra impulsa padošanas tika veikti baterijas un regulatora izejas sprieguma mērījumi.



Att. 2.3.17. Baterijas LS14500 sprieguma mērījumi.

Laikam ritot baterijas, spriegums samazinās un pēc 11 izlādes dienām baterija spriegums bija tik tālu samazinājies, ka tā vairs nevarēja nodrošināt nepieciešamo spriegumu. Šo deviņu dienu laikā tika izlādētas aptuveni 0,9Ah, kas ir būtiski mazāk par nominālo 2,6Ah ietilpību. Būtiski, ka baterijas spriegums tiek pazemināts dēļ netipiski lielas izlādes strāvas (3,3mA) - nominālā strāva ir 2mA. Papildus, pirms šī testa baterija jau tika izmantota citos testos un tā jau bija daļēji izlādēta. Pozitīvais secinājums ir, ka baterija spēja nodrošināt impulsa testam nepieciešamo strāvu un spriegumu visu testa laiku. Baterija bija aprīkota ar 1,5F superkondensatoru.

Visticamāk, ka abas baterijas (LS14500 un ER26500) darbojoties bolusā spētu nodrošināt vairāk enerģijas, jo tās tiktu izlādētas ar mazāku strāvu, kā arī atrodoties govs ķermenī, to temperatūra būtu augstāka, līdz ar to baterijas spriegums varētu būt lielāks un ilgāk tiktu nodrošināts regulatoram nepieciešamais sprieguma kritums.

18505 izmēra bateriju testēšana

Veicot rezultātu koordinēšanu ar partneriem, tika secināts, ka nepieciešams analizēt arī tās baterijas, kuras savā ģeometriskajā izmērā ir starp 14500 un 26500 izmēriem. Tika noskaidrots, ka ir pieejamas 18505 (18mm x 50,5mm) izmēra baterijas ar 3,5-4Ah kapacitāti. Tika veikta tirgus izpēte, kuras rezultātā tika iegādātas divu modeļu baterijas: Fanso ER18505M un EVE ER18505. Tabulā 2.3.8. doti bateriju parametri.

Tabula 2.3.8

Papildus iegādāto litija bateriju tehniskie parametri.

Ražotājs	Modelis	Ietilpība	Max strāva	Pīķa strāva
EVE	ER18505	4Ah@3mA	130mA	180mA
Fanso	ER18505M	3,5Ah@5mA	1000mA	2000mA

Pirmajai veiktspējas pārbaudei, tika veikts jau ierastais impulsa tests ar NCV8170 regulatoru. Tests tika veikts ar laboratorijas barošanas bloku, EVE bateriju un Fanso bateriju.



a)

b)

c)

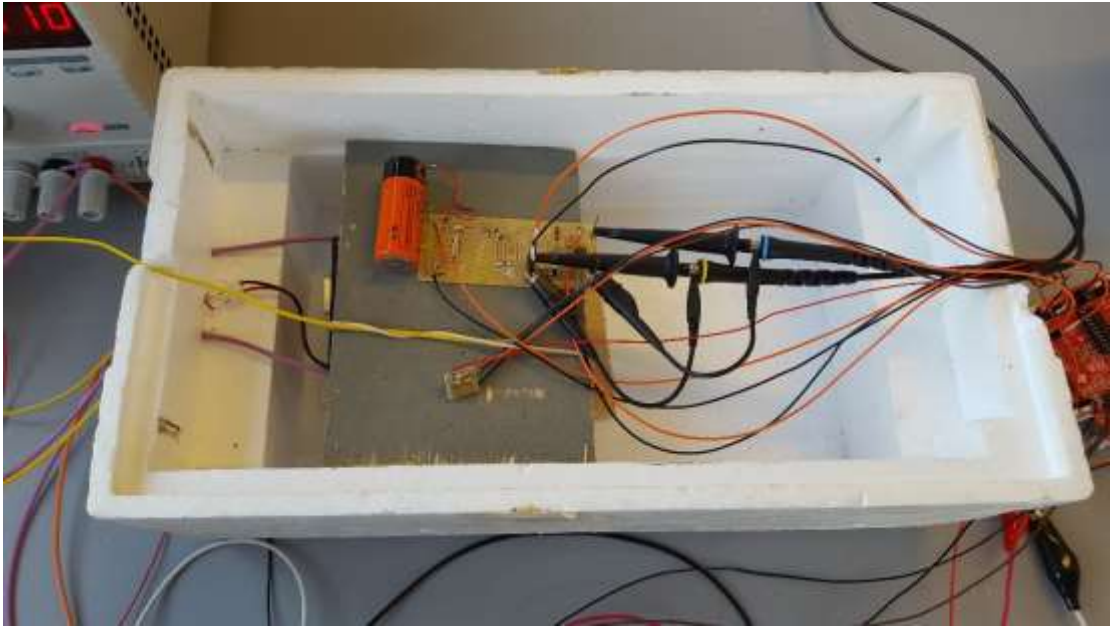
Att. 2.3.18. Izejas sprieguma izmaiņas.

Kā redzams attēlā a), izejas spriegumam ir niecīgs iekritiens, ja barošanu nodrošina barošanas bloks. Ja enerģijas avots ir EVE ER18505 baterija (b) attēls), tad izejas sprieguma iekritiens ir nepieļaujami liels. Savukārt, ja barošanu nodrošina Fanso ER18505M baterija, tad izejas sprieguma forma sakrīt ar to, ko nodrošināja laboratorijas barošanas bloks (attēls c)). Var secināt, ka Fanso ER18505M baterija ir piemērotāka par EVE ER18505 bateriju, turklāt šī baterija spēj nodrošināt testa pīķa strāvu bez būtiska sprieguma krituma.

Tika pieņemts lēmums veikt tālāku Fanso ER18505M baterijas testēšanu. Lai pārbaudītu baterijas veiktspēju gan ietilpības, gan pīķa strāvas spējas jomā, tika ieplānots ilgtermiņa izlādes eksperiments, kura laikā divas reizes dienā baterija tiks izlādēta ar pīķa strāvu, bet atlikušajā laikā tā tiks izlādēta ar 2200Ω rezistoru, kurš pievienots aiz NCV8170 sprieguma regulatora. Lai eksperimenta laikā nodrošinātu stabilu temperatūras vidi, kura līdzīga govs ķermenim, tika izveidots vienkāršs temperatūras kambaris.



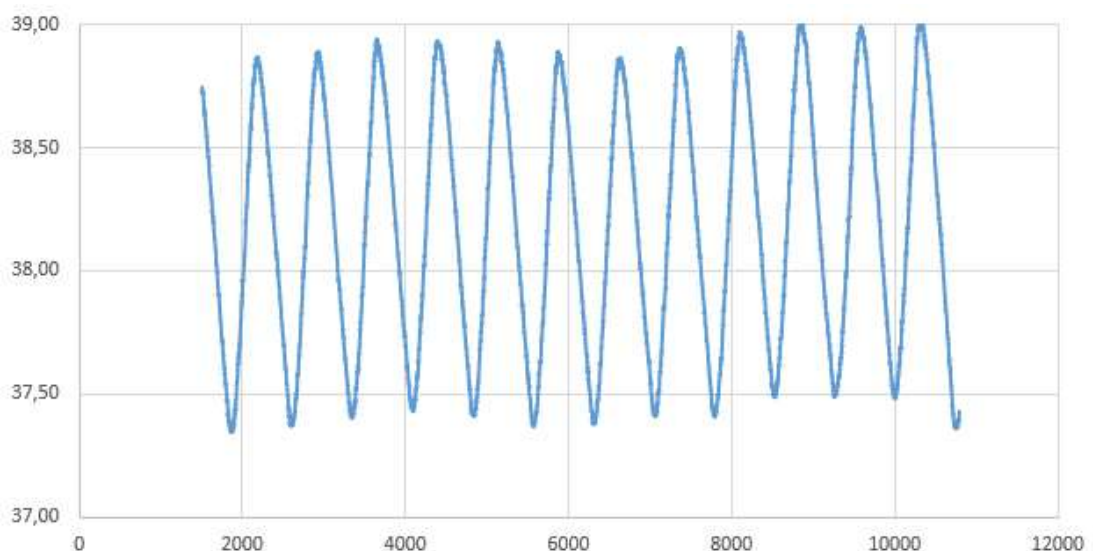
Att. 2.3.19. Temperatūras kambaris ar vadības mikrokontrolleri un citām daļām.



Att. 2.3.20. Temperatūras kambara iekšpuse.

Temperatūras kambara iekšiene (Att. 2.23.20.): baterija ar regulatoru un sprieguma mērīšanas taustiem, zem plāksnes atrodas ventilators un sildelements.

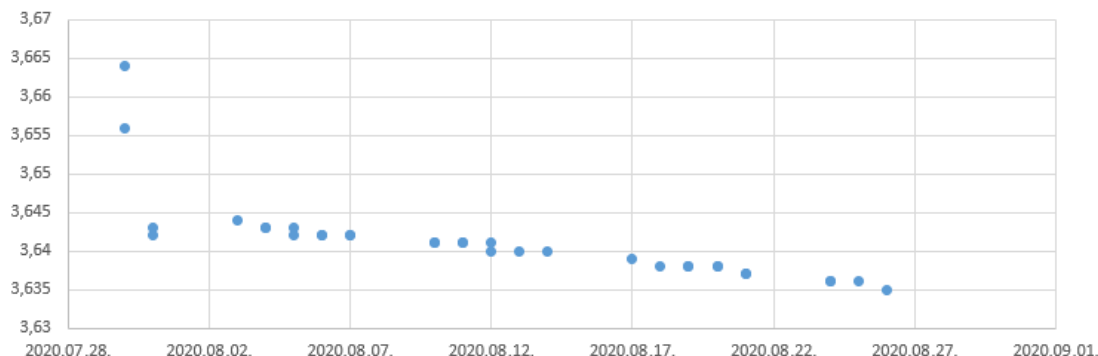
Kambaris pārsvarā tika izveidots no laboratorijā pieejamajiem materiāliem. Putuplasta kastē tika ievietots sildelements un konvekcijas ventilators. Lai regulētu temperatūru, kastē tika ievietots temperatūras mērpārveidotājs ar $0,5^{\circ}\text{C}$ izšķirtspēju, kurš nosūtīja mērījumu uz mikrokontrollera plati, kura izmantojot vienkāršu histerēzes vadību ieslēdza un izslēdza sildelementu. Att. 2.2.23. redzama temperatūras kambara temperatūras līkne – temperatūra svārstās ap 38°C , $37\text{--}39^{\circ}\text{C}$ robežās. Svārstību periods ir $3\text{--}4$ minūtes.



Att. 2.3.21. Temperatūras kambara temperatūras līkne.

Izmantojot temperatūras kambari, tika veikti baterijas izlādes mērījumi. Att. 2.3.22. ir redzams, kā baterijas spriegums samazinās, palielinoties izlādētās enerģijas daudzumam. Tik tālu visi impulsa izlādes testi ir stabili ar sprieguma iekritienu ne lielāku par 20mV . Testā

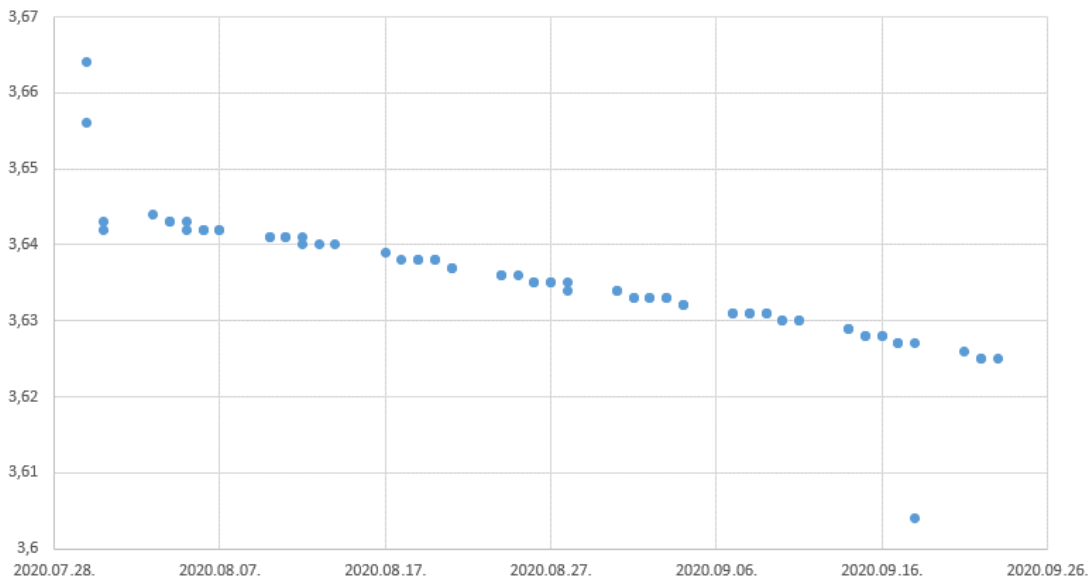
izmantotā slodze ir tāda, ka izlāde vēl notiks vairākus mēnešus. Pēc pilnas izlādes varēs veikt rezultātu analīzi.



Att. 2.3.22. Baterijas sprieguma izmaiņa atkarībā no izlādētās enerģijas daudzuma.

Baterijas Fanso ER18505M testēšana

Baterijas Fanso ER18505M testēšana tiek veikta ar iepriekš definēto izlādi temperatūras kambarī. Attēlā 2.2.25. redzams baterijas sprieguma grafiks – spriegums vienmērīgi samazinās, pieaugot laikam. Visā pārskata periodā baterija spēja sekmīgi nodrošināt impulsa slodzi – regulatora izejas spriegums nenosvārstījās vairāk par 20mV.

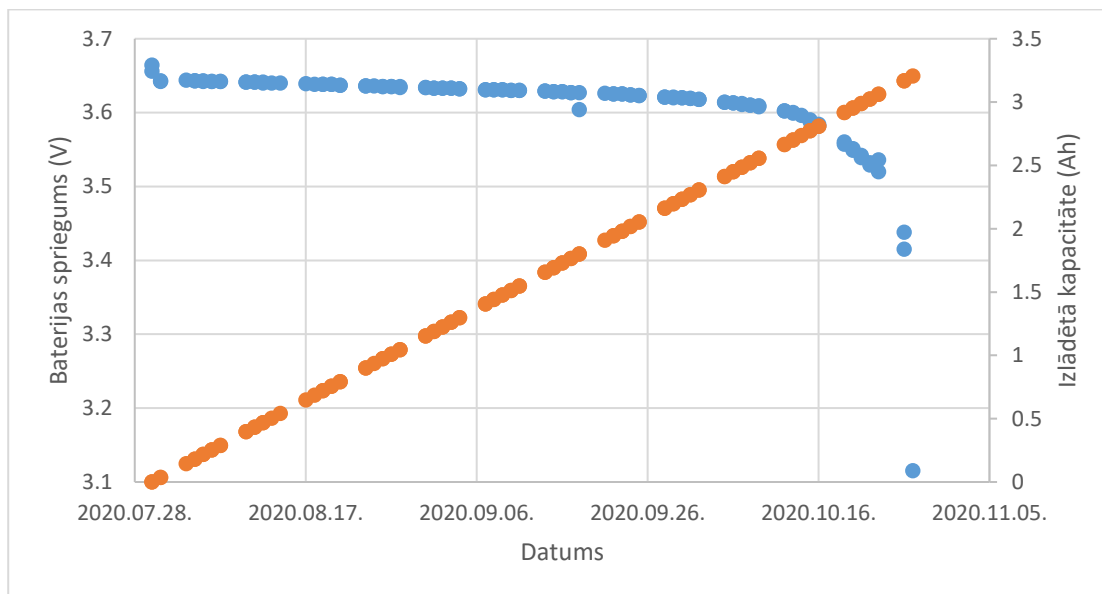


Att. 2.3.23. Baterijas (Fanso ER18505M) sprieguma grafiks pie izlādes.

Īpaši apskatāms baterijas mērījums 18. septembra rītā. Tā kā pa nakti Rīgā plosījās vētra, tad, iespējams, tā izraisīja sprieguma pārtraukumu, kā rezultātā tika atslēgta temperatūras kambara barošana un baterija atdzisa līdz istabas temperatūrai. 18. septembra rīta mērījums ir veikts pie atdzisušas baterijas, līdz ar to, izmērītais baterijas spriegums ir 3,604V, kas ir

ievērojami mazāk, par iepriekšējo mērījumu 3,627V. Interesanti, ka istabas temperatūrā baterija nebija spējīga nodrošināt tik labu impulsa slodzes testa rezultātu kā iepriekš. Dotajā impulsa testā regulatora izejas spriegums nokritās līdz 3,24-3,20V robežai. Var secināt, ka pa doto izlādes periodu baterijas impulsa strāvas veiktspēja ir samazinājusies, bet to kompensē baterijas atrašanās temperatūras kambarī. Veicot nākamos mērījumus 18. septembra pēcpusdienā, rezultāti bija atgriezušies paredzamajās normas robežās.

Att. 2.2.26. redzams baterijas sprieguma grafiks, kurā redzams pilns baterijas izlādes cikls.



Att. 2.3.24. Baterijas (Fanso ER18505M) pilns izlādes cikls.

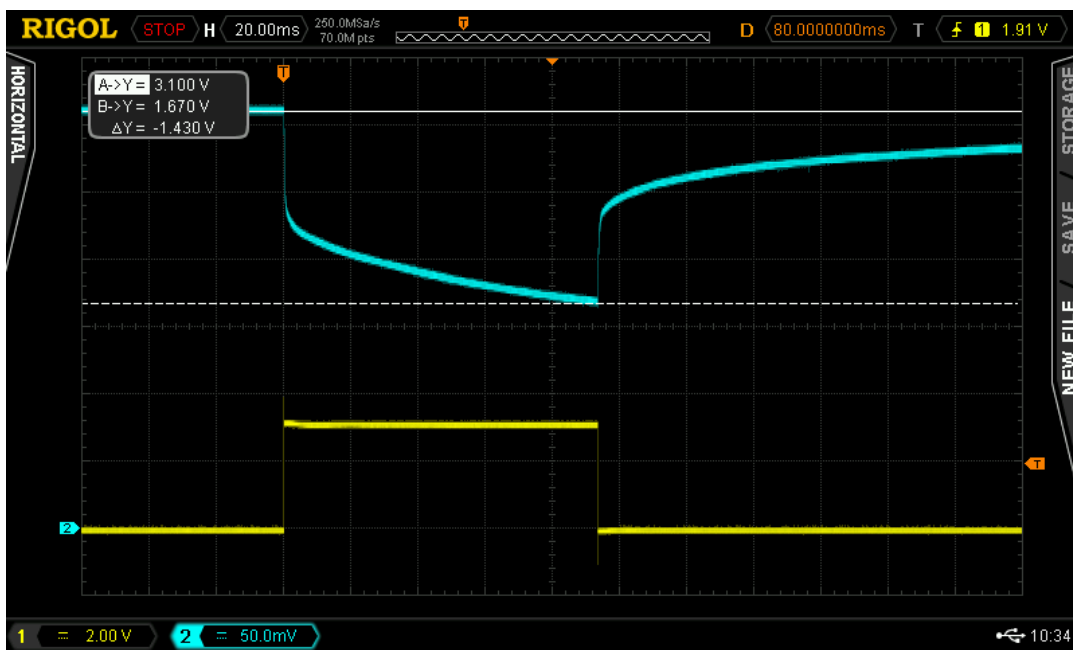
Attēlā 2.3.24. ar ziliem punktiem dots baterijas spriegums, savukārt ar oranžiem punktiem attēlots izlādēto ampērstundu skaits. Kā redzams, izlādes perioda beigās (27. oktobris) no baterijas tika iegūts vairāk par 3,115Ah no teorētiski pieejamās 3,5Ah ietilpības. Iegūtās enerģijas apjomā nav ņemta vērā impulsa izlāžu enerģija, kā arī regulatora pašpatēriņš. Būtiski, ka regulatora izejas spriegums impulsa testa laikā sāka manāmi nokristies pēc 3,6V baterijas sprieguma sasniegšanas/2,7Ah izlādes. Līdz ar to var secināt, ka no baterijas var iegūt 2,7Ah jeb 77% enerģijas.

Attēlā 2.3.25. redzams izlādes impulss no 20.10.2020. kad baterija bija izlādēta līdz 2,95Ah līmenim. Ir redzams, ka regulatora izejas spriegums impulsa testa laikā būtiski samazinās.



Att. 2.3.25. Baterijas (Fanso ER18505M) izlādes impulss 20.10.2020.

Attēlā 2.3.26. redzams izlādes impulss no 27.10.2020. Šajā brīdī baterijas spriegums jau bija nokrities līdz 3,204V līmenim un regulators nespēja nodrošināt nominālo spriegumu pat pie ilgtermiņa slodzes. Papildus, ir redzams, ka izejas spriegums pēc impulsa testa atjaunojas lēni, līdz ar to, kopumā var secināt, ka baterija ir izlādēta.



Att. 2.3.26. Baterijas (Fanso ER18505M) izlādes impulss 27.10.2020.

Fanso ER18505M baterijas testēšana ar tuvinātu slodzes profilu

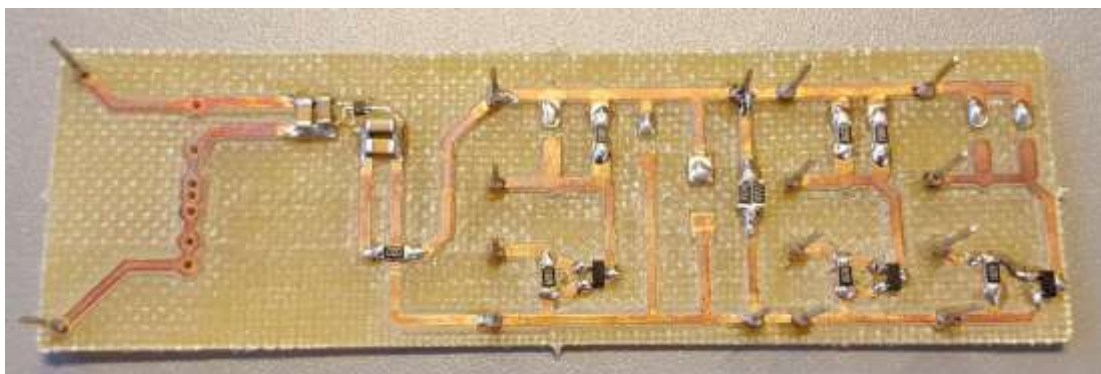
Par pamatu tuvinātās slodzes profila testam tika ņemts reāli izmērītais bolusa elektronikas patēriņš trīs režīmos: miega režīmā (0,136mA), mērīšanas režīmā (3,5mA) un sūtīšanas režīmā (45mA). Šajā izlādes testā tika izmantotas modificētas slodzes strāvas, lai saīsinātu izlādes laiku

un ātrāk iegūtu sliktākā varianta rezultātu. Miega režīma strāva tika uzstādīta uz 1,419mA, mērīšanas režīma strāva uz 3,631mA un sūtīšanas režīma strāva uz 47,32mA. Papildus tika modificēts arī mērīšanas un sūtīšanas laika grafiks. Tests tika izveidots tā, lai katru stundu notiktu 6 mērīšanas (katra 3 sekundes gara) un viena sūtīšana, kuras garums ir 19 sekundes. Vienas stundas slodzes profils redzams attēlā 2.3.27.



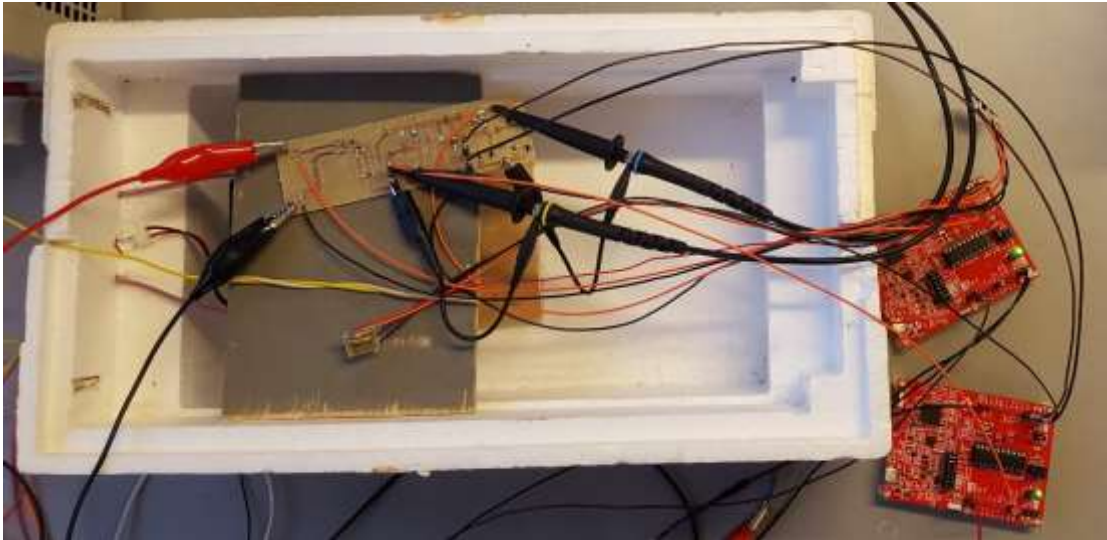
Att. 2.3.27. Baterijas vienas stundas slodzes profils.

Lai varētu veikt šādu testēšanu, tika izstrādāta jauna spiestā plate (Att. 2.3.28.), kura tika izfrēzēta, salodēta un notestēta ar laboratorijas barošanas bloku kā enerģijas avotu. Plate tika aprīkota ar sprieguma regulatoru, vienu pastāvīgu slodzi (1,4mA) un divām komutējamām slodzēm (45mA un 3,631mA)



Att. 2.3.28. Slodzes spiestā plate.

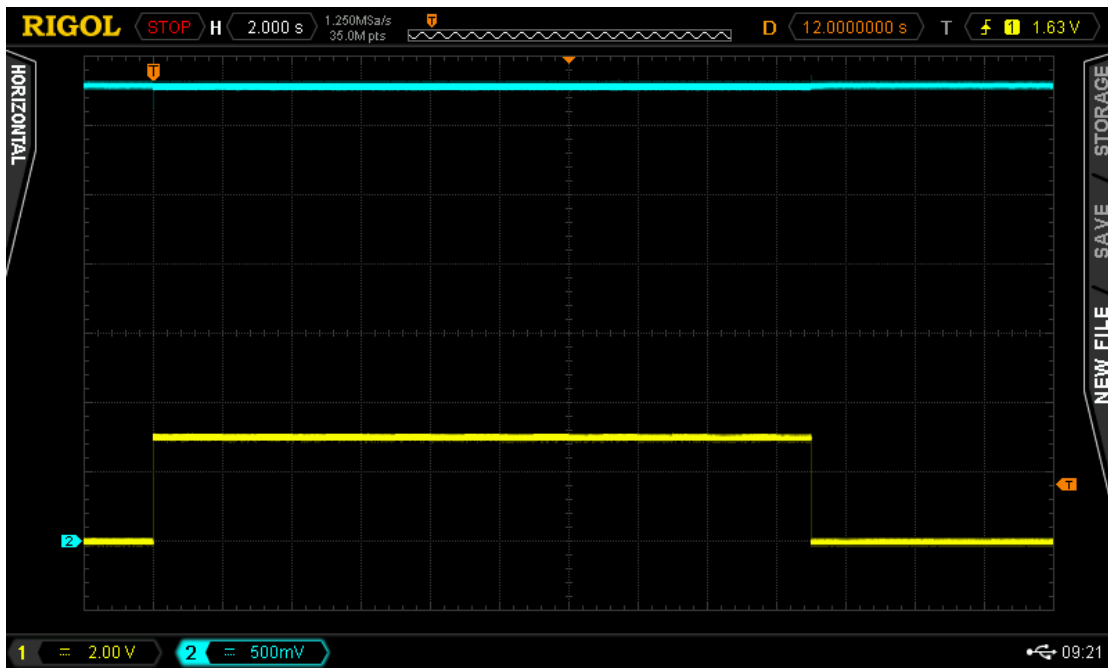
Atbilstoši izvēlētajam slodzes profilam tika izveidota mikrokontrollera programma, kura kontrolē uz plates esošos slodzes elementus. Attēlā 2.3.29. ir redzama slodzes plate temperatūras kambarī ar pievienotu slodzes vadības mikrokontrolleri, temperatūras vadības mikrokontrolleri un mērījumu taustiem.



Att. 2.3.29. Slodzes plate temperatūras kambarī

Slodzes plates pārbaude ir veikta apmēram pusotru nedēļu, kuras laikā baterija ir spējusi nodrošināt nepieciešamo jaudas un enerģijas daudzumu.

Attēlā 2.3.30. ir redzams 19 sekundes garš sūtīšanas režīms, kura laikā nav novērojams būtisks sprieguma regulatora izejas sprieguma kritums (zilā taisne). Dzeltenais signāls ir slodzes vadības signāls no mikrokontrollera.

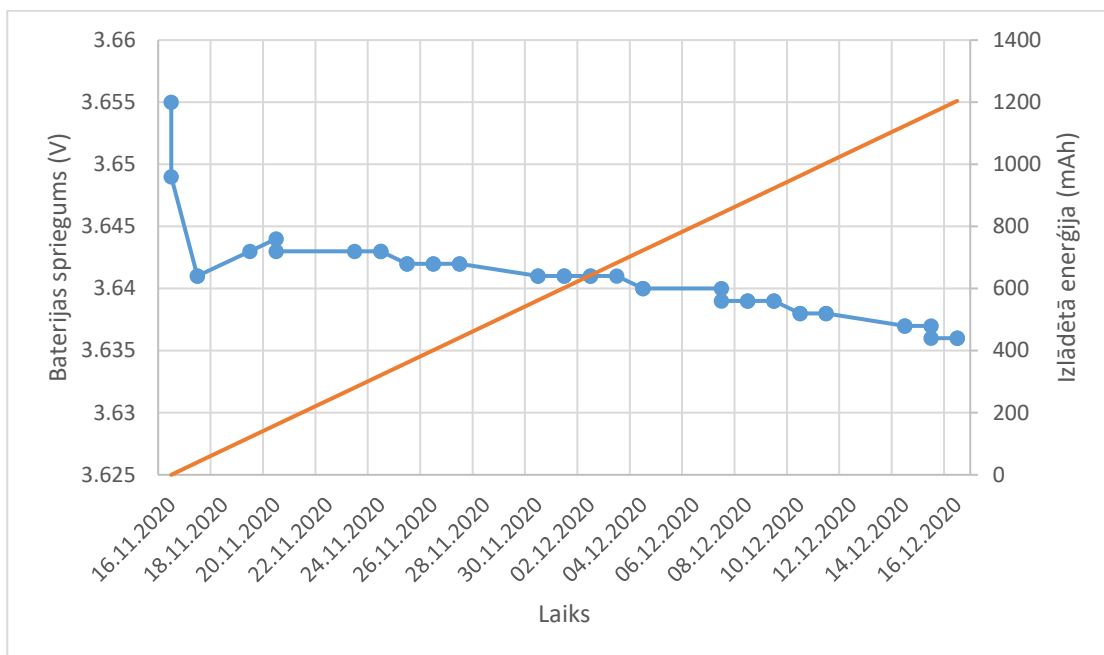


Att. 2.3.30. 19 sekundes garš sūtīšanas režīms.

Baterijas (*Fanso ER18505M*) izlāde ar pielāgoto izlādes profilu

Pārskata periodā tika turpināta Fanso ER18505M baterijas izlāde ar pielāgoto izlādes profilu. Līdz pārskata perioda beigām no baterijas tika izlādētas aptuveni 1,2 Ah jeb 34% no nominālās 3,5 Ah ietilpības. Attēlā 2.3.31. ir redzams izlādes grafiks, kurā ar zilu līkni attēlota baterijas sprieguma izlāde (mērījumi veikti divas reizes dienā) un ar oranžu taisni attēlota

aprēķinātā izlādētā enerģija miliampērstundās. Paredzams, ka šis izlādes test turpināsies vēl apmēram mēnesi, kura laikā izlādētais enerģijas apjoms sasniegs 70%.

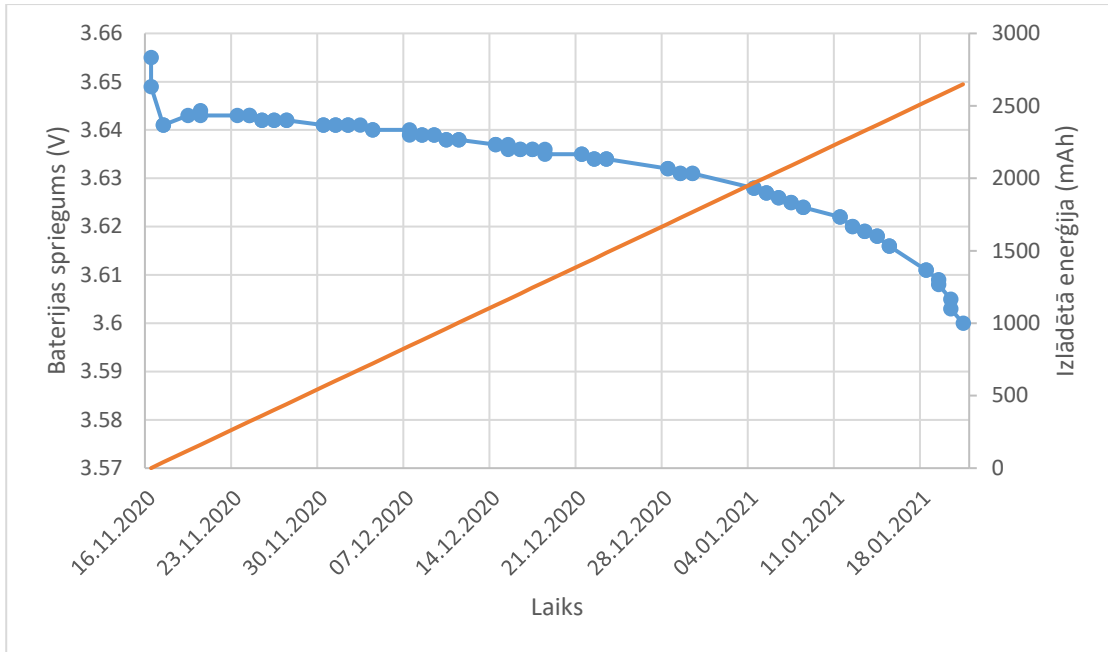


Att. 2.3.31. Baterijas (Fanso ER18505M) izlādes grafiks.

Papildus, pastāvīgi sekojot līdzi energoelektronikas industrijas attīstībai, tika pamanīts, ka uzņēmums *Texas Instruments* ir sācis ražot TPS63900 sprieguma pārveidotāju, kurš darbojas kā paaugstinoši-pazeminošais, līdz ar to šāda pārveidotāja izmantošana iespējams ļautu iegūt vēl vairāk no baterijas enerģijas. Šī pārveidotāja būtiskais jauninājums ir 75 nA pašpatēriņa strāva, kura ir ievērojami zemāka par līdzīgiem alternatīviem pārveidotājiem. Lai pārliecinātos par šī sprieguma pārveidotāja sniegumu, tika veiktas darbības nepieciešamo komponentu iegādei, kā arī tika uzsākta spiestās plātes projektēšana.

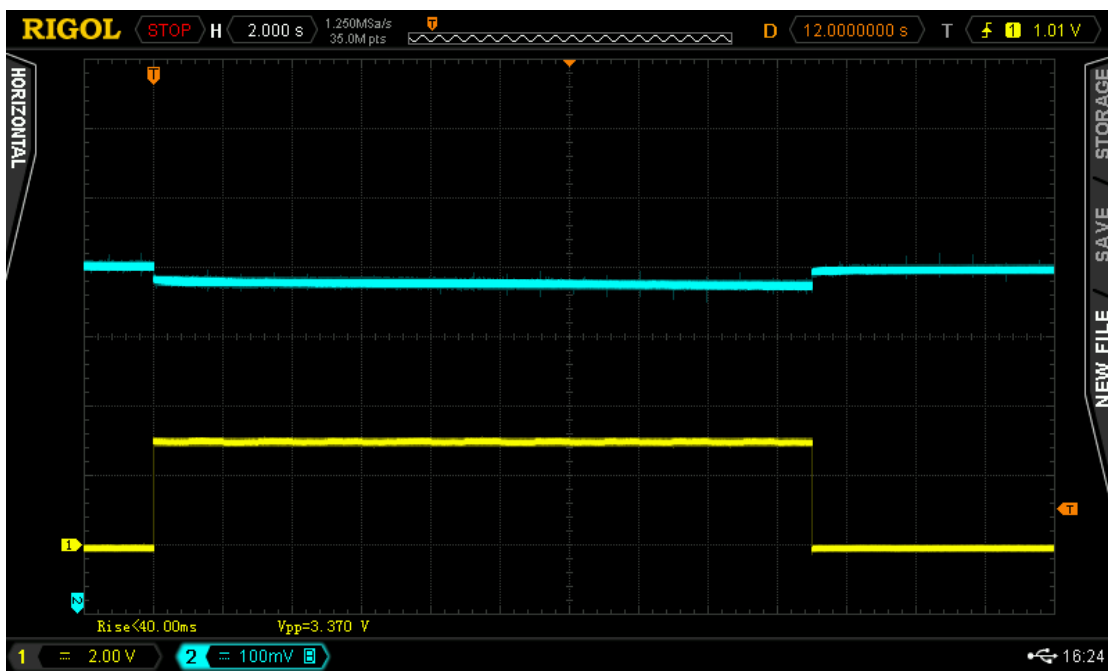
Fanso ER18505M baterijas izlāde ar pielāgoto izlādes profilu.

Eksperiments tika izbeigts, kad regulators vairs nespēja nodrošināt stabilu spriegumu sūtīšanas strāvas laikā. Kopumā no baterijas tika izlādētas 2,648Ah, kas atbilst 75,7% no nominālās kapacitātes. Zemāk redzams baterijas sprieguma grafiks (Att. 2.3.32.), pieaugot izlādētās enerģijas apjomam.



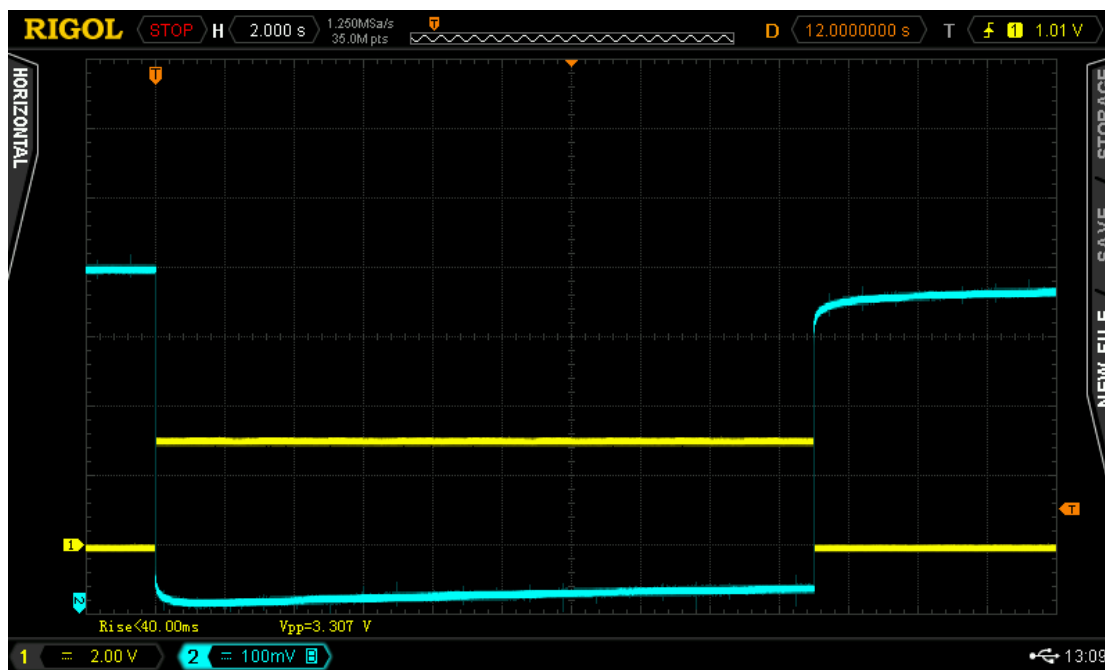
Att. 2.3.32. ER18505M baterijas spriegums izlādes laikā. Spriegums: zils; izlādētā enerģija: oranža.

Zemāk redzama oscilogramma (Att. 2.3.33), kurā ar dzelteni līkni attēlots slodzes pieslēgšanas vadības spriegums – slodzes laiks ir 19 sekundes, kas atbilst maksimālajai slodzei datu raidīšanas laikā. Ar zilo līkni attēlots baterijas spriegums – ir redzams baterijas sprieguma kritums apmēram 20mV līmenī. Šajā situācijā baterija bija spējīga nodrošināt regulatoru ar pietiekamu spriegumu, lai tas savukārt varētu barošanas sistēmas izejas spriegumu uzturēt stabilu 3,3V līmenī. Šis grafiks tika uzņemts dienu pirms tika fiksēta barošanas sistēmas nespēja nodrošināt izejas spriegumu.



Att. 2.3.33. Normālas baterijas spriegums slogojot. Baterijas spriegums: zils; slogošanas laiks: dzeltens.

Zemāk redzama oscilogramma (Att. 2.3.34), kura tika uzņemta pēdējā baterijas izlādes testa dienā. Ar dzelteni līkni ir attēlots maksimālās slodzes pieslēgšanas laiks, savukārt zilā līkne ir baterijas spriegums. Šajā gadījumā ir redzams, ka baterijas spriegums maksimālās slogošanas laikā nokrīt par gandrīz 500mV, līdz ar to regulatora ieejas spriegums ir pārāk zems un tas vairs nespēj nodrošināt stabilus 3,3V savā izejā. Pēc šīs oscilogrammas uzņemšanas tika nolemts, ka baterija ir izlādēta.

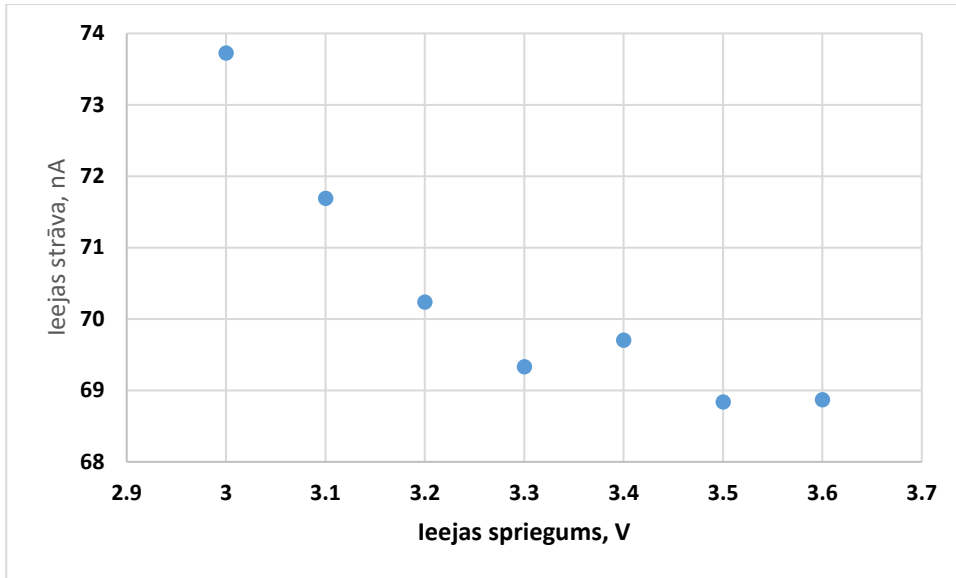


Att. 2.3.34. Izlādētas baterijas spriegums slogojot. Baterijas spriegums: zils; slogošanas laiks: dzeltens.

Izlādētā baterija vairs nav pielietojama barošanas sistēmai, kurā sprieguma stabilizēšanai tiek izmantots lineārais regulators. Tomēr, ja tiktu izmantots komutējošais pārveidotājs (*switchmode converter*), tad pastāv iespēja, ka no baterijas vēl varētu iegūt papildus enerģiju. Jau ir uzsākts darbs, lai pārbaudītu TPS63900 sprieguma pārveidotāja darbību ar izlādēto bateriju. Rezultātus plānots prezentēt nakamajā periodā.

TPS63900 sprieguma pārveidotāju izpēte un izmantošana.

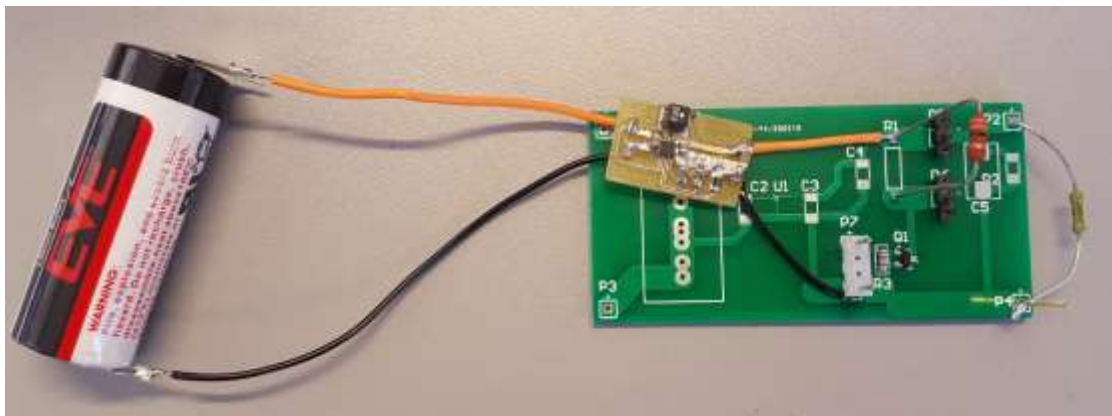
Tika izveidota pārveidotāja testa plate, kura izejā dod 3,3V spriegumu. Pirmajam eksperimentam tika mērīta pārveidotāja ieejas strāva tukšgaitas režīmā. Strāva tika mērīta ieejas sprieguma diapazonā no 3,6V līdz 3,0V ar 0,1V soli. Tika iegūts tukšgaitas strāvas patēriņa grafiks (Att. 2.3.35.), kurš atbilst pases datos dotajam.



Att. 2.3.35. TPS63900 sprieguma pārveidotāja ieejas strāva pie dažādiem ieejas spriegumiem, bez slodzes.

TPS63900 sprieguma regulatora testēšana.

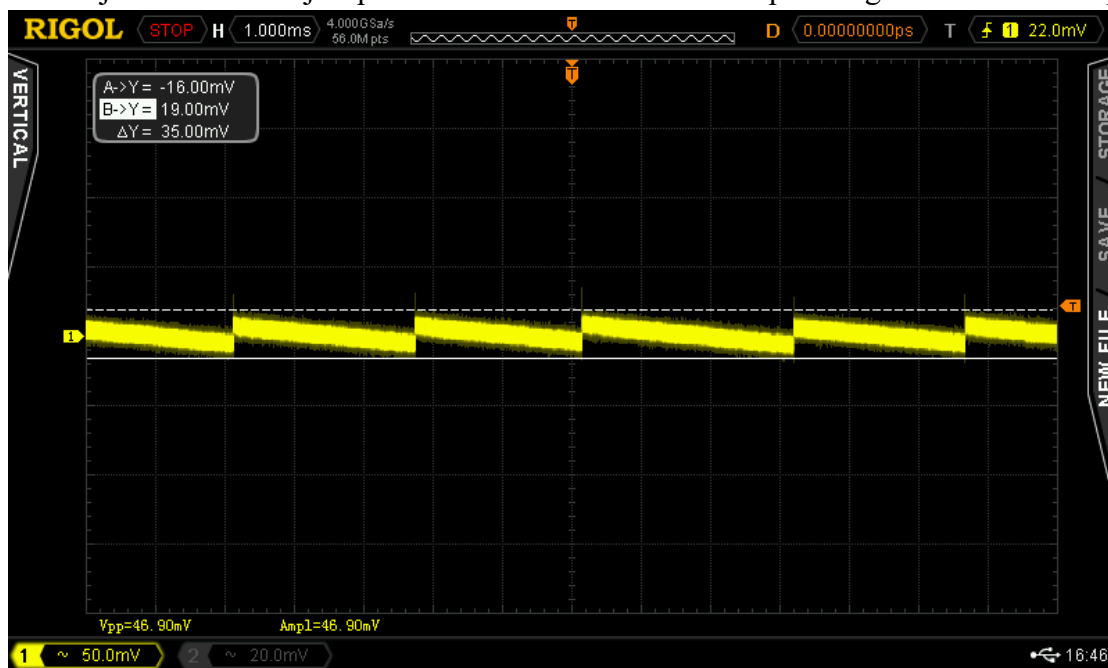
Viena no iepriekš izveidotajām slodzes platēm tika apvienota ar izveidoto TPS63900 plati, kā redzams 2.3.36. attēlā.



Att. 2.3.36. TPS63900 regulatora plate pievienota pie slodzes plates un baterijas.

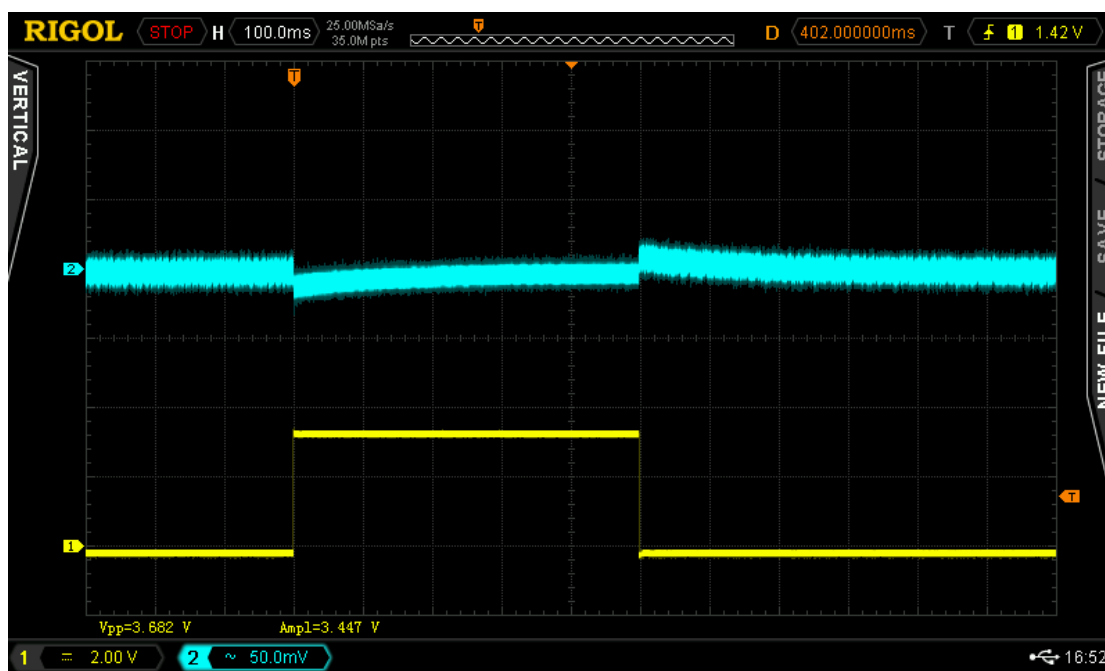
Risinājums vispirms tika pārbaudīts ar laboratorijas barošanas avotu un tika secināts, ka testēšanu var turpināt ar bateriju. Regulatora ieejā tika pielodēta EVE 18505M baterija. Slodze tika izveidota tā, lai to veidotu patstāvīga 0,1mA strāva un periodiski ieslēdzama 100mA strāva. Uz regulatora izejas kondensatora tika mērīts spriegums (2.3.37. attēls). Pie 0,1mA slodzes regulatora izejas spriegumā tika novērotas periodiskas pulsācijas ar 35mV pilno amplitūdu.

Pulsāciju frekvence bija aptuveni 500Hz un to avots ir paša regulatora darbības princips.

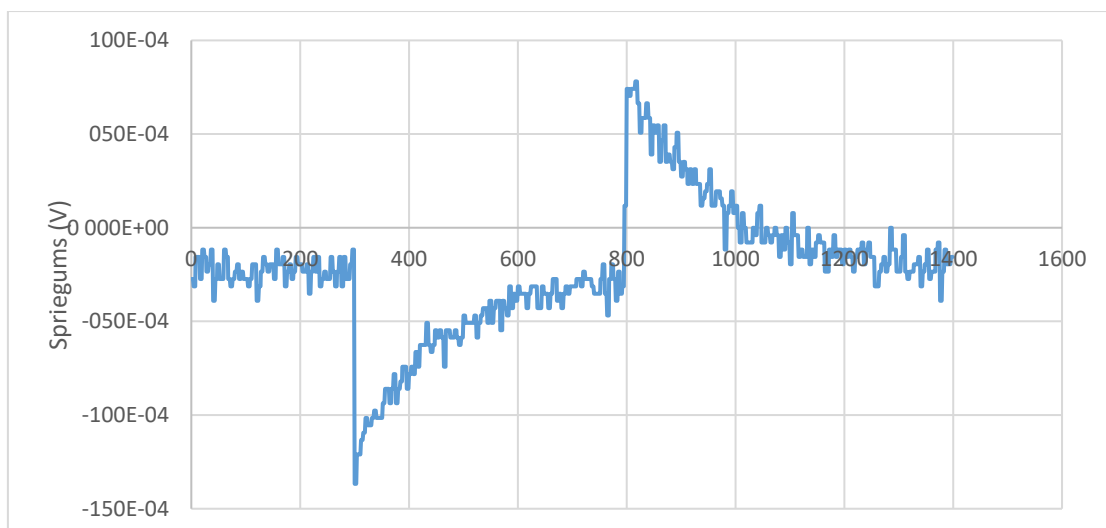


Att. 2.3.37. Regulatora izejas spriegums pie 0,1mA slodzes.

Tālāk tika veikts pilnas slodzes tests, kura laikā uz 500ms tika pieslēgta 100mA slodze. Šajā režīmā ir redzams sprieguma iekritiens pieslēdzot pilno slodzi (2.3.38. attēls). Pēc tieši izmērītajiem punktiem, slodzes pieslēgšanas brīdī spriegums nokritās par 33mV, savukārt atslēdzot slodzi, spriegums pieauga par 22mV attiecībā pret nominālo. Ja izmērītā signāla datu punktiem piemērotu vērtību vidējošanu, tad attiecīgi maksimums būtu 8mV un minimums - 14mV. Vidējotais signāls ir dots Att. 2.2.41. attēlā.



Att. 2.3.38. Regulatora izejas spriegums (zilā līkne), pieslēdzot impulsa slodzi (dzeltenā līkne).

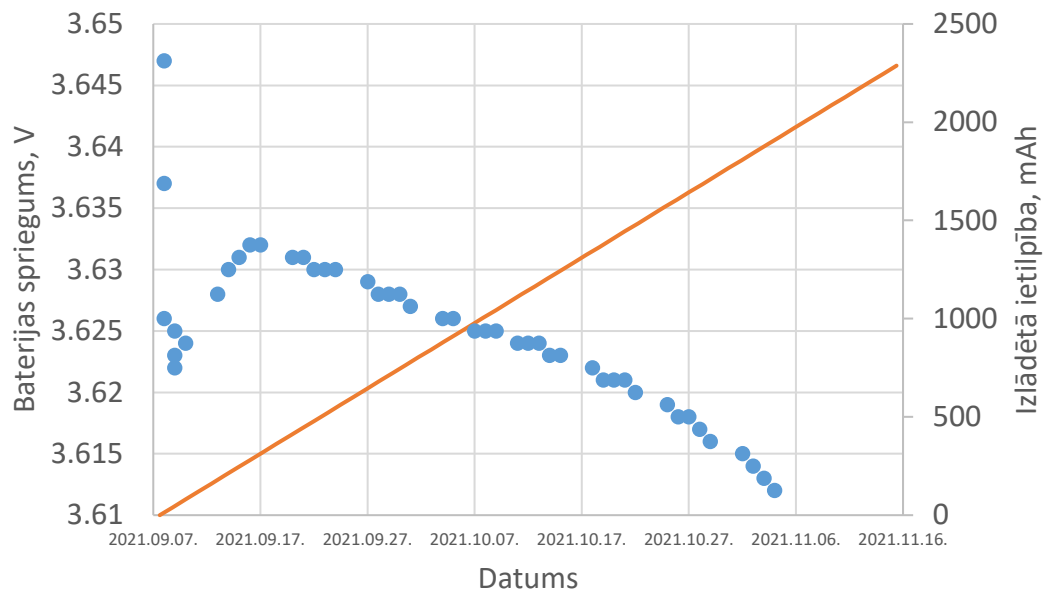


Att. 2.3.39. Regulatora izejas sprieguma līkne pēc mērījuma punktu vidējošanas.

Iespējams, ka šāds sniegums ir apmierinošs. Lai to precizētu, ir nepieciešams novērtēt visas sistēmas veiktspēju ar doto regulatoru. Vajadzības gadījumā varētu izskatīt iespēju paaugstināt regulatora izejas spriegumu, tā lai virknē vēl varētu ieslēgt lineāro spriegumu regulatoru.

Tālāk plānots doto regulatoru testēt ar bateriju ilgtermiņa testā, lai noskaidrotu regulatora efektivitāti/pašpatēriņu. Rezultāts būs salīdzināms ar iepriekš veikto ilgtermiņa baterijas izlādes testu, kurš tika veikts ar lineāro sprieguma regulatoru.

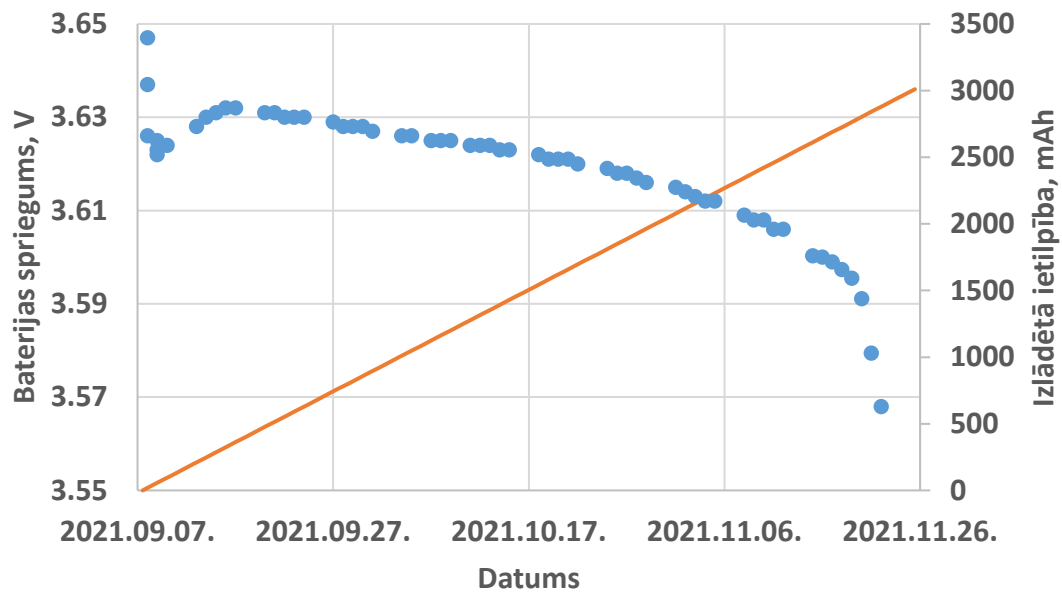
Att. 2.2.3.40. ir redzams, ka baterijas spriegums samazinās. Sākotnējo lineāro sprieguma kritumu pamazām nomaina eksponenciāls raksturs, kas indicē, ka tuvojas baterijas pilnīga izlādes. Uz doto brīdi, no baterijas tika izlādēta 2,28mAh lietderīgā ietilpība, kas ir 57% no nominālās. Izlādētā ietilpība attēlā dota ar oranžu taisni. Kaut kādus papildus baterijas enerģijas zudumus rada TPS63900 impulsregulators – testa noslēgumā tiks noskaidrots, cik liela daļa no baterijas enerģijas tika patērēta lietderīgi. Testu tiek plānots turpināt tik ilgi, līdz regulatora izejas spriegums nokritīsies zem pieļaujamā.



Att. 2.3.40. Baterijas spriegums izlādes laikā.

Papildus tika veikts darbs, lai noskaidrotu piemērotu baterijas ieslēgšanas risinājumu. Tika veikta tirgus izpēte, lai atrastu piemērotus integrētos risinājumus. Kā perspektīvākais risinājums varētu tikt izmantots kāds no *Texas Instruments* slodzes slēdžiem: TPS22916 vai TPS22917. Varētu izskatīt arī LM66100 ideālās diodes izmantošanu. Pētījumu veikšanas brīdī neviens no šiem elementiem nebija pieejams tirgū un paredzamais piegādes laiks bija vairāki mēneši. Alternatīvs integrētais risinājums ir MAX40203 no *Maxim Integrated (Analog Devices)*. Diemžēl šim elementam gan ir būtiski lielāka pašpatēriņa strāva, kas ir ļoti nevēlama. Šādos apstākļos tika uzsākts darbs pie sava, diskrētu elementu, risinājuma izveidošanas.

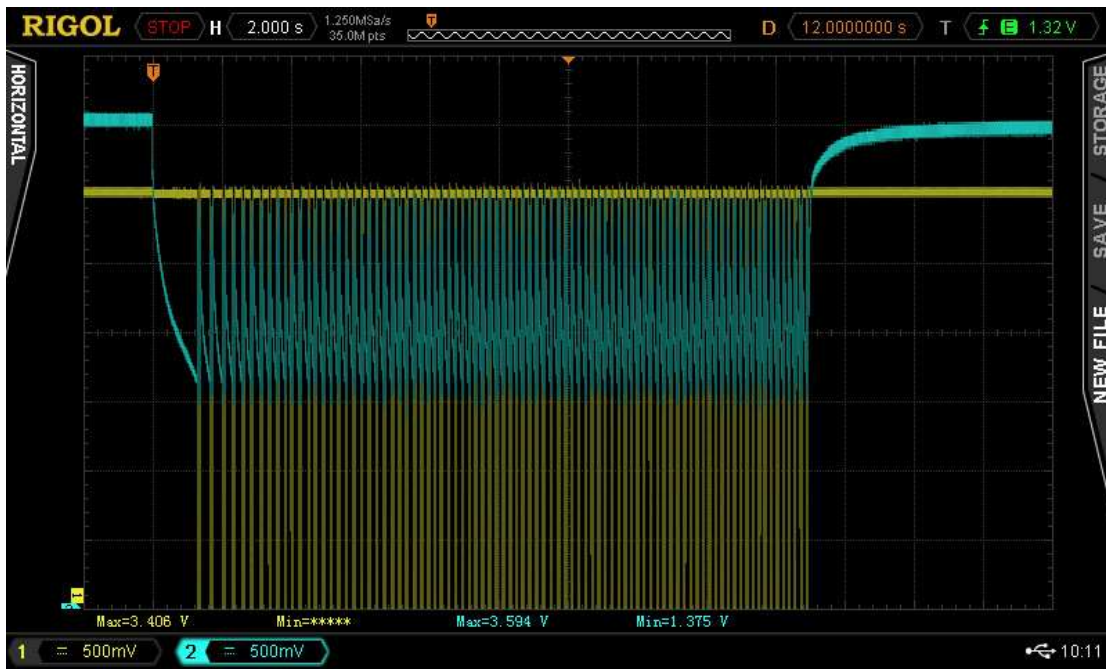
Att. 2. grafikā ar sarkanu taisni attēlots iegūtās enerģijas daudzums, kas sasniedza 3Ah, kas atbilst 75% no nominālās ietilpības. Baterijā noteikti vēl bija enerģija, bet tā vairs nespēja nodrošināt regulatoram nepieciešamo ieejas sprieguma līmeni lielās strāvas izlādes laikā. 22. novembrī spriegums vēl bija pietiekams, kā redzams Att. 2.3.42. novembrī tika konstatēts, ka baterijas spriegums lielās strāvas laikā samazinās tik ļoti, ka regulators vairs nav spējīgs nodrošināt stabili izejas spriegumu, kā redzams **Error! Reference source not found.** 2.3.43. Kā redzams baterijas spriegums izlādes laikā nokrītas līdz 1,375V, kas ir pārāk zems, lai regulators varētu veikt sprieguma paaugstināšanu. Minimālais regulatora ieejas spriegums ir 1,8V.



Att. 2.3.41. Baterijas spriegums izlādes laikā.



Att. 2.3.42. Baterijas (zils) un izejas (dzeltens) spriegums garajā izlādē 22. novembrī.



Att. 2.3.43. Baterijas (zils) un izejas (dzeltens) spriegums garajā izlādē 23. novembrī.

Tālāk tika izskatītas iespējas realizēt baterijas pieslēgšanas shēmu. Vispirms tika meklēti jau gatavi integrēti risinājumi. Tika konstatēts, ka piemēroti risinājumi ir tā saucamo ideālo diožu un slodzes slēdžu grupā. Tālāk tika veikta tirgus analīze. Tika atrasti vairāki komerciāli integrētie risinājumi, piemēram: MAX40203, MAX40200, ADP195, TPS22916, LM66100. Diemžēl lielākā daļa no atrastajiem integrētajiem risinājumiem šobrīd nav pieejama – tuvākais piegāžu laiks ir mēnešu diapazonā.

Līdz ar to, tika pieņemts lēmums izskatīt iespēju realizēt baterijas pieslēgšanas shēmu, **izmantojot diskrētus elementus**. Populāra shēma ir augstā gala sprieguma slodzes slēdzis, kurš izmanto p kanāla MOSFET tranzistoru.

Izvēloties piemērotu p kanāla MOSFET tranzistoru, ir jāņem vērā vairāki tranzistora parametri. Tranzistora U_{DS} spriegumam jābūt lielākam par 4V. Tranzistora vadāmības strāvai I_D ir jābūt lielākai par 100mA. Tranzistora atvērta stāvokļa kanāla pretestībai R_{DSon} jābūt mazākai par 0,5 Ω . Tranzistora izmēram jāiekļaujas kopējos dizaina ierobežojumos. Būtiski, ka tranzistora noplūdes strāvām gan izslēgtā stāvoklī, gan ieslēgtā stāvoklī jābūt mazām, lai nodrošinātu optimālu baterijas enerģijas izlietojumu.

Apskatot vairākus tirgū pieejamus tranzistorus, tika secināts, ka pases datos visiem ir viena un tā pati noplūdes strāva I_{DSS} (1uA), kā arī aizvara vadības noplūdes strāva I_{GSS} . Veicot literatūras analīzi, tika secināts, ka ražotāji šiem diviem lielumiem uzdod tradicionālu maksimālo vērtību, lai gan reālā vērtība varētu būt daudzkārt mazāka.

Literatūrā tika norādīts, ka noplūdes strāva korelē ar vadības sliekšņa spriegumu, maksimālo pieļaujamo U_{DS} spriegumu, kā arī ar maksimālo strāvu I_D .

Pēc šīs analīzes kļuva skaidrs, ka optimālā tranzistora izvēlei ir nepieciešams izveidot kandidātu tranzistoru izlasi un pārbaudīt atsevišķu tranzistoru modeļus, lai izvēlētos vienu ar labākajiem rādītājiem. Izlases veidošanai tika izmantots Digkey katalogs, jo tā piedāvājums ir plašs, kā arī tam ir labs elementu parametru filtrs.

Pēc kritisko parametru iestatīšanas, tika izvēlēti tranzistori ar dažādām specifiskām maksimālām un minimālām vērtībām, lai nodrošinātu pārklājumu ticamākajā tranzistoru lokā.

Tika izvēlēti tikai tie tranzistori, kuri ir ērti lodējamā virsmas montāžas korpusā. Tika izveidots saraksts ar 47 tranzistoru modeļiem. Tika veiktas darbības, lai šos modeļus iegādātos. Šobrīd tiek gaidīta piegāde.

p kanāla MOSFET tranzistoru testēšana

Tā kā visi piegādātie MOSFET tranzistori bija virsmas montāžas izpildījumā, tad vispirms tika izveidotas PCB plates, lai būtu iespējams realizēt pieslēgumu pie tranzistoriem un izmērīt tranzistoru noplūdes strāvu. Testa veikšanai tika izmantota FANSO ER18505 baterija kā sprieguma avots un Keithley DMM7510 multimetrs strāvas mērīšanai. Iegūtie rezultāti doti tabulā:

Modelis	IDSS [pA]	IDSSnom
BSO201SPHXUMA1	456	0.1-1uA
CMLDM8120 TR	465	5-500nA
CMLDM8120G TR PBFREE	263	5-500nA
CMUDM8005 TR PBFREE	46	100nA
DMG3415UFY4Q-7	829	1u
DMP2069UFY4-7	837	1u
DMPH1006UPSQ-13	2106	1u
FDMC610P	1036	1u
MCH6351-TL-W	832.1	1u
MIC94052YC6-TR	60.56	1u
NXV75UPR	86	1u
PJC7407_R1_00001	115	0.01-1uA
PJE8403_R1_00001	90.4	0.01-1uA
PMF170XP,115	34.7	1u
PXP018-20QXJ	309	1u
QS6U24TR	4	1u
RAL025P01TCR	231.2	10u
RQ1A070APTR	1456	10u
RQ1A070ZPTR	2706	1u
RQ3C150BCTB	2816	1u
RQ5C035BCTCL	313	1u
RQ5C060BCTCL	959	1u
RSF010P05TL	5.7	1u
RT1A060APTR	1316	10u
RTF010P02TL	4.1	1u

RW1C025ZPT2CR	105.7	1u
RW1C026ZPT2CR	330.5	1u
RZR025P01TL	237.6	1u
SI1077X-T1-GE3	691	1u
SI1499DH-T1-E3	2889	1u
SI2301CDS-T1-GE3	9.1	1u
SI4423DY-T1-E3	565.4	1u
SI4465ADY-T1-E3	574	1u
SI6423DQ	46	1u
SQ4153EY-T1_BE3	4616	1u
SQJ401EP-T1_GE3	1446	1u
SSM3J132TU,LF	11546	1u
SSM3J144TU,LXHF	396	1u
SSM6J213FE(TE85L,F	996	1u
SSM6J50TU,LF	89.3	10u

Tabulā dots testēto tranzistoru modeļu nosaukums, izmērītā noplūdes strāva un noplūdes strāva (IDSSnom) no passes datiem. Kā redzams, passes datos dotā noplūdes strāva var būt vairākus tūkstošus reižu lielāka par eksperimentāli izmērīto strāvu. Faktiski tā nav tuva uzdotajam nevienam no pārbaudītajiem tranzistoriem. Tā kā izmērītās vērtības ir ļoti zemas, tad var uzskatīt, ka šis tranzistora parametrs nav būtisks dotajam pielietojumam. Tālākos testos paredzēts mērīt doto tranzistoru vadošā stāvokļa kanāla pretestību, lai atrastu tranzistoru ar mazāko sprieguma kritumu.

Papildus tika veikti darbi, lai novērstu problēmas, kuras radušās ilgo elektronikas komponentu piegāžu laiku dēļ. Izvēlēta sprieguma pārveidotāja mikroshēma (TPS63900) būs pieejama tikai nākamā gada sākumā, līdz ar to, to ir nepieciešams aizvietot. Mikroshēmas ražotājs šobrīd piedāvā ļoti līdzīgu mikroshēmu (TPS63901), kura vēl nav pilnībā palaista tirgū – no ražotāja ir iespējams iegādāties testa versiju. Tika iegādātas 10 šādas mikroshēmas un tika uzsākta spiestās plates projektēšana, jo TPS63901 korpuss būtiski atšķiras no TPS63900 korpusa.

2.3.2. Autonoma elektroapgādes sistēmas, kura izmanto bateriju kā elektroapgādes avotu, pilnveidošana

Pārskata periodā tika turpināta piegādāto p kanāla MOSFET tranzistoru testēšana. Tika izmērīta visu tranzistoru noplūdes strāva IDSS, kā arī atvērtā stāvokļa pretestība RDson pie 3,6V sprieguma un 0,095A strāvas. Iegūtie rezultāti doti tabulā:

Modelis	IDSS (pA)	IDSS nom	Uds (mV)	RDson (mΩ)	RDson nom	Korpuss	\$ USD
AON6411	1203	1u	0,289	3,0	3,6-2,5	SOIC8	1,76
AONR21117	2600	1u	0,73	7,7	7,2-4,8	8 0,5	1
BSO201SPHXUMA1	410	0.1-1uA	0,627	6,6	12,9-8	SOIC8	1,83
CMLDM8120 TR	419	5-500nA	10,919	114,9	130-85	6 0,5	0,71

CMLDM8120G TR							
PBFREE	217	5-500nA	13,044	137,3	130-85	6 0,5	0,51
CMUDM8005 TR PBFREE	121	100nA	32,199	338,9	370-250	3 0,5	0,89
DMG3415UFY4Q-7	783	1u	3,731	39,3	52-39	3 0,5	0,44
DMP2069UFY4-7	791	1u	4,101	43,2	90-45	3 0,5	0,51
DMPH1006UPSQ-13	2060	1u	0,517	5,4	8-6	SOIC8	1,2
FDMC610P	990	1u	0,509	5,4	6,4-3,9	8 0,65	1,95
MCH6351-TL-W	786,1	1u	2,908	30,6	19-14	6 0,65	0,64
MIC94052YC6-TR	14,56	1u	8,905	93,7	70	6 0,65	0,72
NXV75UPR	40	1u	8,111	85,4	75	3 0,95	0,39
PJC7407_R1_00001	69	0.01-1uA	8,193	86,2	150-125	3 0,65	0,47
PJE8403_R1_00001	44,4	0.01-1uA	25,85	272,1	420-340	3 0,45	0,47
PMF170XP,115	-11,3	1u	16,811	177,0	175	3 0,65	0,42
PXP018-20QXJ	263	1u	1,687	17,8	22,5-14,4	8 0,65	0,59
QS6U24TR	-42	1u	62,927	662,4	600		0,65
RAL025P01TCR	185,2	10u	5,711	60,1	55-44	6 0,65	0,38
RQ1A070APTR	1410	10u	1,603	16,9	13-10	8 0,65	0,78
RQ1A070ZPTR	2660	1u	1,12	11,8	11-8	8 0,65	1,11
RQ3C150BCTB	2770	1u	0,646	6,8	6,1-4,8	8 0,65	1,08
RQ5C035BCTCL	267	1u	4,544	47,8	54-42	3 0,95	0,45
RQ5C060BCTCL	913	1u	1,945	20,5	20,3-16,1	3 0,95	0,72
RSF010P05TL	-40,3	1u	55,789	587,3	490	3 0,65	0,57
RT1A060APTR	1270	10u	2,817	29,7	17-14		0,45
RTF010P02TL	-41,9	1u	31,82	334,9	570-310	3 0,65	0,61
RW1C025ZPT2CR	59,7	1u	7,224	76,0	65-48	6 0,5	0,45
RW1C026ZPT2CR	284,5	1u	6,981	73,5	65-50	6 0,5	0,44
RZR025P01TL	191,6	1u	4,697	49,4	60-44	3 0,95	0,54
SI1077X-T1-GE3	645	1u	5,716	60,2	98-78	6 0,5	0,51
SI1499DH-T1-E3	2843	1u	5,847	61,5	95-78	6 0,65	0,7
SI2301CDS-T1-GE3	409	1u	7,149	75,3	142-112	3 0,95	0,41
SI3477DV-T1-GE3	1000	1u	1,617	17,0	23-17,5	6 0,95	0,78
SI4423DY-T1-E3	519,4	1u	0,523	5,5	9-7,5	SOIC8	2,79
SI4465ADY-T1-E3	528	1u	0,809	8,5	11-9	SOIC8	2,04
Si6423DQ	1340	1u	2,57	27,1	10,6-8,5		1,85
SQ4153EY-T1_BE3	4570	1u	0,472	5,0	10-8,32	SOIC8	1,72
SQJ123ELP-T1_GE3	2810	1u	0,26	2,7	6,4-4	SOIC8	1,66
SQJ401EP-T1_GE3	1400	1u	0,482	5,1	8-6	SOIC8	2,12
SSM3J132TU,LF	11500	1u	2,196	23,1	21-17	3 0,65	0,54
SSM3J144TU,LXHF	350	1u	8,442	88,9	123-93	3 0,65	0,45
SSM6J213FE(TE85L,F	950	1u	9,142	96,2	103-133	6 0,5	0,49
SSM6J50TU,LF	43,3	10u	6,586	69,3	64-100	6 0,65	0,41

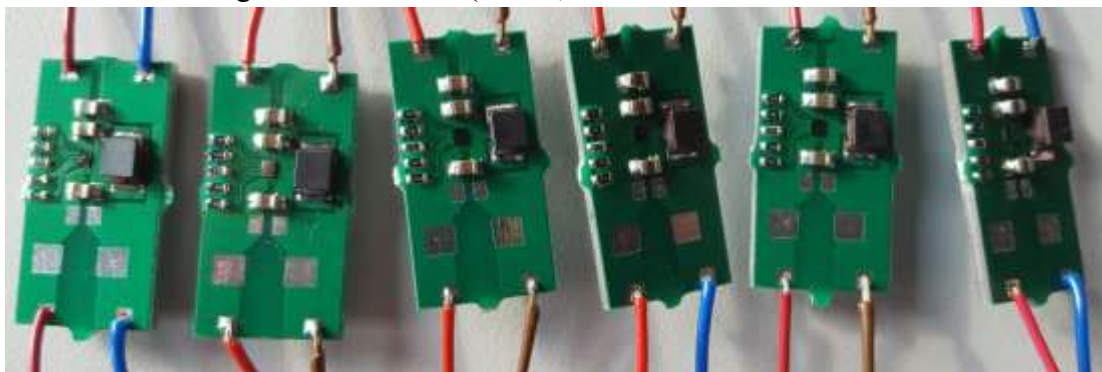
Ar gaiši zaļo krāsu iekrāsoti tie tranzistori, kuri pieejami SOIC8 (vai līdzīgā un aizvietojamā) korpusā. Šādā korpusā tiek ražoti tranzistori ar relatīvi lielu pieļaujamo strāvu un zemu RDSon vērtību. Tomēr šo tranzistoru noplūdes strāva ir relatīvi (bet nebūtiski) augstāka un cena ievērojami lielāka par citiem apskatītajiem tranzistoriem. Nākamā grupa ir tranzistori, kuri ir realizēti 8 kontaktu korpusā ar 0,65mm attālumu starp kontaktiem. Arī šie tranzistori ir ar zemu RDSon vērtību, bet starp tiem ir tādi modeļi, kuru cena ir tuva zemākajiem variantiem, piemēram PXP018-20QXJ un RQ1A070APTR. Pārējo tranzistoru cena un RDSon vērtība ir

mainīga viena korpusa diapazonā, bet arī starp šiem elementiem ir atrodami modeļi ar piemērotu R_{DSon} vērtību.

Kopumā no apskatītajiem 44 modeļiem, 35 pie 0,095A strāvas sprieguma kritums bija mazāks par 10mV – šo vērtību varētu uzskatīt par pieņemamu. Ja tiktu izvēlēts 6 kontaktu korpus ar 0,65mm attālumu starp kontaktiem, tad izmantojot RAL025P01TCR tranzistoru, tiktu sasniegta gan zemākā cena, gan pieņemams R_{DSon} , kā arī tiktu nodrošināta iespēja aizvietot tranzistoru ar citu, gadījumā ja šis modelis vairs nebūtu pieejams.

Tika pabeigta TPS63901 testa plates projektēšana un tika veikts plates pasūtījums no ārzemju uzņēmuma. Vietējie ražotāji nespēja izgatavot doto plati mazo urbumu un izolācijas attālumu dēļ. Šobrīd plašu piegāde ir pārcelta uz 30. martu.

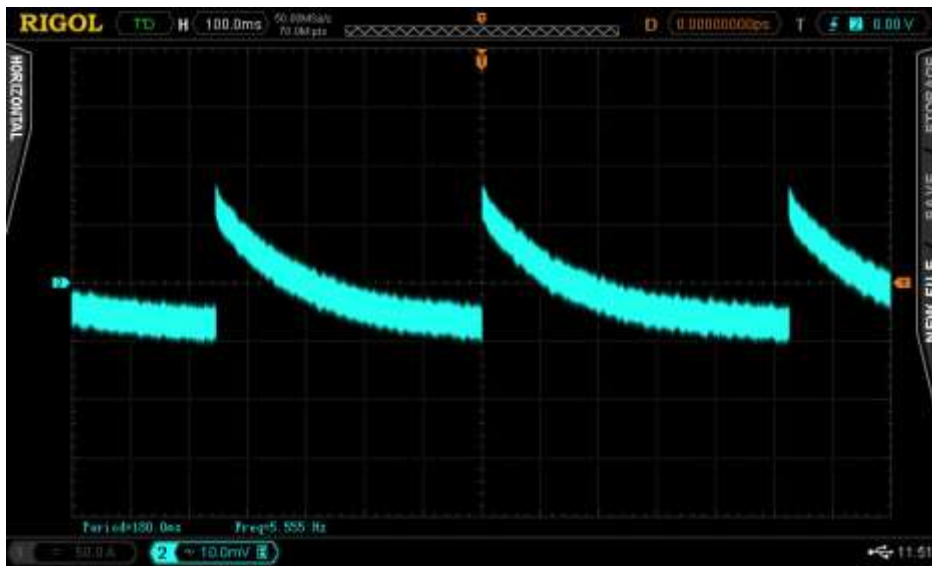
Pārskata periodā tika veikts darbs pie TPS63901 spriegumu regulatoru montāžas un testēšanas. Tika saņemtas izstrādātās TPS63901 plates un, izmantojot pieejamos materiālus, tika veikta sešu regulatoru montāža (Att. 1.).



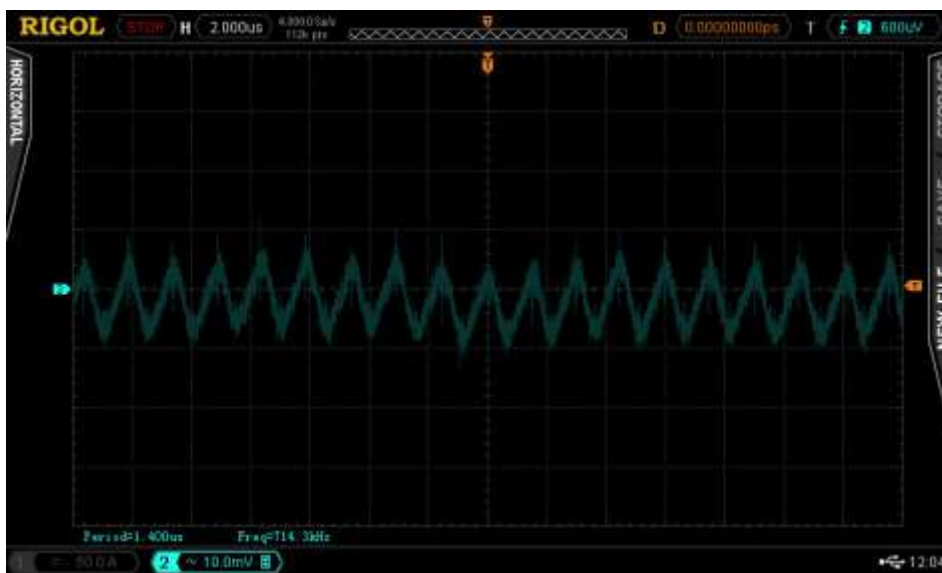
Att. 1. Seši salodēti sprieguma regulēšanas moduļi.

Visiem salodētajiem sprieguma regulatoru moduļiem tika veikta sākotnējā darbības pārbaude, kura bija veiksmīga. Lai pilnvērtīgi pārliecinātos par darbību, vajadzētu veikt katra moduļa papildus pārbaudi.

Viens no moduļiem tika testēts papildus, lai noskaidrotu vispārējo risinājuma sniegumu. Tukšgaitā izejas spriegumam ir 30mV pulsācija ar 5,5Hz frekvenci (Att. 2.). Palielinot slodzi līdz 18Ω pulsācijas amplitūda samazinājās līdz ~ 18 mV un frekvence pieauga līdz 714kHz (Att. 3.).

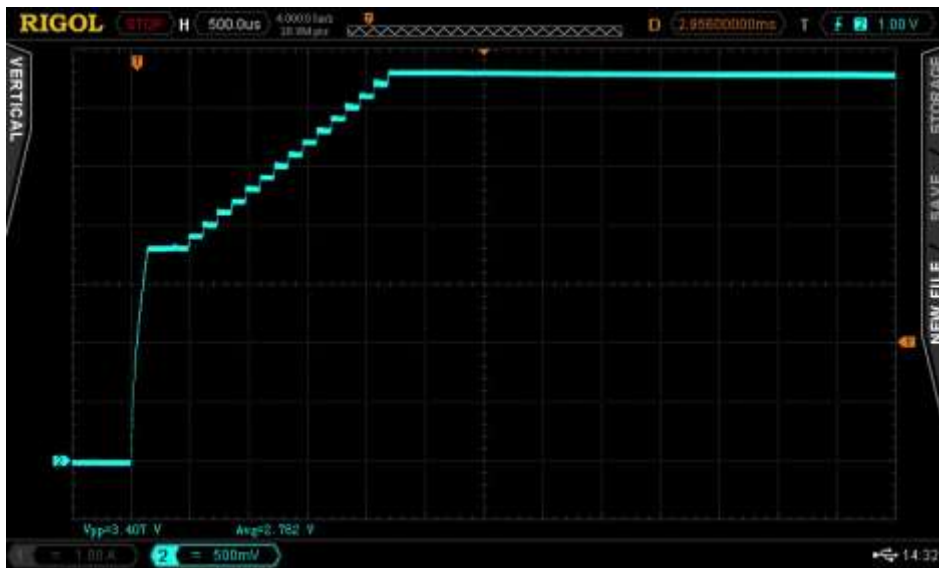


Att. 2. Izejas sprieguma pulsācijas tukšgaitā.



Att. 3. Izejas sprieguma pulsācijas pie 18Ω slodzes.

Tika pārbaudīts regulatora ieslēgšanās process pie dažādām slodzēm (3,6kΩ, 360Ω 36Ω 18Ω). Pie visām slodzēm regulatora palaišanas laiks būtiski nemainījās un bija apmēram 2,5ms (Att. 4. pie 18Ω slodzes).



Att. 4. Regulatora izejas spriegums palaišanas procesā pie 18Ω slodzes.

Ieslēgšanās process tika pārbaudīts arī paralēli slodzes rezistoram pievienojot elektrolīta kondensatoru ar $100\mu\text{F}$ un $220\mu\text{F}$ kapacitāti. Kondensatora pieslēgšana palaišanas laiku būtiski neietekmēja, bet izmainījās izejas sprieguma forma (Att. 5. pie 18Ω un $220\mu\text{F}$).

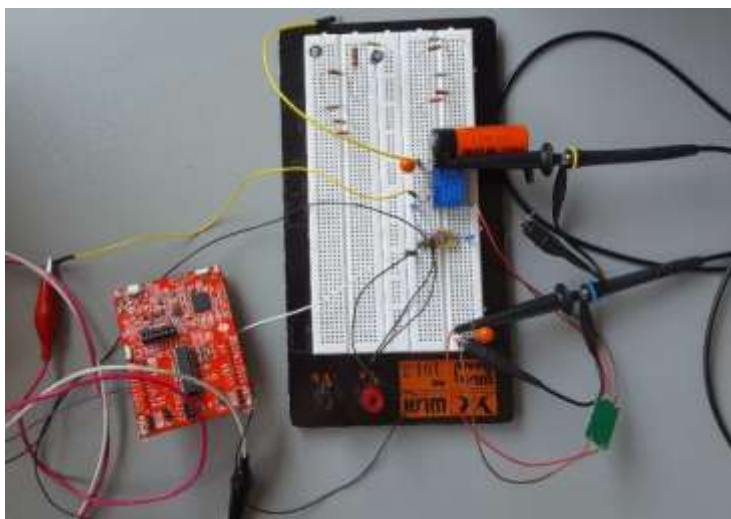


Att. 5. Regulatora izejas spriegums palaišanas procesā pie 18Ω un $220\mu\text{F}$ slodzes.

Plānots veikt vēl testus ar citām slodzēm kā arī atkārtot būtiskākos testus, izmantojot bateriju, jo šajā atskaitē aprakstītie testi tika veikti regulatora sprieguma ieejai izmantojot laboratorijas barošanas avotu.

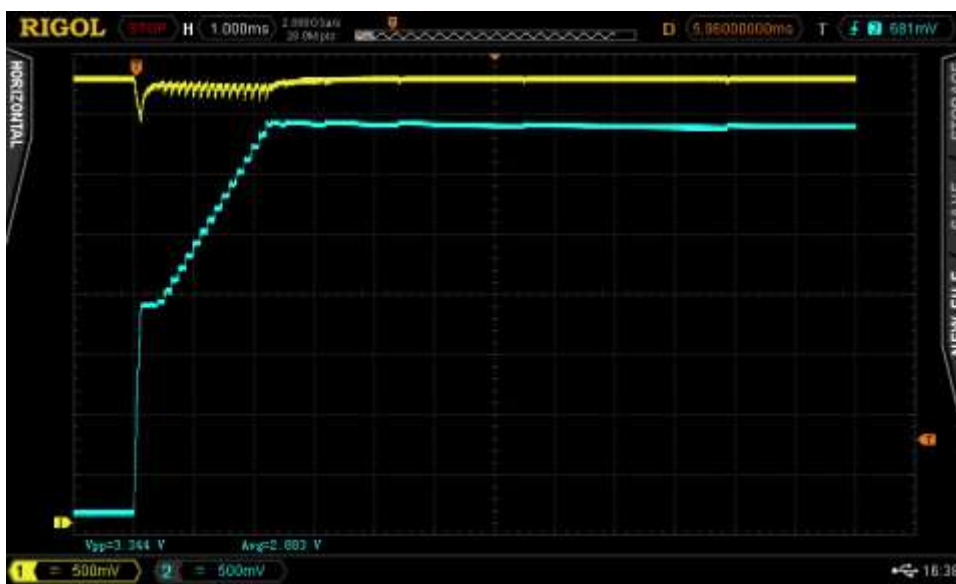
Pārskata periodā tika turpināts darbs pie TPS63901 spriegumu regulatoru testēšanas, pārbaudot regulatora un baterijas kombinācijas ieslēgšanās procesu. Lai veiktu testu, tika izveidots testa makets, kurā par enerģijas avotu tika izmantota Fanso ER18505 bateriju, relejs baterijas pieslēgšanai un TPS63901 regulators. Releja ieslēgšanai uz noteiktu laiku, tika

izmantots MSP430G2553 mikrokontroleris ar atbilstoši sastādītu darba programmu. Izveidotais testa makets redzams Att. 6. attēlā.



Att. 6. Regulatora un baterijas kombinācijas testa makets.

Mērījumu veikšanai tika izmantots osciloskops, ar kuru tika mērīts baterijas un regulatora izejas spriegums. Ja regulators tika darbināts bez papildus slodzes, tad tika iegūtas Att. 7. attēlā redzamās oscilogrammas. Ar dzeltenu līkni ir redzams baterijas spriegums, kuram pēc sākotnējā iekritiena seko mazāku pulsāciju sērija, kuras garums atbilst regulatora palaišanās laikam. Baterijas spriegums krīt līdz 3,1V līmenim, kas ir pietiekams, lai regulators normāli darbotos.



Att. 7. Regulatora izejas sprieguma (zils) un baterijas sprieguma (dzeltens) oscilogramma regulatora palaišanas brīdī.

Att. 8. attēlā redzams regulatora ieslēgšanās process, ja slodze ir 100uF tantala kondensators. Šajā gadījumā baterijas sprieguma sākotnējais iekritiens ir daudz lielāks, spriegumam nokrītot zem 1,8V robežas pie kuras regulators atslēdzas – kā redzams attēlā, regulatora izejas spriegums pēc īslaicīga kāpuma paliek nemainīgi zems, jo regulators ir avārijas stāvoklī. Pa šo laiku baterijas spriegums atjaunojas un pēc 10ms regulators atkārtoti

mēģina ieslēgties – šoreiz veiksmīgi, jo slodzes kondensators jau daļēji tika uzlādēts pirmajā ieslēgšanas mēģinājumā. No testa var secināt, ka baterijas strāvas spēja nav pietiekama.



Att. 8. Regulatora izejas sprieguma (zils) un baterijas sprieguma (dzeltens) oscilogramma regulatora palaišanas brīdī ar 100uF slodzi.

Lai uzlabotu baterijas strāvas spēju, tai paralēli tika pieslēgts 100uF tantala kondensators un tests tika atkārtots – tika iegūta Att. 9. attēlā redzamā oscilogramma. Šajā testā regulatora ieslēgšanās process ir līdzīgs tukšgaitas ieslēgšanās procesam, bet tomēr tas ir nedaudz ilgāks, jo papildus ir jāuzlādē slodzes kondensators. Baterijas sprieguma iekritiena pīķi novērša papildus kondensators, taču vispārīgi ir redzams, ka baterijai ir būtiski lielāks sprieguma kritums, kuru izraisa palielinātā sākotnējā slodzes strāva. Var secināt, ka, lai doto bateriju varētu izmantot bolusa prototipā, to ir nepieciešams aprīkot ar paralēlu kondensatoru, kurš uzlabotu baterijas strāvas spēju.



Att. 9. Regulatora izejas sprieguma (zils) un baterijas sprieguma (dzeltens) oscilogramma regulatora palaišanas brīdī ar 100uF slodzi un 100uF paralēli baterijai.

Pārskata periodā tika turpināts darbs pie TPS63901 spriegumu regulatoru testēšanas, pārbaudot regulatora un baterijas kombinācijas ieslēgšanās procesu. Lai nodrošinātu testa stabilitāti un līdzību ar reālo konstrukciju, tika izveidota spiestā plate (Att. 10.), kura apvieno bateriju, baterijas kondensatorus, P kanāla jaudas slēdzi (izvēlēts iepriekšējo aktivitāšu rezultātā) un līgzu sprieguma regulatoram, kurā savukārt var pieslēgt dažādas testa slodzes (Att. 11): $35,7\Omega$ rezistoru bez kondensatoriem, ar $100\mu\text{F}$ un $200\mu\text{F}$ kondensatoriem. Testa kontrolējamie parametri ir baterijas pieslēgums, kura vietā var izmantot laboratorijas barošanas bloku, baterijas kondensatori (to skaits un kapacitāte), jaudas slēdža vadība (baterija tiek pieslēgta ar slēdzi vai regulatoru), sprieguma regulatora vadība (baterija tiek pieslēgta aktivizējot regulatora darbību). Abu vadāmo elementu vadībai tika izmantots MSP430G2553 mikrokontroleris, kurš, pēc pogas nospiešanas, ģenerēja 100ms ieslēgšanas signālu vienam vai otram elementam, lai taupītu baterijas resursu. Pēdējais kontrolējamais parametrs ir regulatoram pieslēgtā slodze. Izmantojot osciloskopu, tika mērīti divi sistēmas snieguma parametri: avota spriegums (baterija vai barošanas bloks) un slodzes spriegums (regulatora izejas spriegums).



Att. 10. Barošanas sistēmas testa plate.



Att. 11. Testa slodzes, kuras sastāvēja no $35,7\Omega$ rezistora un diviem $100\mu\text{F}$ kondensatoriem.

Pirmajā testu sērijā (Att. 12. - Att. 20.) kā avots tika izmantots laboratorijas barošanas bloks bez papildus kondensatoriem. Barošanas bloka izmantošana atļāva veikt papildus ieslēgšanās testu – sistēma tika ieslēgta, ieslēdzot barošanas bloku. Līdz ar to, sistēma tika testēta ar trīs ieslēgšanas variantiem un trīs veidu slodzēm (tukšgaita, $35,7\Omega$ un $35,7\Omega+100\mu\text{F}$). Pēc testiem

var secināt, ka regulators visos gadījumos ieslēdzas līdzīgi, bez būtiskām atšķirībām. Papildus var apstiprināt, ka regulators sāk ieslēgties 6ms pēc ieejas sprieguma pieslēgšanas. Gadījumā, ja slodzē ir kapacitāte, ir apgrūtināta avota barošanas bloka darbība – tā izejas spriegumā ir paaugstināts trokšņa līmenis.



Att. 12. Ieslēgšana, ieslēdzot barošanas bloku, tukšgaitā. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 13. Ieslēgšana ar barošanas bloku, ieslēdzot ar jaudas slēdzi, tukšgaitā. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 14. Ieslēgšana ar barošanas bloku, ieslēdzot ar regulatoru, tukšgaitā. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 15. Ieslēgšana, ieslēdzot barošanas bloku un ar $35,7\Omega$ slodzi. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 16. Ieslēgšana ar barošanas bloku, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar $35,7\Omega$ slodzi. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 17. Ieslēgšana ar barošanas bloku, ieslēdzot ar regulatoru un ar $35,7\Omega$ slodzi. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 18. Ieslēgšana, ieslēdzot barošanas bloku un ar $35,7\Omega+100\mu\text{F}$ slodzi. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 19. Ieslēgšana ar barošanas bloku, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar $35,7\Omega+100\mu\text{F}$ slodzi. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 20. Ieslēgšana ar barošanas bloku, ieslēdzot ar regulatoru un ar $35,7\Omega+100\mu\text{F}$ slodzi. Barošanas bloka spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.

Pēc testiem ar barošanas bloku, tika veikta otrā testu sērija (Att. 21. - Att. 28.), kurā kā avots tika izmantota baterija, ar paralēli pievienotu $100\mu\text{F}$ kondensatoru. Šī barošanas konfigurācija tika testēta tukšgaitā (Att. 21. un Att. 22.), ar $35,7\Omega$ slodzi (Att. 23. un Att. 24.), ar $35,7\Omega+100\mu\text{F}$ slodzi (Att. 25. un Att. 26.), ar $35,7\Omega+200\mu\text{F}$ slodzi (Att. 27. un Att. 28.). Barošana tika ieslēgta ar jaudas slēdzi un ar regulatoru. Oscilogrammās ar jaudas slēdža ieslēgšanu, labi redzams ir baterijas sprieguma iekritiens 6ms pirms regulatora sāk darboties. Šo iekritienu izraisa regulatora ieejas kondensatoru pieslēgšana pie baterijas – tie tiek uzlādēti ar strāvas impulsu un rezultātā baterijas spriegumā ir iekritiens. Ja ieslēgšanai tiek izmantots pats regulators, tad dotais iekritiens nav redzams oscilogrammā, jo tas notika kaut kad iepriekš, kad regulatora ieejai tika pieslēgta baterija. Darbojoties ar slodzi, kuras kapacitāte nepārsniedz $100\mu\text{F}$, regulators ieslēdzas normāli. Tomēr no oscilogrammām var redzēt, ka baterijas spriegums darba režīmā ir zemāks par regulatora izejas spriegumu ($3,3\text{V}$), kas norāda uz vāju baterijas veiktspēju. Baterijas pases datus, izlādes grafikā ir redzams, ka pie 33Ω slodzes baterijas spriegumam būtu jābūt ap $3,4\text{V}$, savukārt uzņemtajās oscilogrammās spriegums ir ap $3,15\text{V}$. Mērījums norāda uz baterijas neatbilstību pases datiem. Kad slodzes kapacitāte tika palielināta līdz $200\mu\text{F}$, tad baterijas sprieguma iekritiens regulatora ieslēgšanās brīdī bija tik liels, ka regulators pārtrauca ieslēgšanās procesu un pēc 1ms atkārtoja ieslēgšanas procedūru – šoreiz veiksmīgi. Šāda “dubultā” ieslēgšanās nav pieļaujama, jo var novest pie bolusa vadības sistēmas nestabilitātes. Līdz ar to ir nepieciešami papildus baterijas kondensatori, lai uzlabotu baterijas pīķa strāvas spēju.



Att. 21. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi, tukšgaitā. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 22. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar regulatoru, tukšgaitā. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 23. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 24. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 25. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω +100 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 26. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω +100 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 27. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω +200 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 28. Ieslēgšana ar bateriju+100 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω +200 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.

Lai uzlabotu baterijas sniegumu un panāktu normālu ieslēgšanās procesu, baterija tika aprīkota ar 200 μ F kondensatoru un tika atkārtoti iepriekš aprakstītie testi. Rezultāti (Att. 29. - Att. 34.) liecina, ka arī šajā gadījumā, ja slodzē ir 200 μ F, tad regulators nespēj normāli ieslēgties (Att. 33. un Att. 34.). Baterija tika aprīkota ar vēl vienu kondensatoru, kopējai kapacitātei sasniedzot 300 μ F, un tika atkārtota eksperimentu sērija (Att. 35. - Att. 40.).

Ar šo konfigurāciju regulators spēja ieslēgties normāli, tomēr ar būtisku sprieguma iekritienu, kura laikā baterijas spriegums samazinās līdz aptuveni 2,0V – pie 1,8V ieejas sprieguma regulators vairs nespēj darboties. Ja uzskata, ka šāds ieslēgšanas process ir unikāls (notiek vienu reizi bolusa darbības laikā), kā arī, ja slodzes strāva ir mazāka par 100mA (kas tika izmantota testā), tad var pieņemt, ka ar doto konfigurāciju regulators ir spējīgs darboties un nodrošināt nepieciešamo sniegumu. Interesanta nianse, ko varēja konstatēt pēc šīs eksperimentu sērijas ir, ka veicot pēdējo ieslēgšanas mēģinājumu, baterijas spriegums stabilā režīmā ir augstāks nekā iepriekšējos mēģinājumos. Šo parādību izskaidro tālākie eksperimenti.



Att. 29. Ieslēgšana ar bateriju+200 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 30. Ieslēgšana ar bateriju+200 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 31. Ieslēgšana ar bateriju+200 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω +100 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 32. Ieslēgšana ar bateriju+200 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω +100 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 33. Ieslēgšana ar bateriju+200 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω +200 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



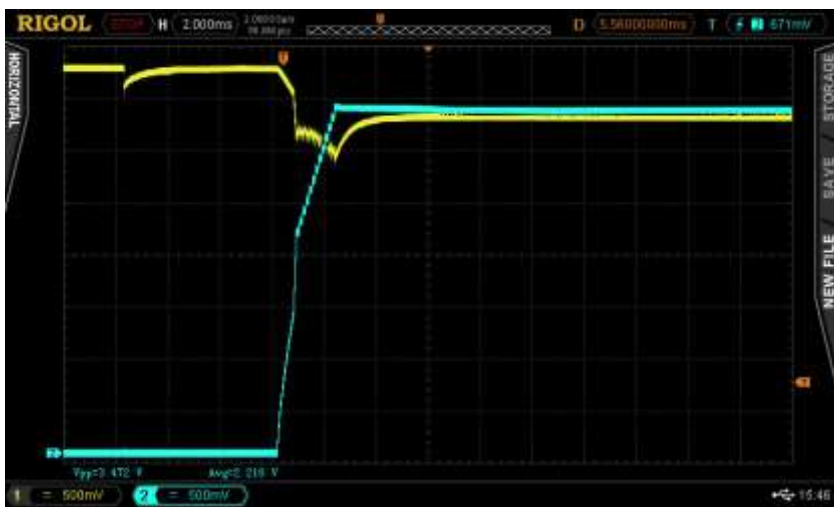
Att. 34. Ieslēgšana ar bateriju+200 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω +200 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 35. Ieslēgšana ar bateriju+300 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 36. Ieslēgšana ar bateriju+300 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 37. Ieslēgšana ar bateriju+300 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar 35,7 Ω +100 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 38. Ieslēgšana ar bateriju+300 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω +100 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 39. Ieslēgšana ar bateriju+300 μ F, ieslēdzot ar jaudas slēdži un ar 35,7 Ω +200 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 40. Ieslēgšana ar bateriju+300 μ F, ieslēdzot ar regulatoru un ar 35,7 Ω +200 μ F slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.

Apstākļu sakritības dēļ, ar bateriju netika veikti eksperimenti bez papildus barošanas kondensatoriem. Pētnieciskos nolūkos, pēc visu iepriekšējo eksperimentu veikšanas, no testa plates tika nolodēti visi baterijas kondensatori. Šajā procesā, nejaušības dēļ, baterija tika īslaicīgi īsslēgta. Tālāk tika atkārtoti tie paši ieslēgšanas mēģinājumi (Att. 42. - Att. 47.). Jau ar tīri rezistīvu slodzi tika iegūtas būtiskas atšķirības – baterijas spriegums stabilā režīmā bija būtiski augstāks kā iepriekšējos mēģinājumos. Turpinot sēriju, tika noskaidrots, ka šajos apstākļos regulators spēj normāli ieslēgties gan ar 100 μ F, gan ar 200 μ F slodzi. Viens no skaidrojumiem varētu būt, ka baterija eksperimentu laikā uzkarša un pieauga tās spriegums. Lai šo hipotēzi pārbaudītu, testi tika atkārtoti nākamajā dienā un tika iegūti tādi paši rezultāti. Iespējamais skaidrojums ir, ka baterija pašā darba mūža sākumā darbojas sliktāk nekā pēc nelielas izlādes. Līdzīga parādība tika novērota šīs pašas baterijas ilgstošās izlādes laikā, kad veicot sprieguma mērījumus, baterijas spriegums pieauga vairākas dienas pēc kārtas, lai gan tā visu laiku tika izlādēta. Apstiprinājums ir rodams baterijas pases datos, kuros ir dota baterijas izlādes raksturlīkne (). Tajā ir redzams, ka pie lielām slodzēm ir sagaidāms, ka baterijas spriegums pirmajās izlādes minūtēs pieaugs. Iepriekš veiktie eksperimenti norāda, ka sprieguma pieaugums ir novērojams arī pie daudz mazākām izlādes strāvām, bet tas ir mazāks un būtiski ilgāks.

Pēc eksperimentu veikšanas var secināt ka dotā baterija (FANSO ER18505) ar sprieguma regulatoru TPS63901 ir piemērota bolusa barošanas nodrošināšanai, ja baterija tiek aprīkota ar vismaz 300 μ F kondensatoru, vai ja baterija pirms ievietošanas konstrukcijā tiek “iesildīta”, veicot izlādi, piemēram ar 0,4A strāvu 6 minūtes.



Att. 41. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar jaudas slēdzi, tukšgaitā. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 42. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar regulatoru, tukšgaitā. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 43. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar $35,7\Omega$ slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 44. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar regulatoru un ar $35,7\Omega$ slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 45. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar $35,7\Omega+100\mu\text{F}$ slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



Att. 46. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar regulatoru un ar $35,7\Omega+100\mu\text{F}$ slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.



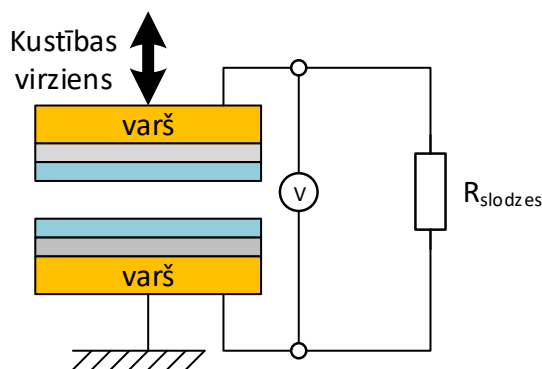
Att. 47. Ieslēgšana ar bateriju, ieslēdzot ar jaudas slēdzi un ar $35,7\Omega+200\mu\text{F}$ slodzi. Baterijas spriegums – dzeltens, slodzes spriegums – zils.

2.3.3. Autonomas elektroapgādes sistēmas, balstītas uz elektrostatiska principa, izstrāde.

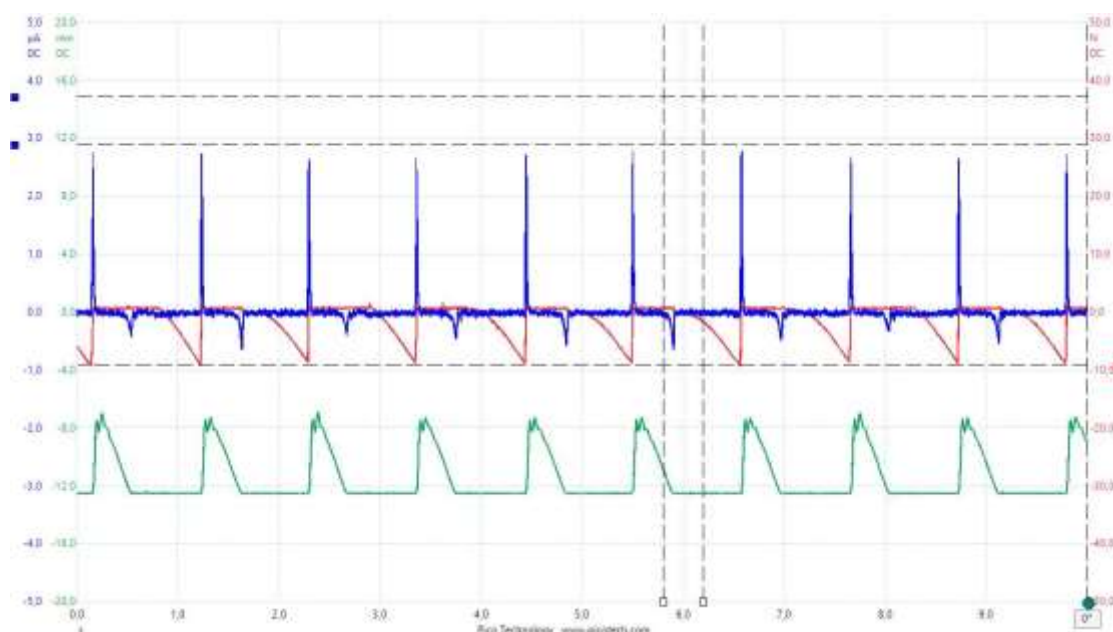
Tiek veikti statistiska ģeneratora mērījumi: īsslēguma strāvas; sprieguma krituma vērtībā pie dažādām pretestības vērtībām.

Eksperiments parādīts parādīta 2.3.44 attēlā. Elektrostatiskais ģenerators parādīts kā divas vara plāksnītes pārklātas ar polimeriem (zils un pelēks). Viena plāksnītē apakša fiksētā, augšējā plāksnītē pārvietojas augša un lēja, tāda veida ģenerē elektrisko enerģiju. Enerģija tiek fiksēta izmantojot sprieguma mērītāju picoscope. Veikti mērījumi pie dažādām elektriskām slodzēm $R_{slodzes} = 1 [\Omega]$; $R_{slodzes} = 10 [M\Omega]$; $R_{slodzes} = 100 [M\Omega]$; $R_{slodzes} = 550 [M\Omega]$; $R_{slodzes} = 1 [G\Omega]$; $R_{slodzes} = 10 [G\Omega]$.

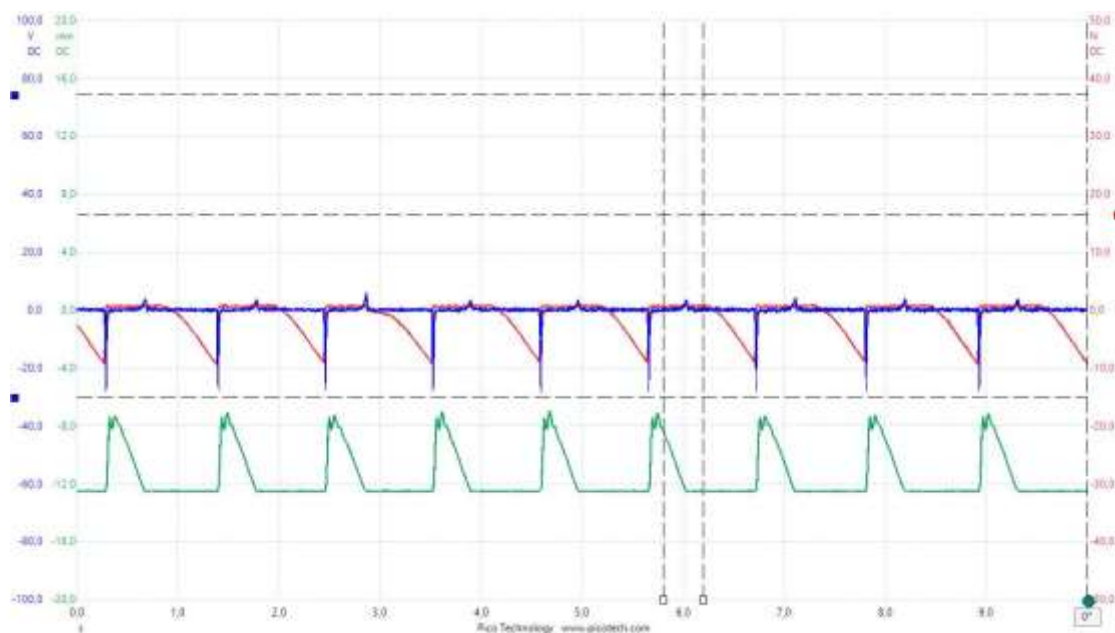
Mērījumu rezultāti tiek parādīti 2.3.44.-2.3.47. attēlos.



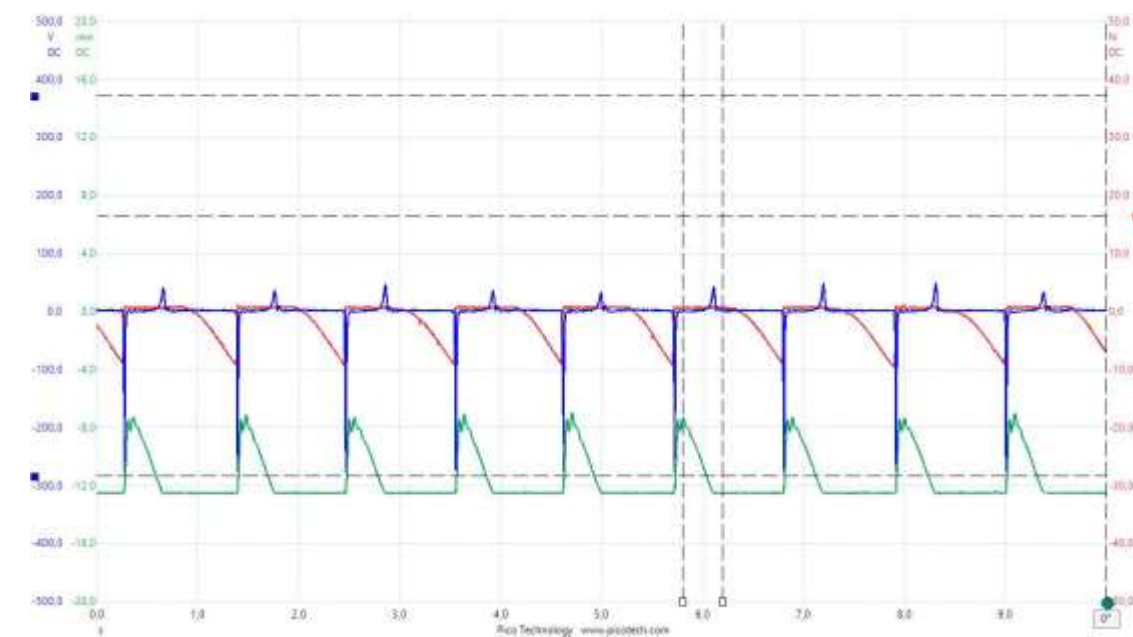
2.3.44. attēls. Elektrostatiskā ģeneratora testēšanas stends



2.3.45. attēls. Īsslēguma strāvas režīms

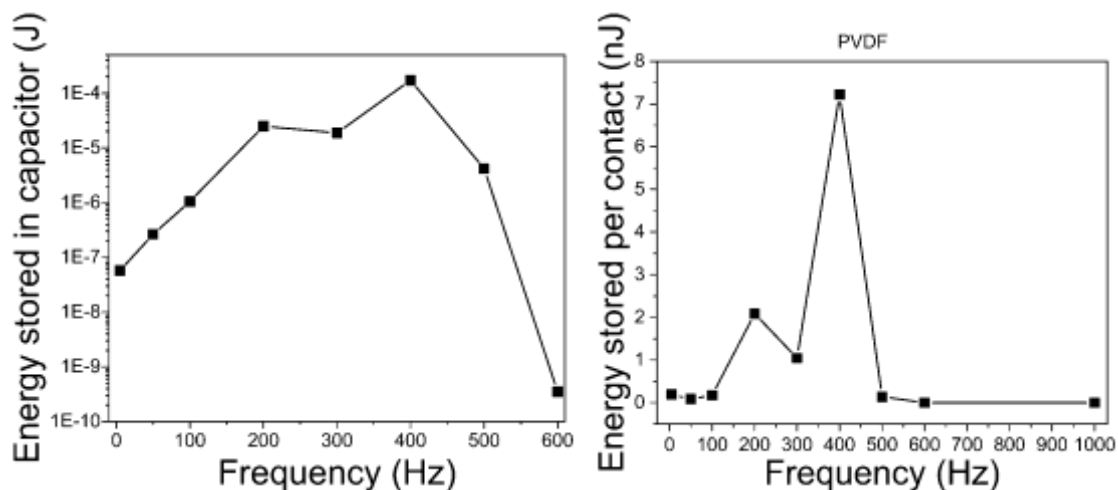


2.3.46. attēls. elektrostatiskais ģenerators noslogots uz 10 Megaomu slodzi.



2.3.47.attēls. elektrostatiskais ģenerators noslogots uz 100 Megaomu slodzi.

Tiek izpētītas enerģijas uzkrāšanas iespējas. 2.3.48. attēlā var redzēt uzkrāts enerģijas daudzums kondensatorā 13.54 uF vienas minūtes laikā.



2.3.48. Uzkrāts enerģijas daudzums kondensatorā 13.54 uF

Datu nolasīšanās un uzkrāšanas ierīces izstrāde. Izvēlētas iekārtas:

- Akselerometrs – žiroskops MPU6040
- Catalex – MicroSD kartes adapteris
- Mikrokontrolera platforma Arduino Pro mini
- Baterijas turētājs;

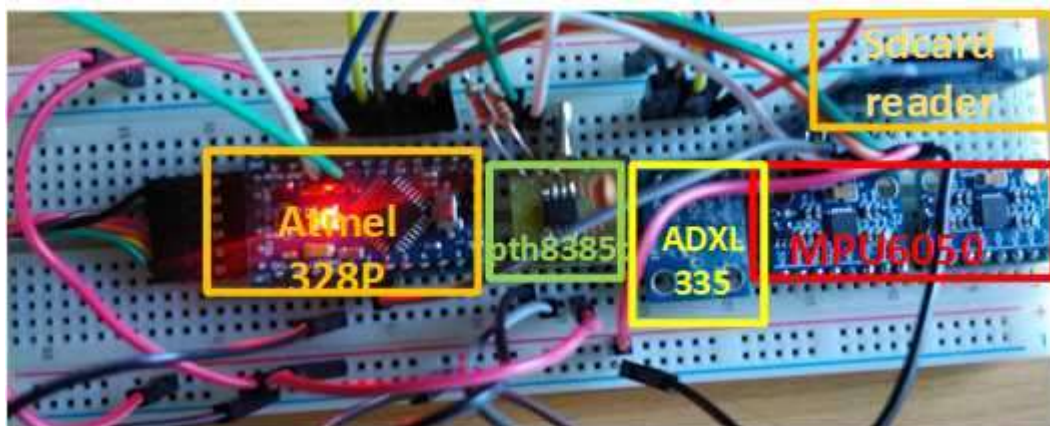
Akselerometra – žiroskopa datu logošanas ierīces izstrādē un izpētē:

Ar šo mērķi tiek salikta, un programmētā akselerometra – žiroskopa sistēma, nodrošināta datu savākšana un glabāšanā SD kartē. Nodrošinātā barošana no 3 AAA paralēli savienotam Alkoline elementiem. Tiek uzbūvēts augstsprieguma avots 0:30 kV priekš triboģeneratora polarizācijas ierīces. Izstrādātām maketam pagaidām netika pievienots reālā laika pulkstenis.

Tiek izgatavots vibrācijas datu savākšanas ierīces prototips.

Ierīcē sastāv no diviem MPU6050 akselerometriem - žiroskopiem (nostrādā jā paātrinājums pārsniedz noteikto sliekšni), viena ADXL335 akselerometra (veic mērīšanas paātrinājumam katru 1 ms). Reālā laika pulkstenis pth8583t reģistrē laiku. Mikro SD kartes adapteris nodrošina datu ierakstīšanu mikro SD kartē. Visu procesu kontrole ar mikrokontrolieri Atmel p328, izvietoto uz arduino pro mini platformas.

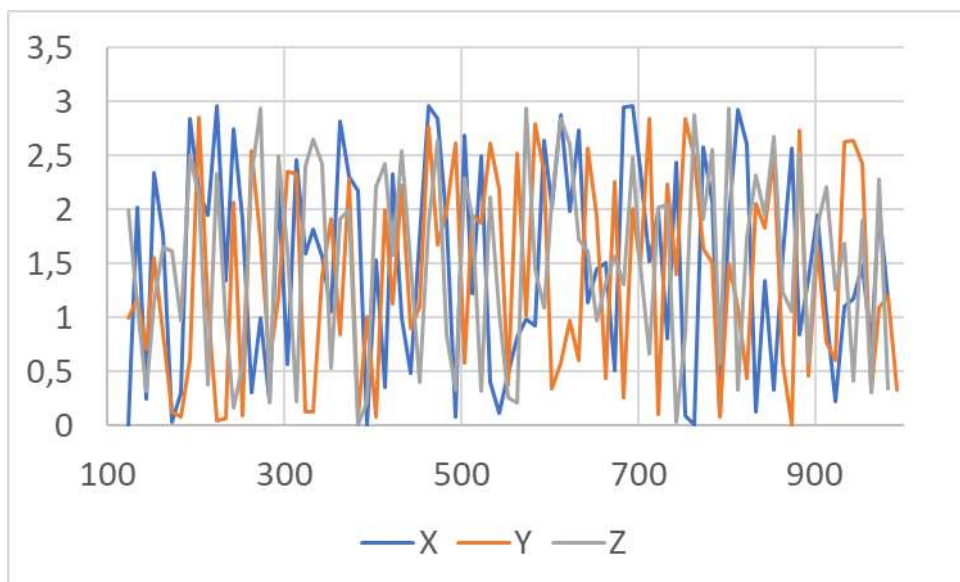
Ar šo maketi - prototipu turpmāk notiek sd kartes atmiņas un enerģijās patēriņā eksperimentālie mērījumi (skat. 2.3.49. attēls).



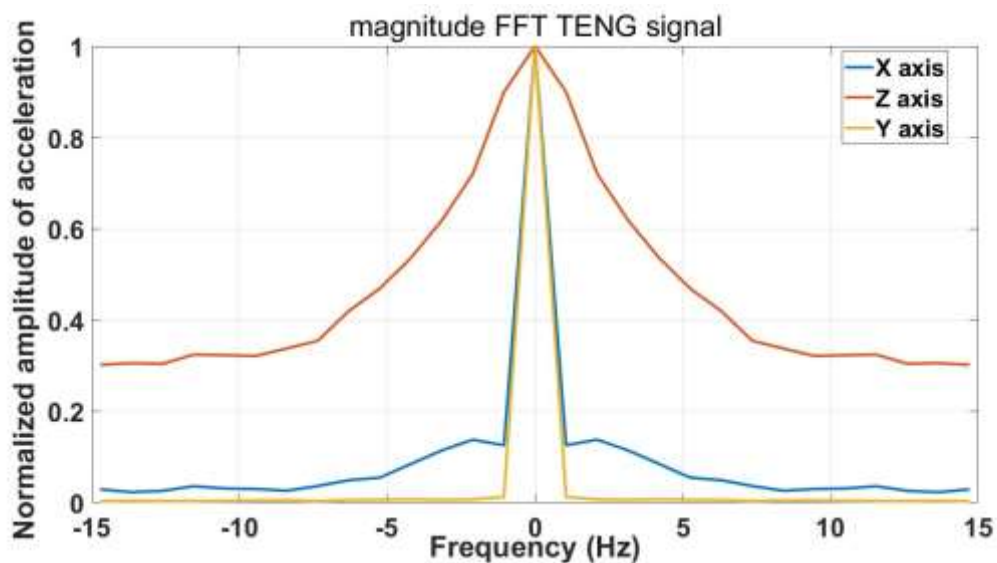
2.3.50. attēls. Vibrācijas datu savākšanas ierīces prototips

Pēc datu ievākšanas un prototipa izstrādes tiek veikti ierīces testi. Testēšana notika, izmantojot automašīnu. Ierīce tika ievietota lodē, kas varēja brīvi pārvietoties automašīnas bagāžas nodalījumā. Mērķis bija noteikt ierīces darba laiku izmantojot 3 AAA tipa baterijas plaši maināma temperatūras diapazonā (no +10 C līdz + 60 C). Tika arī noteikts iespējamās saražotās enerģijas daudzums, projicējot izmērītās mehāniskās vibrācijas, un izmērīt materiāla datus. Par šo tēmu tika publicēts zinātniskais raksts “Concept of Low-Power Sensor Network Module for Diagnostic of Stomach Diseases in Cows” starptautiskajā konferencē RTUCON2019, kā arī veikti mērījumi ar cilvēka kustību 24 stundu laikā.

Rezultāti parādīti 2.3.51. – 2.3.52. attēlam.



Att. 2.3.51. Paātrinājuma dati no automašīnas iedarbības laika diagramma mērvienības $g = 9.8$ $[m/s^2]$.



Att. 2.3.52. Paātrinājumā dati no automašīnas iedarbības frekvences spektrs mērvienības $1 = 30$ $[m/s^2]$.

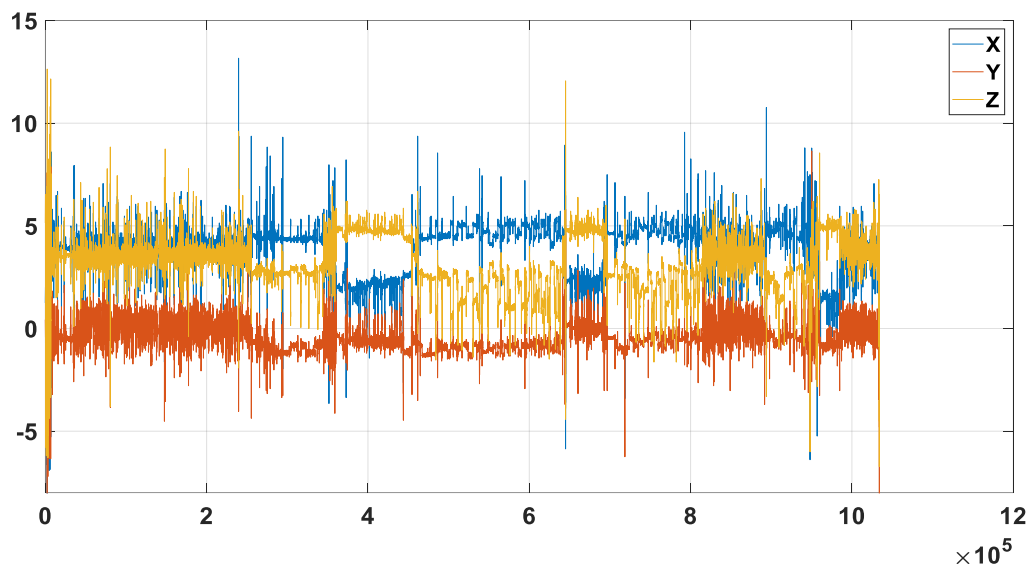
Tab. 2.9. Mērījumu rezultāti.

Paātrinājumā enerģijas avots	3 AAA baterijas darba mūžs	Analoga akcelerometra relatīvā kļūdā	Digitālā akceleratora relatīvā kļūdā	Temperatūras izmaiņas	Iespējamās saražotas enerģijas daudzums
Automašīnā	6 nedēļas	>2%	15%	10C – 50C	2,74 [mW]
Cilvēks		>1%	N/A	10C – 25C	0,00703 [mW]

Tiek veikti govu kustības mērījumi LLU veterinārmedicīnas fakultātē. Mērķis noskaidrot iespējamo saražoto enerģiju, ja triboelektriskais nanoģenerators atrastos uz govu. Mērījumi tika uzņemti divas nepilnās dienas. Ar soli 25 [ms].



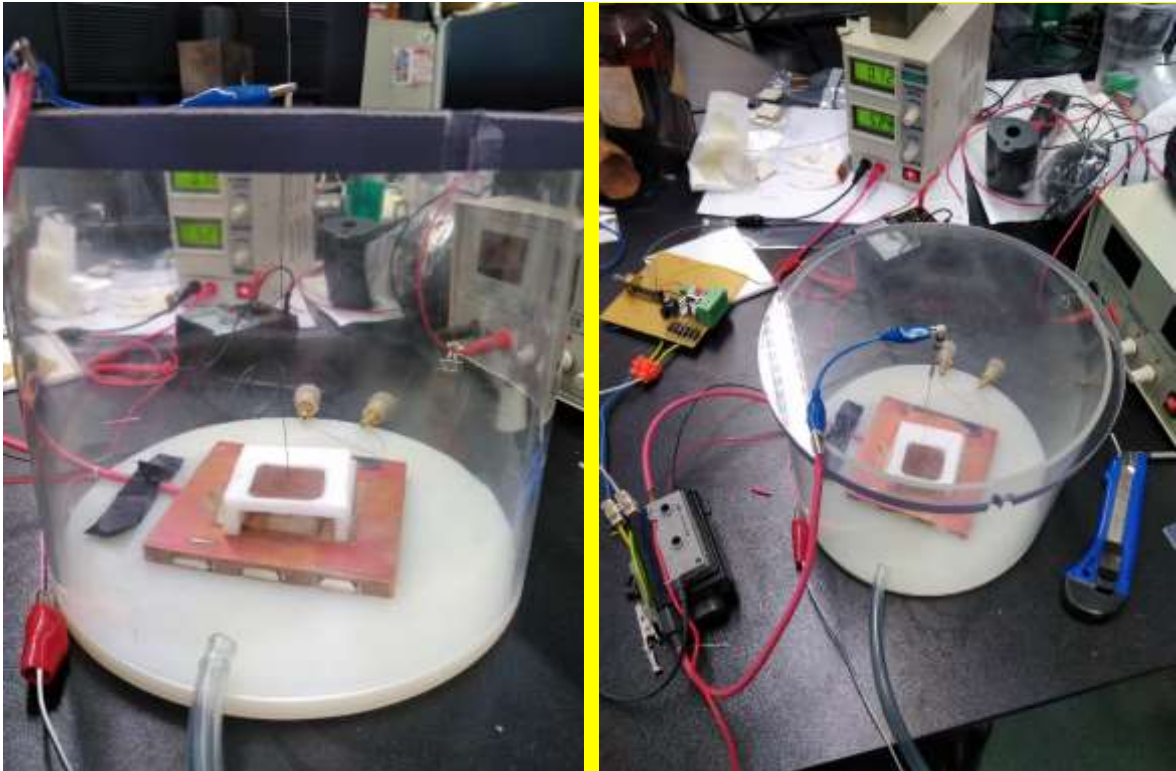
Att. 2.3.53. Datu savākšanas ierīces izvietojums, mērīšanas procesā



Att. 2.3.54. Paātrinājuma mērījumu rezultāti.

Aprēķināti ģenerētas jaudas rezultāti attēloti tabula:

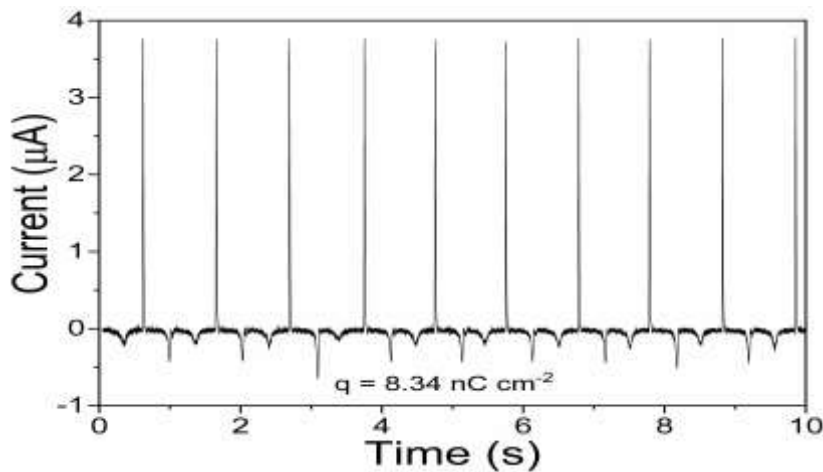
Ass	1 stunda	Diena 1	Diena 2
X	0.0187	0.088	0.088
Y	0.0158	0.089	0.089
Z	0.0183	0.0115	0.0115



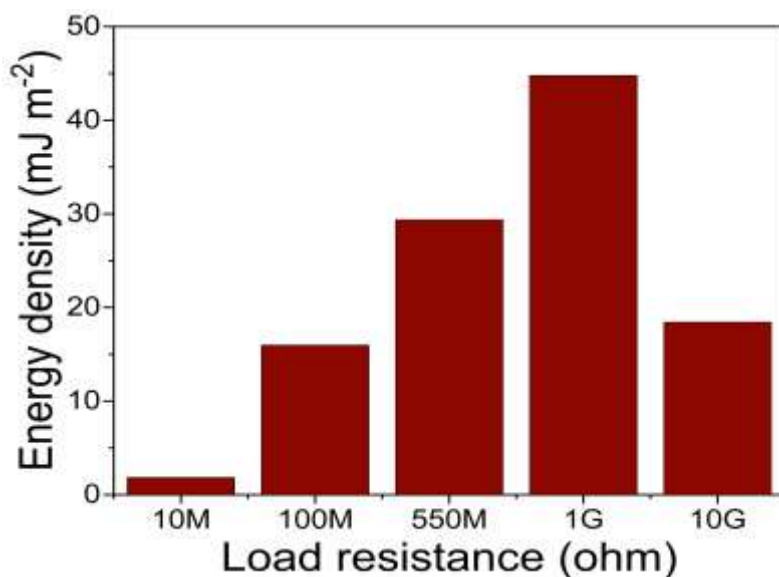
Att. 2.3.55. Polimēra polarizācijas ierīce balstīta uz jonizācijas principa.

Lai uzlabotu elektrostātiskā ģenerators enerģoefektivitāti un pagarinātu daba mūžu, tiek izveidota polarizācijas ierīce (att. 2.12). Galvenais princips polimēra dipolu fiksācijā izmantojot augstsprieguma elektriskā lauka iedarbību uz polimēra uzkarstētā līdz noteiktai temperatūrai. Rezultāta saražotās enerģijas daudzums pieauga līdz $0.2[\text{mW}/1 \text{ cm}^2]$. Tas ļauj uzbūvēt elektriskās enerģijas ģeneratoru, kas varēs nodrošināt palīg barošanu Bolusam.

Attēlos 2.3.56. un 2.3.57. tiek attēlot uzlabota materiālā mērījumu rezultāti.



Att.2.3.56. Laika grafiks ģenerētajai enerģijai



Att.2.3.57. Ģenerētais enerģijas daudzums atkarībā no slodzes pretestības.

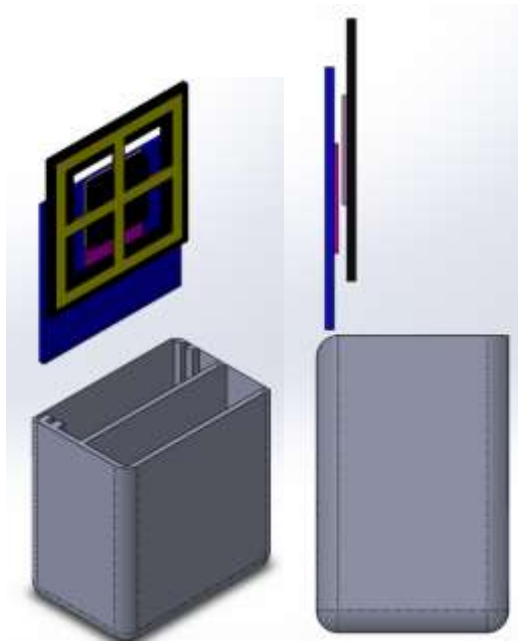
Testēšanas stenda izstrāde

Testēšanas stenda modelis priekš 3d izdrukas, lai testētu elektrostatisko ģeneratoru (Att. 2.3.58).

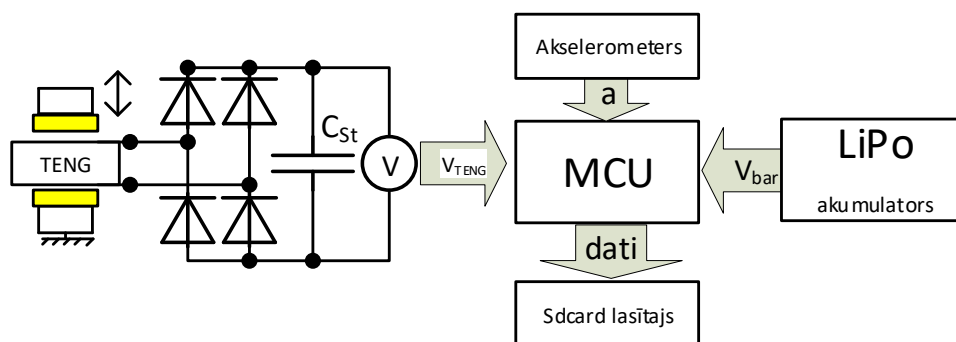
Tas sastāv no diviem aktīvā materiālā (rozā krāsa) turētājiem attēlā parādīts zila un melna krāsa. Zils turētājs nekustīgs, melns sastāv no kustīgas un nekustīgas daļas. Kustīgā daļa savienota ar nekustīgo daļu izmantojot plānu silikona sani. Silikons darbojas kā mīksta atspere un ļauj aktīvam materiālam kustēties.

Korpusa paredzētā vieta mikrokontrolleru ar akselerometru izvietošanai, ka arī LiPo baterijas un SD kartes ierakstīšanas ierīcē.

Lai novērtētu elektrostatiskā ģeneratora darbību, ir paredzēts izmantot superkondensatoru un taisngriezi. TENG ģenerators izmanto vibrācijas uzlādes superkondensatoru caur taisngriezi. Spriegums būs mērīts ar mikrokontrolieru, kurš ierakstīs datus SD kartē., kopā ar vibrācijas mērīšanas datiem (Att. 2.3.59.). Kontainers paredzēts ievietošanai govs spureklī caur fistulu.

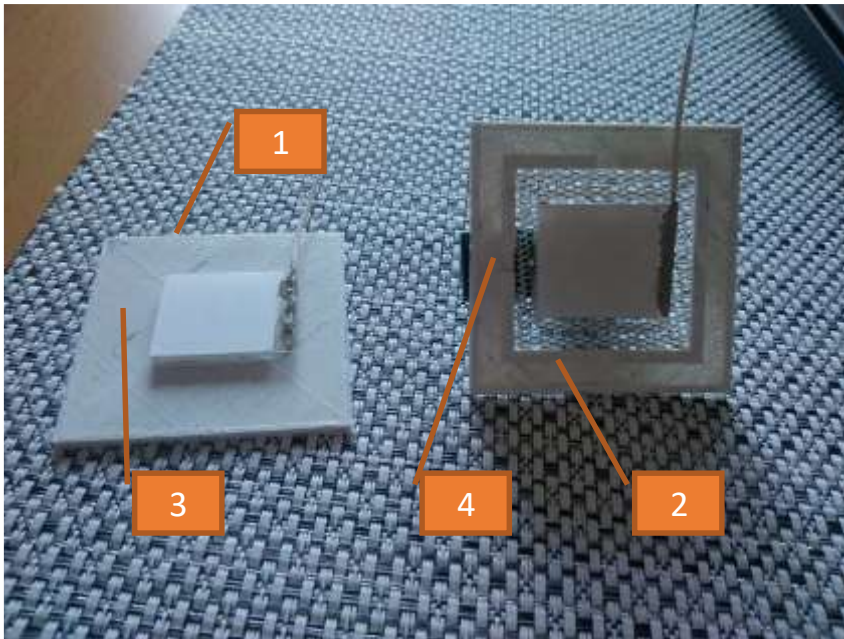


Att. 2.3.58. Teng ģenerators korpus.



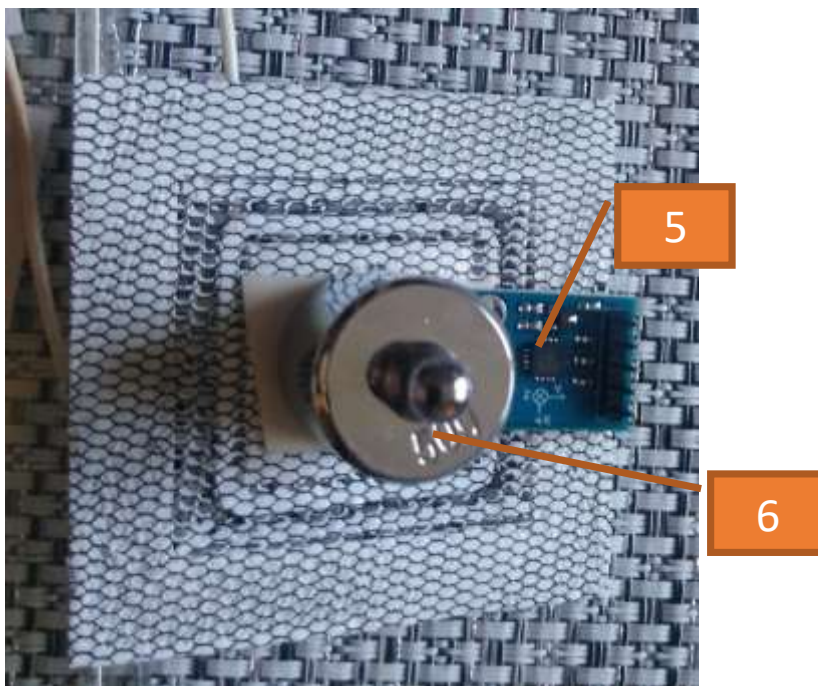
Att. 2.3.59. Testēšanas stenda funkcionālā shēma

lai pārbaudītu paraugu mūžu un iespējamību tos izmantot kopā ar govi, tiek izveidots stends. Stenda pamatelementi parādīti 2.3.15. un 2.3.16. attēlā.



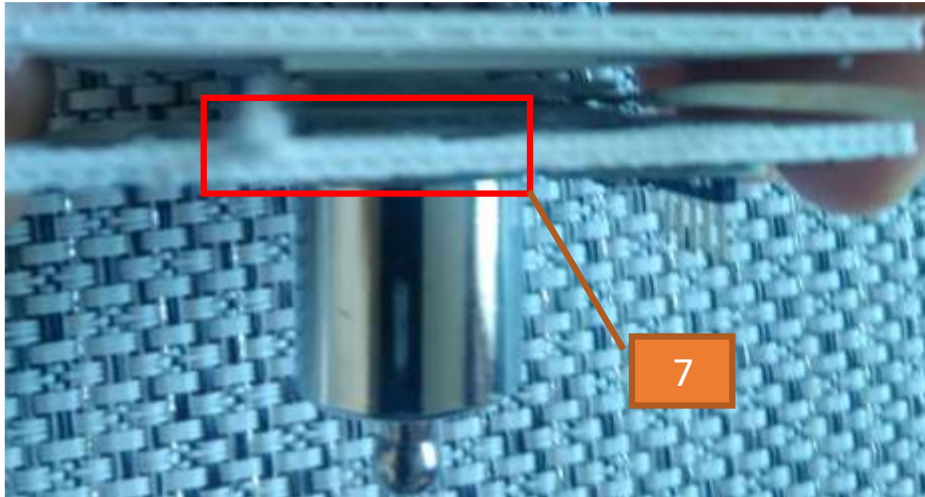
Att. 2.3.60. frontālais skats uz stenda elementiem.

Attēla 2.3.60. parādīts, ka uz nekustīgas plāksnēs 1 izvietots pozitīvi polarizētas TENG materiāls 3, tas mijiedarbojas ar negatīvi polarizēto TENG materiālu 4 kas izvietots uz kustīgas membrānas 2. kas tiek realizētā no elastīga auduma, kas ļauj paraugam pārvietoties.



Att. 2.3.61. Kustīgas membrānas aizmugurējais izskats

Lai nodrošinātu parauga kustību visos virzienos, pie membrānas aizmugurējās daļas tiek pievienots atsvars 5 ar masu 50g. Lai noteikt membrānas kustības virzienu un paātrinājumu, pie tas piestiprināts paātrinājuma mērītājs (akselerometers) 6.



Attēls 2.3.62. Pozitīvi polarizētas un negatīvi polarizētas TENG struktūras 7 izvietošana.

2.3.62. att. parādīts kā TENG struktūras izvietošana viena pret otru.

Noteikts kā, izmantojot esošo augstspriegumā, avotu paraugi caursiti augstfrekvences mainīgas komponentes dēļ. Lai novērstu to problēmu, ir uzsākta jauna augstsprieguma sprieguma avota izstrāde un izgatavošana. Tiek apskatīti divi risinājumi:

Augstsprieguma avots balstīts uz sprieguma reizinātāju un transformatorā kaskādes slēgumu.

Sistēma modelēta Ltspice vide. Transformatoru kaskādes posms ir izgatavots. Sprieguma reizinātāju shēma atrodas izgatavošanas procesa.

Augstsprieguma avots balstīts uz augstsprieguma transformatora pielietošanu. Transformatori tiks piegādāti šonedēļ. Augstsprieguma taisngriešanas shēma izgatavota.

Paralēli tiek izveidots TENG paraugs, balstīts uz akrila materiāla un ogles bāzes. Bet kamēr augstsprieguma ģenerators atrodas izgatavošanas procesa, to nopolarizēt nav iespējams.

Nākotnes darbi:

Augstsprieguma avota izejas sprieguma un strāvas mērīšanas ķēdes izstrāde un pielāgošana avotam.

TENG paraugu polarizēšana un testēšana.

2.4. Datu apstrādes programmatūras un Web interfeisa izstrāde un atsevišķo elementu salāgošana

SARA mobilā lietotnes izstrāde

Izstrādātās lietotnes sadaļas

Autentificēšanās: Droša pieslēgšanās sistēmai, ar web lietotnē uzstādītu lietotāju un paroli

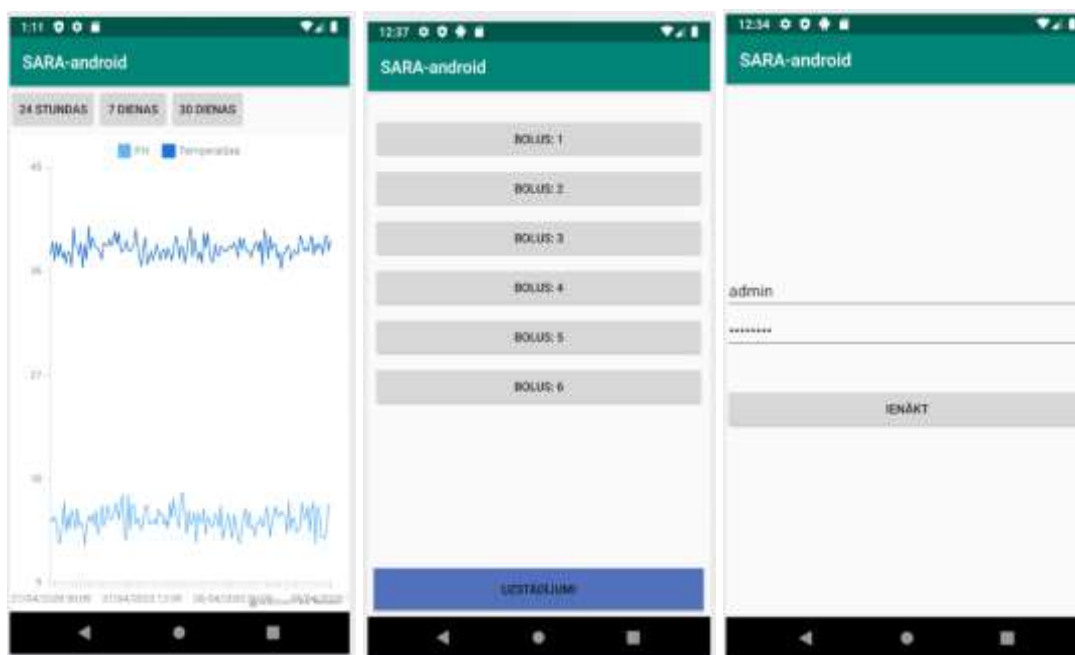
Bolusu saraksts: Lietotnes sinhronizācija ar web serveri, iegūstot pieejamo bolusu sarakstu. Katru saraksta elementu ir iespējams izvēlēties un apskatīt tā datus.

Datu skats: Bolusa pH un temperatūras datu apskats. Iespējams aplūkot konkrētā bolusa datus noteiktā laika griezumā - 24 stundu, 7 dienu vai 30 dienu skatījumā. Iespējams aplūkot atsevišķi pH vai temperatūras datus.

Lietotnes daļas, pie kurām šobrīd tiek strādāts

Regulāras datu sinhronizācijas: Jaunāko datu automātiska sinhronizācija, kas darbotos fonā, arī kad lietotne nav aktīva, pie noteikuma, ka lietotājs ir autentificējies lietotnē

Brīdinājuma paziņojumi: Automātiska brīdinājuma paziņojuma, pie noteiktām lietotāja uzstādītām vērtībām.



Att. 2.4.1. Lietotnes interfeiss.

2.5. *Diagnoscēšanas bolusa mehāniskās konstrukcijas izstrāde, testēšana un izmēģinājuma paraugu izgatavošana*

Izstrādāts, uzprojektēts un izgatavots vienkāršots bolusa prototips, lai izvērtētu bolusa projektēšanas un izgatavošanas procesa sarežģītību. Vienkāršotais bolusa prototips ir redzams 2.5.1. attēlā.



2.5.1. attēls. Diagnoscēšanas bolusa mehāniskās konstrukcijas pirmais variants

Bolusa rasējums ir attēlots 1. pielikumā. Kā redzams, bolusam viens gals ir noskrūvējams, jo tika pārbaudīts vai ar EDI 3D printeri ir iespējams izveidot kvalitatīvu plastmasas vītņi.

Diagnoscēšanas bolusa mehāniskās konstrukcijas izstrādes veikšanai tika apskatīta Ultem 1010 PEI (Polyether Imide) pielietojuma iespēja, jo Ultem 1010 ir sertificēts lietošanai kontaktā ar pārtiku. Ļoti labas mehāniskās īpašības, bet pielietojumu mūsu gadījumā ierobežo augstā drukāšanas temperatūra, kas ir 370 – 390°C. Pieņemts lēmums, ka jāturpina meklēt aizvietotājus bolusa korpusa izgatavošanai.

Maijā – jūlijā 2019. g. turpinājās darbi pie bolusa korpusa izstrādes un izgatavošanas. Tika izgatavoti jaunie bolusa korpusa paraugi, lai modelētu sensoru stiprināšanu korpusā.



2.5.2.attēls. Bolusa korpusa paraugi:

a)

b)

2.5.2. a) attēlā ir parādīts bolusa korpusa sānskats. 2.b) attēlā ir parādīts bolusa korpusa pretskats ar atverēm sensoru ievietošanai. Bolusa korpus sastāv no 2 daļām, kas savienotas ar iekšējās vītnes savienojumu.

3. Diagnostikas sistēmas integrācija un testēšana laboratorijā apstākļos

3.1. pH sensoru un sistēmas testēšana laboratorijas apstākļos

Tika turpināta decembrī uzsāktā pH sensora testēšana. Izmantojamais pH sensors ir ISFET sensora modulis ir A120-001. Par references elektrodu tika izmantots beznoplūdes elektrods ET072. Izmantojamo ierīču parametri ir uzdoti 1. tabulā.

3.1. tabula

pH sensors A120-001	References elektrods ET072	Temperatūras sensors
ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor - Laukefekta tranzistors ar jonu jūtību)	Beznoplūdes Ag/AgCl	PT1000
Precizitāte +/- 0.01pH	Korpuss - PEEK	Precizitāte +/- 0.5°C
Diapazons pH 0.00-14.00	Darba temperatūra 0 - 90°C	Diapazons 0 - 80°C
Dreifs 0.14 pH pēc 24 stundām pH 7.00 šķīdumā pie +25°C	Elektrolīta šķīdums 3,4moli/l KCl	
Diametrs 3 mm	Diametrs 2 mm	Iebūvēts A120-001
Garums 15 mm	Garums 65 mm	
Garums ar kabeli 46 mm		

Testēšanai laboratorijas apstākļos bija 2 mērķi. 1. mērķis - pārbaudīt vai ET072 strādā pāri ar pH sensoru A120-001. 2. mērķis - pārbaudīt cik stabili un atkārtojami ir pH mērījumi, ievietojot sensoru buferšķīdumā ar uzdotu pH.

Mērījumos tika izmantots buferšķīdums ar pH 10.00±0.01 pie +25°C. Temperatūra mērījumu laikā mainījās. Mērījumu veikti 2020.gada 31.janvārī no 9 rītā līdz 16.51 pēcpusdienā.

3.2. tabula

N.p.k.	Laiks	Mērījumi pH 10
1	9.00	10.10
2	12.00	10.02
3	12.36	9.98
4	13.15	10.01
5	13.59	9.98
6	14.12	9.99
7	14.35	9.99
8	16.00	9.94
9	16.51	9.99

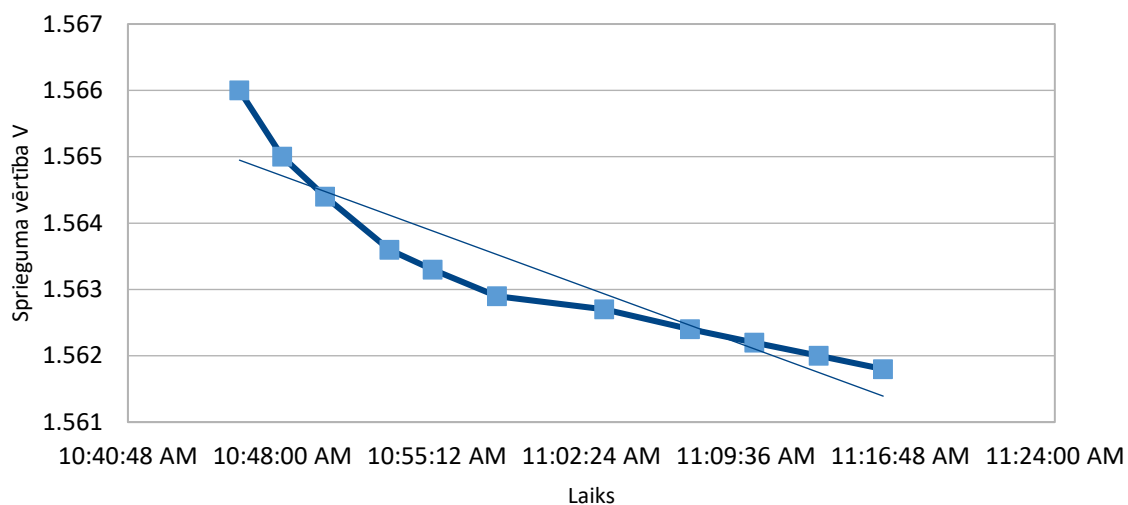
1. mērķis tika sasniegts. Sensors A120-001 pārī ar ET072 strādā ļoti labi.
2. mērķa rezultāti ir attēloti 2. tabulā. Novirze 1. mērījumā ir saistīta ar mērījumu uzsākšanu – sistēmas stabilizēšanos.

Uzsākta pH sensora testēšana rādījumu stabilitātes pārbaude . Izmantojamais pH sensors ir ISFET sensora modulis ir A120-001. Par references elektrodu tiek izmantots beznoplūdes elektrods ET072. Mērķis ir pārbaudīt sistēmas darbības stabilitāti, reģistrējot pH 7.0 buferšķīdumā ievietota pH sensora rādījumus viena mēneša garumā. Pārbaudes rezultāti būs pieejami aprīļa mēneša atskaitē.

Izmantojamais pH sensors ir ISFET sensora modulis ir A120-001. Par references elektrodu tiek izmantots beznoplūdes elektrods ET072. Mērķis ir Tika veikta pH sensora kalibrēšana izmantojot references buferšķīdumus ar pH 4,0, pH 7,0 un pH 10,0.

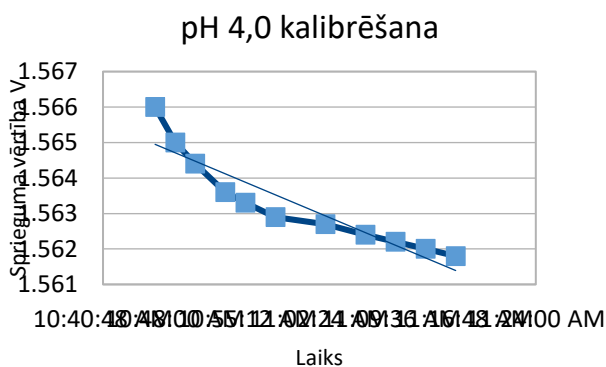
Rezultātā tika iegūta kalibrēšanas līkne diapazonā pH 4,0 – pH 7,0. Attēlā 3.1 ir parādīta ISFET pH sensora kalibrēšanas līkne un tās lineārā aproksimācija.

pH 4,0 kalibrēšana

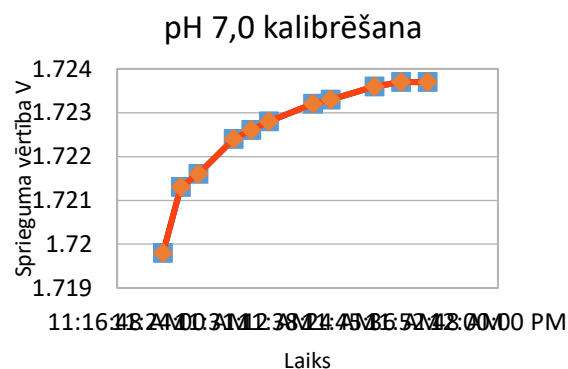


Attēls 3.1. ISFET pH sensora kalibrēšanas līkne un tās lineārā aproksimācija

Kalibrēšanas gaitā noskaidrojās, ka pH vērtību izmaiņām ir inerce. Šī inerce parādās attēlos 3.2., 3.3., un 3.4.

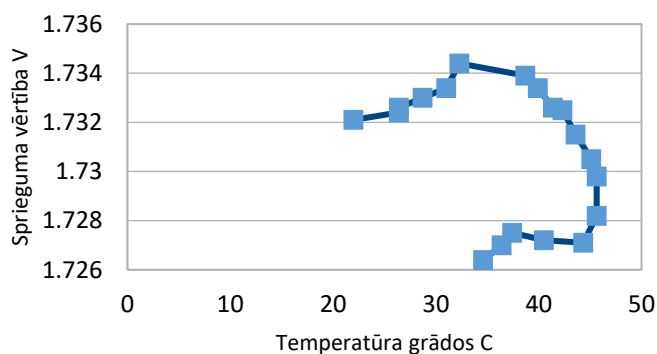


Attēls 3.2. pH 4,0 kalibrēšana



Attēls 3.3. pH 7,0 kalibrēšana

ISFET sensora mērījumu atkarība no temperatūras

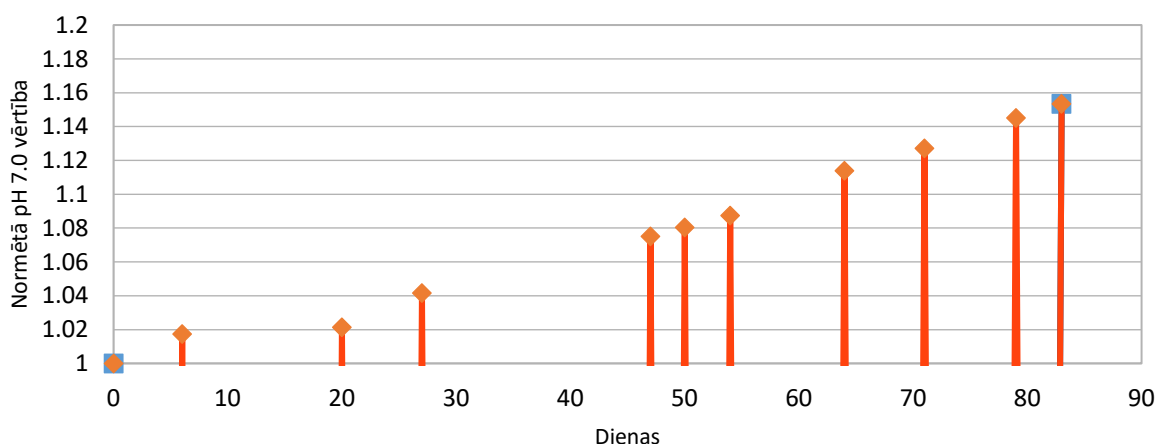


Attēls 3.4. pH 10,0 kalibrēšana

Ilgstoši veicot pH mērījumus buferšķīdumā pH 7,0 temperatūru diapazonā 20 – 27 grādi Celsija, mērījumu kļūda nepārsniedza $\pm 0,1$ pH. Mērījumi tika veikti, izslēdzot barošanas spriegumu mērījumu starplaikā, kā arī neizslēdzot. Būtiska atšķirība netika novērota. Mērījumi tiek turpināti.

Lai pārbaudītu pH mērījumus darba temperatūrās diapazonā no 35-45 grādi Celsija, pH 7,0 buferšķīdums tika uzsildīts. pH 7,0 izmaiņas parādītas Attēlā 3.5.

pH sensora rādījumu atkarība no laika



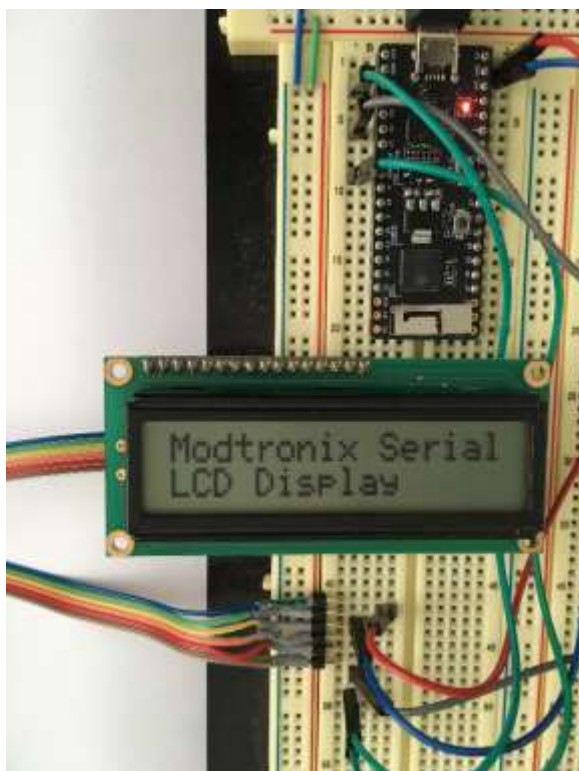
Attēls 3.5. ISFET sensora mērījumu atkarība no temperatūras

Alternatīvas LoRa raidzvēšanas frekvences izmantošanas iespēju pārbaude

Esošajos pH bolusus datu pārraidei izmanto 434 MHz frekvenču joslu. Sākotnēji arī “SARA” projekta bija paredzēta un tika pārbaudīta 434 MHz frekvenču joslas izmantošana LoRa raidzvēvējam. Līdztekus tiek apsvērta iespēja izmantot LoRa raidzvēvējam 868 MHz frekvenču joslu. Zināmā mērā to nosaka regulējums, kas nosaka, ka Eiropā ir izmantojama LoRa 868 MHz frekvenču josla. Būtiska nozīme ir arī izmantojamās LoRa raidzvēvēja antenas izmēru samazinājumam, jo izmantojot 868 MHz frekvenču joslu 434 MHz frekvenču joslas vietā antenas izmēri samazinās 2x. Mūsu gadījumā tas ir būtiski, jo bolusa garuma izmēri ir ~15-16 cm. Pārbaudes rezultāti tiks publicēti aprīļa atskaitē.

Turpmāk tiek uzsākti mērījumi pH sensoru temperatūras atkarības noteikšanai, pH sensoriem mērot dzīvnieka normālas temperatūras apgabalā. Ja līdz šim tika izmantots viens sensoru komplekts, tad maija beigās tiks uzsākti pH un temperatūras mērījumi, izmantojot vairākus sensoru komplektus.

Lai varētu pāriet no mērījumiem laboratorijas apstākļos uz testa mērījumiem lauka apstākļos, tika izveidota datu savākšanas sistēma, kas uztver informāciju no bolusa un attēlo to uz displeja. Ierīces makets parādīts Attēlā 3.6.



Att. 3.6. Ierīces makets

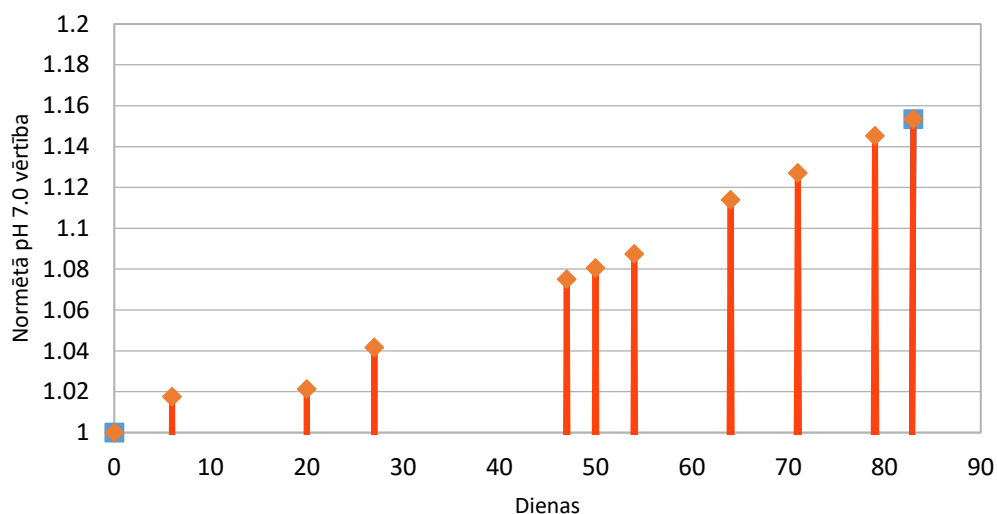


Att.3.7. Bolusa korpusa prototips

Šim pašam mērķim tika izgatavots bolusa korpusa prototips ar lielākiem izmēriem, kas attēlots melnā krāsā Att. 3.7, lai varētu tajā ievietot pašlaik izmantojamo maketu, jo maketa izmēri neļauj ievietot to patieso izmēru bolusa korpusā, kas ir baltā krāsā. Ir paredzēts, ka bolusa prototips spēs sazināties ar attēlā Att. 3.6 parādīto ierīci un indicēt bolusa aktuālo informāciju testa režīmā.

Tālāk tika veikti mērījumi pH sensoru kompensācijas korekcijas noteikšanai un arī pH sensoru ilgspējas mērījumi. Par kalibrēšanas buferšķīdumu tiek izmantots buferšķīdums ar pH 7.00 ± 0.01 , piegādātājs "Enola". Mērījumu mērķis ir noteikt pH sensora kompensācijas taisnes stāvumu, lai varētu korigēt ar pH sensoru iegūtās pH vērtības. Mērījumos tika izvēlēts kalibrēšanas buferšķīdums ar pH 7.00 ± 0.01 , jo paredzamie mērījumi ar bolusu ir šajā pH diapazonā. Attēlā 3.31. ir parādīta pH rādījumu izmaiņa laikā.

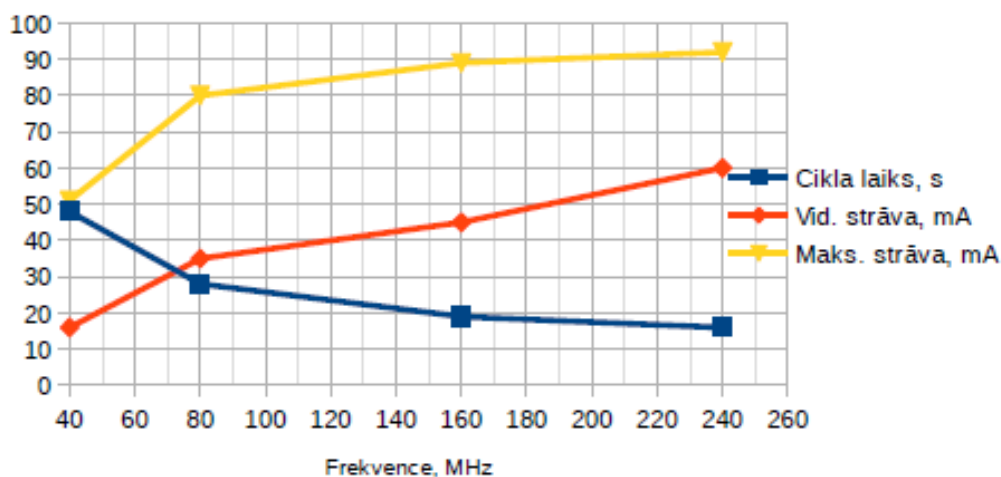
pH sensora rādījumu atkarība no laika



Att. 3.8. pH rādījumu izmaiņa laikā.

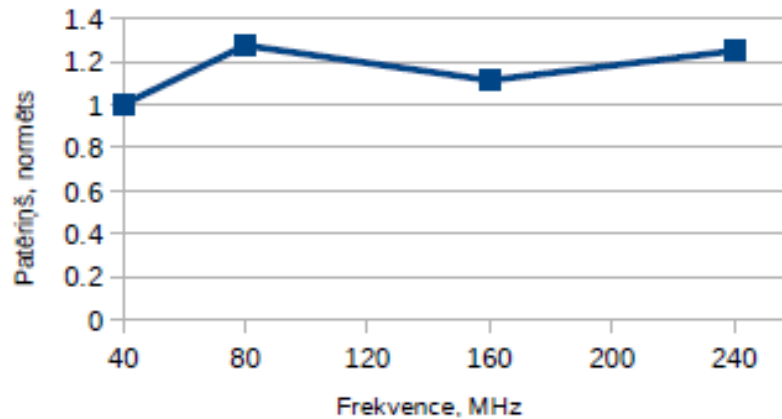
Zilā līnija ir references līnija ar uzdotu sākuma un beigu punktu. Sarkanā līnija attēlo mērījumus 83 dienu garumā. Nav parādīti katras dienas mērījumi, bet attēloti raksturīgākie punkti. Vēl ir pārāgri izdarīt galīgos secinājumus, jo nepieciešams veikt papildu mērījumus ar temperatūras korekcijām. Ilgtspējas mērījumus būtu mērķtiecīgi veikt vismaz 12 mēnešus.

Lai noteiktu sistēmas mikrokontroliera optimālāko darba frekvenci un strāvas patēriņu, tika veikti patērējamās strāvas un mikrokontroliera darbības laika mērījumi pie dažādām mikrokontroliera darba frekvencēm: 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 240 MHz darba programmas izpildes laikā. Ieejas spriegums 3,6V.



Att. 3.9 Programmas cikla laika un strāvas vērtību atkarība no darba frekvences

Visoptimālākais režīms, kā redzams attēlā 3.10. ir pie darba frekvences 40 MHz. Nākošās optimālās frekvences ir 160 MHz un 240 MHz. Vislielākais enerģijas patēriņš ir pie 80 MHz frekvences.



Att. 3.10. Normētais strāvas patēriņš pie dažādām darba frekvencēm

3.2. Jaunas mikrokontroliera plates shēmas pārbaude un sagatavošana pasūtīšanai

Tika veiktas korekcijas bolusā ievietojamās mikrokontroliera plates shēmā saistībā ar izvēlēto barošanas bateriju. Pēc sīkākas analīzes tika mainīta ligzda pH sensora un references elektroda kabelim, kas paaugstina kabeļa nostiprināšanas drošumu.

Tika veikts iepirkums papildus pH sensoru un references elektrodiem, lai pilnībā apmierinātu projekta izstrādes vajadzību pēc tiem.

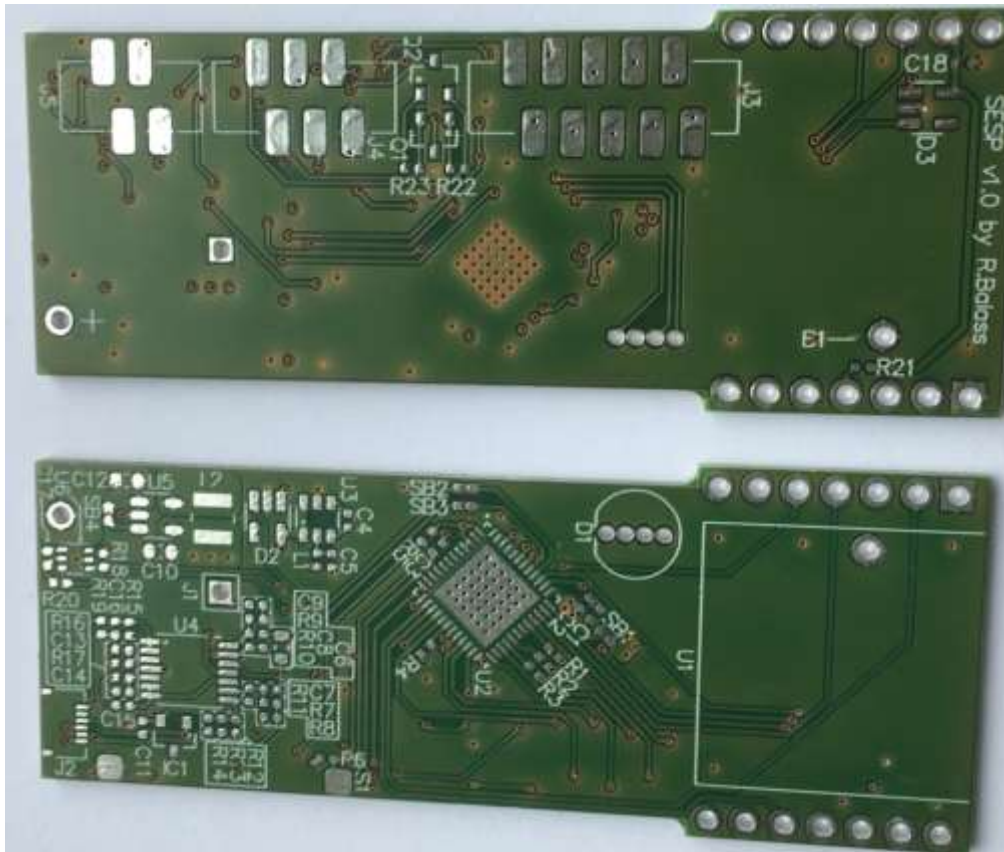
3.2.1. Jaunā mikrokontroliera plates shēmas pārbaude un izgatavošana

Bolusā ievietojamās mikrokontroliera plates shēmas pārbaudes ir pabeigtas un tiek veikta cenu aptauja 4-slāņu plates izgatavotāja izvēlei. Ir atrasti 2 izgatavotāji ārpus Latvijas. Notiek izgatavotāju iespēju izvērtēšana. Ir veikts mikrokontroliera platēm nepieciešamo elektronisko komponentu iepirkums. Komponentu piegāde notiks maija beigās.

Aprīlī tika veikts iepirkums papildus pH sensoru un references elektrodiem, ISFET sensoru iepirkums bija sekmīgs un izgatavotājs, Sentron, ir jau piegādājis pH ISFET sensorus. Piegāde no references sensoru izgatavotāja eDAQ nav vēl sekmējusies. Izgatavotājs līdz šim brīdim vēl nevar nosaukt konkrētu piegādes termiņu.

Bolusa mikrokontroliera plates izgatavošana un montāža

Izgatavotās bolusā ievietojamās mikrokontroliera plates abas puses ir parādītas attēlā 3.11. 4-slāņu plates izmēri ir 23x65 mm. Platākā vieta ir 26 mm. Visas nepieciešamās elektroniskās komponentes ir iepirktas. Ir uzsākta mikrokontroliera plates montāža.



Attēls 3.11. bolusā ievietojamās mikrokontroliera plates abas puses.

Bolusa mikrokontroliera plašu montāža, pārbaude un testēšana

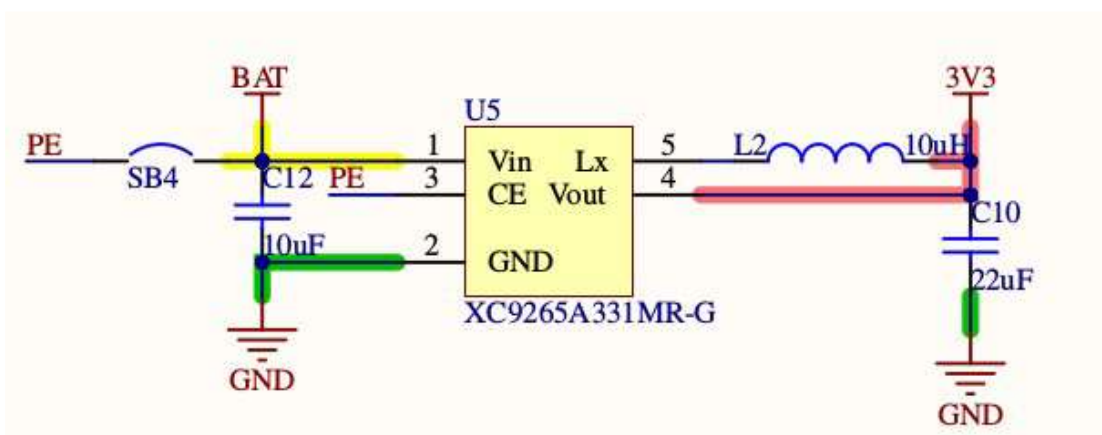
Pašlaik ir gatavas trīs mikrokontroliera SESP plates, kas ir samontētas, pārbaudītas, testētas ar lejupielādētu sistēmas programmatūru un darba programmām. SESP plates ir parādītas attēlā 3.12.



Att. 3.12. Gatavās SESP mikrokontroliera plates

Visvairāk laika tika patērēts mikrokontroliera SESP saskarnes izveidošanai ar datoru, lai lejupielādētu sistēmas programmatūru, jo sākotnēji paredzētais modulis FTDI232 nespēja nodrošināt programmatūras ielādi. Tāpēc tika izveidots speciāls modulis, ar kuru dators spēj piekļūt SESP. Arī mikrokontroliera SESP barošanas bloks, kas izmanto XC9265, sākotnēji nespēja nodrošināt maksimālās slodzes strāvas.

Saskaņā ar tehniskajiem datiem XC9265A nodrošina strāvu līdz 200 mA. Attēlā 3.13 parādītā shēma ir vienkārša, tāpēc kļūme bija neizprotama. Veicot papildu izpēti, izrādījās, ka nepieciešams 3x lielāka kapacitāte C10. Tas ir 22 uF vietā ir jāizmanto 66 uF, lai gan tehniskajā aprakstā ir uzdoti 22uF.



Att. 3.13 Barošanas avota shēma.

Novēršot šo nepilnību SESP barošanas, avots nodrošina mikrokontroliera darbību pie visām darba frekvencēm no 40 MHz līdz 240 MHz.

Pielikums. 1. Mērījumi:

Frekvence	Cikla laiks, s	Vid. strāva, mA	Maks. strāva, mA
40	48	16	51
80	28	35	80
160	19	45	89
240	16	60	92

Sistēmas integrācija un aprobācija laboratorijas apstākļos

Sistēmas aprobācijai laboratorijas apstākļos ir izveidots aparatūras un programmatūras kopums, kas ļauj:

- mainīt un krosskompilēt mikrokontroliera darba vidi, pamatā ULP procesoram;
- uzturēt tiešsaistes režīmu ar mikrokontrolieri;
- veikt darbības ar mikrokontroliera datnēm;
- uztvert mikrokontroliera radio pārraidīto informāciju un pārsūtīt to uz datoru, u.c.

darbības.

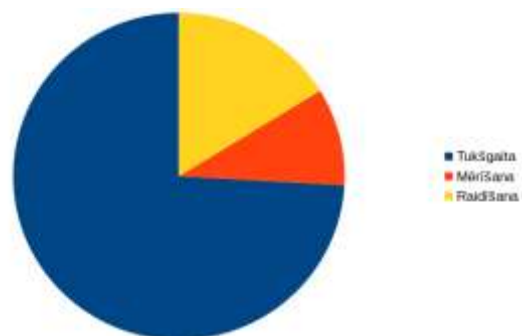
Bolusa kopsvara noteikšanai tika nosvērtas atsevišķās sastāvdaļas:

bolusa korpuss –	60 g
mikrokontrolieris un radio	11 g
baterija	34 g
<u>misīņa caurule (balasts)</u>	<u>60 g</u>
kopā	165 g vajag 210 g (pietrūkst 45 g)

Lai identificētu mājdzīvnieku, kam tiek veikti mērījumi, tiks izmantota mikrokontroliera vides piekļuves vadības adrese (MAC adrese). MAC adrese ir katram mikrokontrolierim unikāla, 12 heksadecimālo ciparu kombinācija, no kuras izmantosim pēdējos 4 simbolus, pārraidot tos pa radio.

Sistēmas testēšana un optimizācija

Sistēmas testēšanas atvieglošanai tika izveidots speciāls bolusa modulis, kas parādīts 3.14. attēlā. Atšķirībā no iepriekšējiem bolusa moduļiem tam ir iekšējā čaula mikrokontroliera plates un pH elektrodu nostiprināšanai. Turklāt atšķirībā no iepriekšējiem moduļiem sastāvdaļu savienošanai izmanto nevis vītnes savienojumu, bet bajonetes savienojumu. Apakšējā daļā redzams pH sensors.



Attēls 3.14. Bolusa sastāvdaļas

Lai atrastu optimālāko sistēmas darbības režīmu, kas nodrošinātu vismazāko kopējo sistēmas enerģijas patēriņu, tika veikti strāvas patēriņa mērījumi mikrokontroliera darba režīmā pie frekvencēm 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz un 240 MHz. Tika panākts, ka mikrokontroliera ESP32 Pico D4 strāvas patēriņš HALT režīmā ir 0.136 mA, mērīšanas režīmā ir 3.5 mA un raidīšanas režīmā ir 45 mA.

Attēls 3.15. Enerģijas patēriņa sadalījums

Atbilstošais enerģijas patēriņa sadalījums pa darbības režīmiem ir parādīts attēlā 3.15.

Vislielākais enerģijas patēriņš ir tukšgaitā – 74%. 10% no kopējā enerģijas patēriņa aiziet uz mērīšanu, bet 16% uz datu pārraidi. Tas ir loģiski, jo vairāk nekā 99.5% no laika mikrokontrolieris strādā tukšgaitā. Mērīšana tiek veikta ik pēc 10 minūtēm. Tā ilgst 3 sekundes. Raidīšana notiek ik pēc 8 stundām. Tās ilgums ir 19 sekundes. Mikrokontroliera darba frekvenci izvēlējamies 160 MHz, jo eksperimentējot atklājās, ka pie 40 MHz darba frekvences reālā laika pulkstenim ir kļūda – tas atpaliek.

Bolusa sagatavošana darbam laboratorijas apstākļos

Bolusa sagatavošana darbam laboratorijas apstākļos tika veikta 2 virzienos:

1) tādas optimālas bolusa konstrukcijas izveide un pilnveidošana:

- a) kas ļautu ērti manipulēt ar pH sensoru elektrodu ievietošanu un izņemšanu;
- b) kas ļautu ērti nomainīt bateriju;
- c) kas nodrošinātu piekļuvi mikrokontroliera programmatūrai, izmaiņu veikšanai.

2) hermētiskas bolusa konstrukcijas izveide:

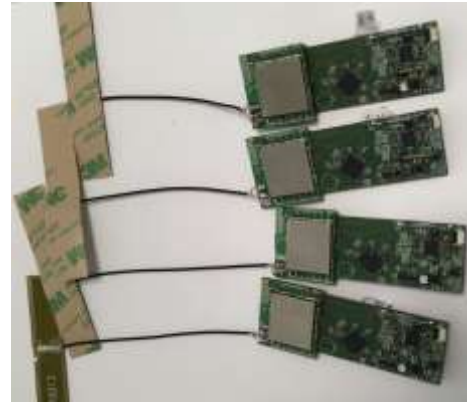
- a) aizsardzība pret apkārtējo vidi;
- b) iespēja atkārtoti izmantot mikrokontrolieri ar sensoriem.

Jaunā bolusa konstrukcija, attēls 1, satur 4 elementus: 1 - korpusa augšpuse, 2 - korpusa apakša, 3 - apakšas uzdeva sensoru aizsardzībai un 4 - iekšējā čaula mikrokontroliera plates, baterijas un pH elektrodu nostiprināšanai. Korpusa sastāvdaļu savienošanai izmanto bajonetes savienojumu. Šī konstrukcija ļauj manipulēt ar pH sensoru elektrodu ievietošanu un izņemšanu, ļauj viegli nomainīt bateriju un nepieciešamības gadījumā veikt izmaiņas mikrokontroliera programmatūrā.

Vienlaikus konstrukcija spēj nodrošināt nepieciešamo hermētiskumu. Hermētiskums tiks nodrošināts, noblīvējot bolusu ar silikona hermētiķi akvārijiem.



Attēls 3.16. Bolusa moduļa sastāvdaļas



Attēls 3.17 darba komplekti

Sistēmas testēšana un optimizācija

Sistēmas testēšanai tika salodētas un noskaņotas vēl 2 mikrokontroliera plātes, kas kopskaitā dod 4 darba komplektus, kuri parādīti attēlā 3.17. Tajās ir ierakstīta sistēmas programmatūra ar dziņiem un darba programmatūra. Plātes tika pārbaudītas, pievienojot sensorus un barošanas bateriju. Testa piemēra fragments ir parādīts attēlā 3.18.

```

b"e158' 2020-10-27T03:47:14;3886;3.13;3395;26.52;\n2020-10-27T03:47:26;3907;3.14;
3394;26.51;\n2020-10-27T03:47:38;3850;3.1;3391;26.49;\n2020-10-27T03:47:50;3914;
3.15;3382;26.42;\n2020-10-27T03:48:02;3919;3.15;3375;26.36;\n" received on 433
MHz..
Received Packet Length: 214
Received Signal RSSI: -48 dB.

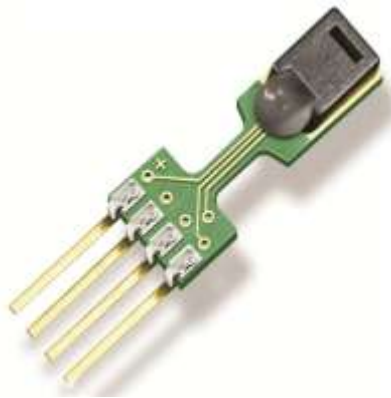
b"e158' 2020-10-27T03:48:35;3878;3.12;3389;26.47;\n2020-10-27T03:48:47;3907;3.14;
3390;26.48;\n2020-10-27T03:48:59;3888;3.13;3384;26.43;\n2020-10-27T03:49:11;3875
;3.12;3377;26.38;\n2020-10-27T03:49:23;3911;3.15;3370;26.32;\n" received on 433
MHz..
Received Packet Length: 215
Received Signal RSSI: -50 dB.

```

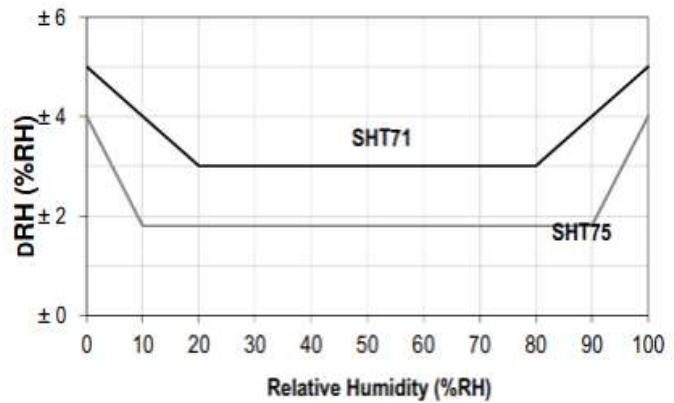
Attēls 3.18. Pārbaudes testa datu piemērs

Bolusa korpusa hermētiskuma pārbaude

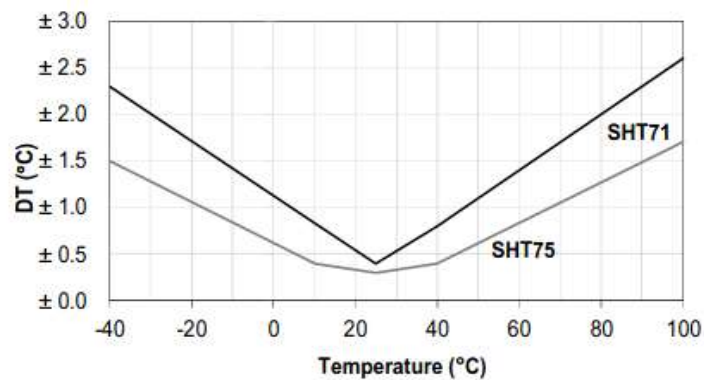
Bolusa korpusa hermētiskuma pārbaudi, t.i., iegremdējot bolusa korpusu testa buferšķīdumā un regulāri mērot relatīva gaisa mitrumu bolusa iekšienē, bija paredzēts veikt, izmantojot relatīvā mitruma un temperatūras sensoru SHT75, ko ražo Šveices firma “Sensirion”, attēls 3.19. Relatīvā mitruma un temperatūras mērījumu kļūda ir attēlota attēlos 3.20. un 3.21. Šī sensora izvēli noteica tā pieejamība, iepriekšējā pieredze un sensoru labā kvalitāte.



Attēls 3.19. Sensors SHT75

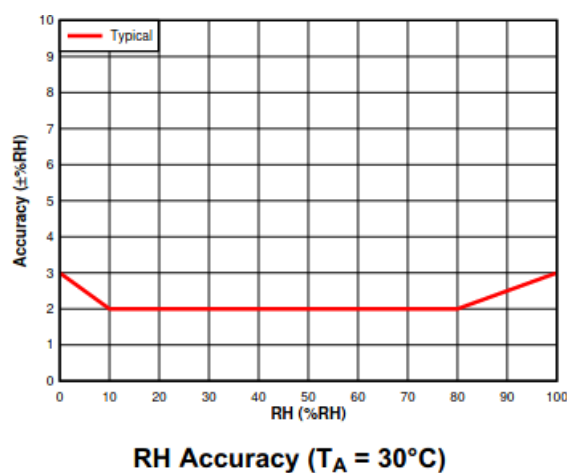


Attēls 3.20. SHT75 relatīvā mitruma mērījumu kļūda



Attēls 3.21. SHT75 temperatūras mērījumu kļūda

Uzsākot izmēģinājumus, atklājās, ka sensoru nolasīšanai ir nepieciešami ļoti specifiski programmatūras draiveri sensoru nestandarta saskarnes dēļ. To izstrāde prasītu daudz laika un būtu neperspektīva. Tāpēc uzsāktie darbi tika pārtraukti un tika izvēlēti citi mitruma un temperatūras sensori HDC2022, ko ražo “Texas Instruments”, kuru parametri ir līdzīgi.



Attēls 3.22. HDC2022 relatīvā mitruma mērījumu kļūda

HDC2022 izmēri ir 3x3 mm. Ir standarta I2C saskarne, kas ļāva ātri uzrakstīt sensoru nolasīšanas draiverus. Sensoru nolasīšanas draiveris ir pielikumā 1. Ir salodēts HDC2022 makets un pārbaudīta draiveru darbība.

Pielikums 2.

main.py

```
from HDC2022_lib import HDC2022
import time

sens = HDC2022()
sens.set_meas_freq_1Hz()

print(sens.i2c.scan())

while True:

    t = sens.get_temperature()
    h = sens.get_humidity()

    print ("Temperature: ", t, " C")
    print ("Humidity: ", h, " %RH")

    time.sleep_ms(500)
```

libhdc2022.py

```

# hdc2022
from machine import I2C
from math import trunc

# <consts>
HDC2022_address = 0x40
temperature_low_register = 0x00
temperature_high_register = 0x01
dev_config_reg = 0x0E

humidity_low_register = 0x02
humidity_high_register = 0x03

temp_c1 = 165.0 / 2**16
temp_c2 = 40

hum_c = 100.0 / 2**16
# </consts>

class HDC2022 :

    def __init__(self, address=HDC2022_address):
        self.i2c = I2C(scl=4, sda=0, freq=400000)
        self.address = address

    def set_meas_freq_1Hz(self) :
        # Start communication. Measure frequency: 1 Sample/second
        conf = '\x50' # 0b01010000
        self.i2c.writeto_mem(self.address, dev_config_reg, conf)

```



```

def get_temperature(self) :
    T_low_bytes = self.i2c.readfrom_mem(self.address, temperature_low_register, 1)
    T_high_bytes = self.i2c.readfrom_mem(self.address, temperature_high_register, 1)

    T_low = int.from_bytes(T_low_bytes, "big")
    T_high = int.from_bytes(T_high_bytes, "big")

    shift = 8
    t = ((T_high << shift) | T_low)
    t = t * temp_c1 - temp_c2
    t = trunc(t * 100) / 100.0

    return t;

def get_humidity(self) :
    H_low_bytes = self.i2c.readfrom_mem(self.address, humidity_low_register, 1)
    H_high_bytes = self.i2c.readfrom_mem(self.address, humidity_high_register, 1)

    H_low = int.from_bytes(H_low_bytes, "big")
    H_high = int.from_bytes(H_high_bytes, "big")

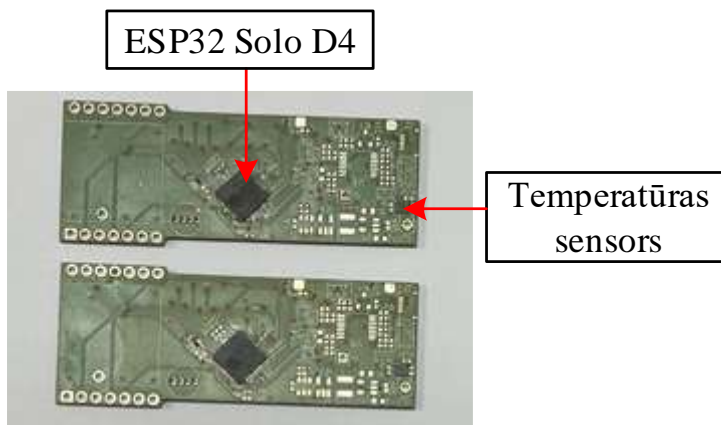
    shift = 8
    h = ((H_high << shift) | H_low)
    h = h * hum_c
    h = trunc(h * 100) / 100.0

    return h;

```

Bolusos ievietojamo mikrokontrolieru testēšana

Papildus jau esošajām 4 (četrām) salodētajām ESP32 SOLO D4 mikrokontrolieru platēm notiek vēl 2 (divu) mikrokontrolieru plašu montāža. Pašlaik uz platēm ir uzlodēti paši mikrokontrolieri un temperatūras sensori, kā redzams attēlā 3.23. Sarežģītākā darbība ir ESP32 SOLO D4 pielodēšana.



Attēls 3.23. Mikrokontrolieru plates



Attēls 3.24. ESP32 SOLO D4

Pēc ESP32 SOLO D4 pielodēšanas tiek pārbaudīta to funkcionēšana, padodot RESET signālu un veicot ierakstu atmiņā. Ja mikrokontrolieris funkcionē normāli, tad tiek turpināta pārējo elektronisko elementu lodēšana. Pēc šo plašu lodēšanas un pārbaudes būs pavisam 6 mikrokontrolieru plates ko ievietot bolusos.

Reālā laika pulksteņa (RTC) stabilitātes testēšana atkarībā no takts frekvences

ESP32 mikrokontrolierim ir 3 oficiālas darba takts frekvences, ko var iestādīt mikrokontroliera konfigurācijas datnē. Šīs frekvences ir 80 MHz, 160 MHz un 240 MHz. Vienlaikus izmantojot monitora komandu *machine.freq(40000000)* var iestādīt darba takts frekvenci 40 MHz. Šīs takts frekvences 40 MHz izmantošana nodrošina tikai 16 mA lielu vidējo strāvu un 51 mA lielu maksimālo strāvu. Vienīgais būtiskais trūkums bija RTC nestabilitāte, kāpēc tika nolemts šo darba takts frekvenci neizmantot.

Veicot ilgstošus pH un temperatūras mērījumus tika novērots, ka RTC nestabilitāte ir novērojama pie visām darba takts frekvencēm 80 MHz, 160 MHz un 240 MHz. Izmantojot reālo darba programmu, t.i., veicot sensoru nolasišanu ik pēc 10 minūtēm un noraidot datus 3x dienā, tika iegūti sekojoši RTC stabilitātes dati, tabula 3.3.

Tabula 3.3. RTC laika aizkaves pie dažādām darba frekvencēm

Darba frekvence (MHz)	Laika periods (h)	Aizkave (s)
40	24	109
80	24	84
160	24	66
240	24	-14

Lai novērstu RTC aizkavju uzkrāšanos, ir nepieciešams koriģēt RTC rādījumus pirms vai pēc datu pārraides. Pašlaik tiek meklēts labākais risinājums.

Bolusos ievietojamo mikrokontrolieru testēšana

Pabeigta 2 (divu) ESP32 SOLO D4 mikrokontrolieru plašu montāža, uzlodēti visi elementi, attēls 1. Veikta šo 2 plašu testēšana. Ir ierakstīta sistēmas un darba programmatūra abos mikrokontrolieros un veikta to funkcionālā pārbaude.



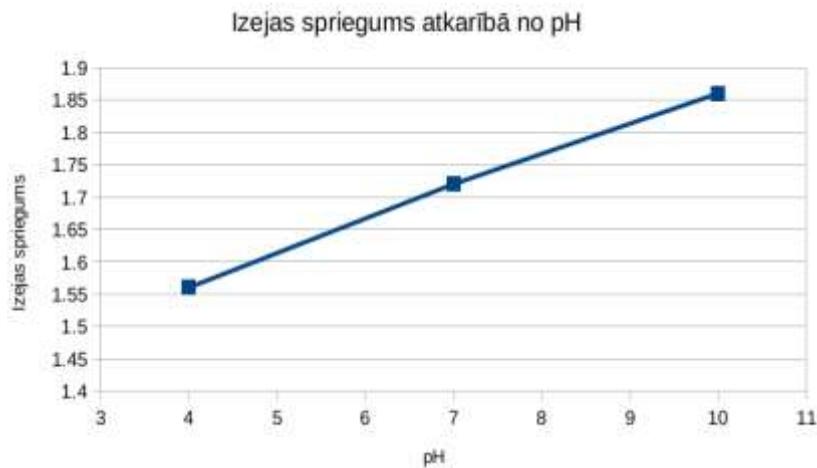
Attēls 3.25. 2 gatavās mikrokontrolieru plates

Rezultātā esam ieguvuši 6 izgatavotas mikrokontrolieru plates, ko ievietot bolusos.

pH sensoru kalibrēšana

pH sensoru kalibrēšana tiek veikta secīgi tos ievietojot standarta kalibrēšanas buferšķīdumos ar noteiktu pH vērtību. Parasti izmanto buferšķīdumus ar vērtību pH 4.00, pH 7.00 un pH 10.00. Ir uzrakstīta pH sensoru kalibrēšanas metodika. Tagad pēc mikrokontrolieru plašu pabeigšanas ir uzsākta pH sensoru kalibrēšana. Izmantojamajiem ISFET Al₂O₃ pH sensoriem jūtība ir ~52 mV/pH. Taču katram sensoram dažāds sākotnējās nobīdes spriegums un tādēļ pēc ražotāja datiem izejas spriegums var mainīties robežās no 500 mV līdz 1800 mV pie pH 7.0.

Attēlā 3.26 ir parādītas dažādās pH sensora vērtības pie pH 4.0, pH 7.0 un pH 10.0. Aprēķinātā jūtība ir 50 mV/pH. Tagad var noteikt nobīdes sprieguma vērtību pH sensoram. Programmā tā ir konstante, kuru atņem no izmērītā sprieguma vērtības. Šādi mērījumi tiks veikti visiem pH sensoriem. Balstoties uz veiktajiem mērījumiem, tiks koriģētas nobīdes konstanšu vērtības darba programmās.



Attēls 3.26. pH sensora izejas spriegums

Sistēmas integrācija un aprobācija laboratorijas apstākļos

Tika veikta sistēmas testēšana. Boluss tika ievietots buferšķīdumā ar pH 7.0 un iegūtā informācija noraidīta uz webserveri. Mērījumi tika veikti ar intervālu 10 minūtes. Dati tika noraidīti ik pēc 2 stundām. Att. 3.27. ir parādīti 40 minūšu mērījumu rezultāti.



Att.3.27. SARA webservera bolusa mērījumu grafiks

Sistēmas testēšana un optimizācija

Gatavojoties testēšanai drošos veterinārijas apstākļos, tika pilnveidota laika apstrādes programma, kas parādīta 1. pielikumā. Attēlā 3.28 ir parādīta ekrāna nolase, kas tālāk tiek izmantota laika apstrādei.

```
wifi connecting
('192.168.88.11', '255.255.255.0', '192.168.88.1', '192.168.88.1')
connected to WiFi
RTC synced with NTP time
(2021, 2, 24, 18, 24, 40, 2, 55)
Start
(2021, 2, 24, 18, 27, 49, 2, 55)
b"e160'1;2390;3538;2;2374;3535;3;2379;3533;4;2373;3528;5;2382;3524;6;2375;3519;7;2377;3513;8;2374;3505;9;2373;3501;10;2374;3494;11;2373;3489;12;2373;3484;"
1
Received Packet Length: 152
Received Signal RSSI: -58 dB.
```

Att. 3.28. Bolusa nolašu ekrānšāviņš

Ir sagatavoti 3 bolusi testēšanai, kas parādīti 3.29. attēlā. 2 bolusi tiks izmantoti LLU. Viens, refencei, paliks EDI. Lai iegūtu pilnīgāku informāciju par bolusa stāvokli, sākotnēji informācija tiks noraidīta ik pēc 2 stundām.



Att. 3.29. Bolusi testēšanai

Pielikums 1.

Bolusa uztverošā programma

```
import machine
import pycom
import time
import binascii
from network import WLAN
```

```
from network import LoRa
import socket
import time
import pycom
```

```
##RGB Colors
red=0xff0000
yellow=0xffff00
green=0x00ff00
blue=0x0000ff
cyan=0x00feff
purple=0xc442a1
orange=0xff8b55
dark=0x000000
pycom.heartbeat(False)
```

```
import time
def laiks(mi,st,die):
    global die2
    global st2
    global mi2
    mi1 = mi -10
    if(mi1 < 0):
        mi1 = mi + 50
        st1 = st - 1
        if(st1 < 0):
            st1 = st + 23
            die1 = die - 1
            st2=st1
            die2=die1
        else:
            pass
        st2=st1
        mi2=mi1
        die2=die
```

```

else:
    mi2=mi1
    st2=st
    die2=die
    pass
global laiksn
laiksn = (('+str(gads)+'+'+str(men)+'+'+str(die2)+'+'+str(st2)+'+'+ str(mi2)+'') )
return(mi2,st2,die2,laiksn)

# connecting to wifi=====
pycom.heartbeat(False) # turn off the heartbeat LED so that it can be reused

deviceID=binascii.hexlify(machine.unique_id()) # get device unique id and save to file on device
print (deviceID[8:12])

f=open('/flash/device_name', 'w')
f.write(deviceID[8:12])
f.close()

print('led on')
pycom.rgbled(0x7f0000) # red
time.sleep(2)

wlan = WLAN(mode=WLAN.STA)

#wlan.connect(ssid="ELKUTELE", auth=( WLAN.WPA2, "1Karte&ir&ilikta2"), timeout = 5000)
wlan.connect(ssid="MikroTik-BF662F", auth=( WLAN.WPA2, "Ker_veju_lauka"), timeout = 5000)
print('wifi connecting')
while not wlan.isconnected():
    machine.idle() #loop until connected
# wlan = WLAN()

pycom.rgbled(0x00007f) # blue

time.sleep(2)
pycom.rgbled(0x007f00) # green

print(wlan.ifconfig())
print("connected to WiFi")
#setting local time
rtc = machine.RTC()
rtc.ntp_sync("pool.ntp.org")
while not rtc.synced():
    machine.idle()
print("RTC synced with NTP time")
#adjust your local timezone, by default, NTP time will be GMT
time.timezone(2*60**2) #we are located at GMT+2, thus 2*60*60
print(time.localtime())
lora = LoRa(mode=LoRa.LORA, frequency=868000000, tx_power=2, sf=8, preamble=8, bandwidth=0, coding_rate=1,
public=False)

s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)

s.setblocking(False)
print("Start")
while True:
    pycom.rgbled(green)
    bolus = s.recv(254)
    d=bolus
    #if (bolus[0:4] == b'e160'):
    if (bolus[0:4] == b'e154'):
        tlt=time.localtime()
        print(tlt)
        pycom.rgbled(red)
        lb=len(bolus)

```

```

ls=lora.stats().rssi
print(bolus," received from SARA_1")
print("Received Packet Length: ", len(bolus) )
print("Received Signal RSSI: ",ls, " dB.\n\n\n")
d=bolus
gads=tlf[0]
gads=tlf[0]
men=tlf[1]
diex=tlf[2]
stx=tlf[3]
mix=tlf[4]
n12=d[139:141]
n11=d[126:128]
n10=d[113:115]
n9 =d[101:102]
n8 =d[89:90]
n7 =d[77:78]
n6 =d[65:66]
n5 =d[53:54]
n4 =d[41:42]
n3 =d[29:30]
n2 =d[17:18]
n1 =d[5:6]
if (n12 == b'12'):
    laiks12 = (''+str(gads)+' '+str(men)+' '+str(diex)+' '+str(stx)+' '+ str(mix)+'')
if (n11 == b'11'):
    mi=mix
    st=stx
    die=diex
    laiks(mi,st,die)
    laiks11 = laiksn
if (n10 == b'10'):
    mi=mi2
    st=st2
    die=die2
    laiks(mi,st,die)
    laiks10 = laiksn
if (n9 == b'9'):
    mi=mi2
    st=st2
    die=die2
    laiks(mi,st,die)

    laiks9 = laiksn
if (n8 == b'8'):
    mi=mi2
    st=st2
    die=die2
    laiks(mi,st,die)

    laiks8 = laiksn
if (n7 == b'7'):
    mi=mi2
    st=st2
    die=die2
    laiks(mi,st,die)

    laiks7 = laiksn
if (n6 == b'6'):
    mi=mi2
    st=st2
    die=die2
    laiks(mi,st,die)

    laiks6 = laiksn
if (n5 == b'5'):

```

```

mi=mi2
st=st2
die=die2
laiks(mi,st,die)

laiks5 = laiksn
if (n4 == b'4'):
mi=mi2
st=st2
die=die2
laiks(mi,st,die)

laiks4 = laiksn
if (n3 == b'3'):
mi=mi2
st=st2
die=die2
laiks(mi,st,die)

laiks3 = laiksn
if (n2 == b'2'):
mi=mi2
st=st2
die=die2
laiks(mi,st,die)

laiks2 = laiksn
if (n1 == b'1'):
mi=mi2
st=st2
die=die2
laiks(mi,st,die)
laiks1 = laiksn
do=( str(d[0:4])+laiks1 + str(d[6:17])+laiks2+str(d[18:29])+laiks3+str(d[30:41])+laiks4+str(d[42:53])+laiks5 +
str(d[54:65])+laiks6+str(d[66:77])+laiks7+str(d[78:89])+laiks8+str(d[90:101])+laiks9+str(d[102:113])+laiks10+str(d[115:12
6])+laiks11+str(d[128:139])+laiks12+str(d[140:152]))
print(do)

```


4. Diagnostiskās sistēmas testēšana drošos veterinārijas apstākļos

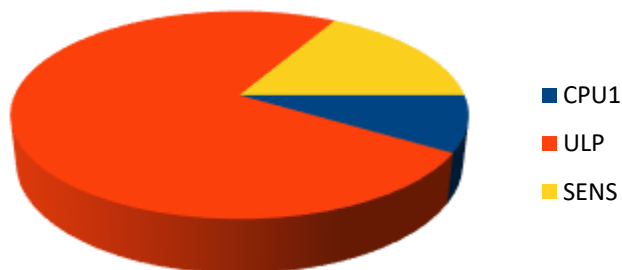
4.1. Diagnostiskās sistēmas pilnveide un testēšana lauka apstākļos

pH bolusa programmatūras optimizēšana

pH bolusa programmatūra sastāv no 2 moduļiem: pamatmoduļa un sensoru moduļa. Šo moduļu izpilde ir secīga un periodiska. Pamatmodulis atrodas centrālā procesora CPU1 atmiņā. Sensoru modulis atrodas kopprocesora ULP atmiņā. CPU1 ir 2 režīmi: aktīvais režīms un dziļā miega režīms (DeepSleep). CPU1 darbojas aktīvajā režīmā. Dziļā miega režīmā CPU1 neveic nekādas darbības un gaida pamodināšanas signālu no ULP. ULP atšķirībā no CPU1 var strādāt gan aktīvajā gan dziļā miega režīmā. Parasti ULP izmanto tieši dziļā miega režīmu. Tas nodrošina to, ka ULP vāc informāciju no sensoriem ar mazu enerģijas patēriņu. Vienlaikus jāatzīmē, ka jebkura ULP papildus darbība izsauc enerģijas patēriņa pieaugumu. CPU1 darbības ilgums 2 stundās ir 47s, bet ULP praktiski strādā visu laiku. Līdztekus enerģiju patērē arī sensori, to nolasīšanas laikā. Veicot patērējamās strāvas mērījumus dažādos programmatūras darbības režīmos, tika iegūti sekojoši rezultāti. 3.30.attēlā ir enerģijas patēriņa sadalījums pie pašreizējā darbības cikla. 3.31. attēlā ir enerģijas patēriņa sadalījums pie 8 stundu cikla.



4.1.1. attēls. Enerģijas patēriņa sadalījums pie 2 stundu cikla



4.1.2. attēls. Enerģijas patēriņa sadalījums pie 8 stundu cikla

Redzams, ka abos gadījumos būtiski lielākais patēriņš ir ULP. Tāpēc tika veikta UL programmatūras analīze un noskaidrots, ka ULP programmā ir laika intervālu mērīšanas cikls, kas tika izmantots eksperimentālo mērījumu laikā. Bet pašlaik laika intervālu mērīšanas cikls nav nepieciešams. Tāpēc tiks veikti strāvas patēriņa mērījumi ULP programmatūrai bez šī cikla.

Lai sagatavotos turpmākajiem izmēģinājumiem, tika veikta visu ierīču un sastāvdaļu inventarizācija, lielāko uzmanību veltot pH sensoriem.

4.1.1. Pirmie bola un diagnostiskās sistēmas eksperimenti LLU fermā

Pirmais bola un diagnostiskās sistēmas izmēģinājums tika veiksmīgi notika LLU fermā 2021. gada aprīlī, kad boluss tika ievietots govs spureklī, izmantojot fistulu. pH un temperatūras mērījumi tika reģistrēti datorā, fermas telpā.



Attēls 4.1.3. Bolusa ievietošana spureklī, izmantojot fistulu.



Attēls 4.1.4. Mērījumu datu iegūšana



Attēls 4.1.5. Eksperimenta dalībnieki. Bola izņemšana.

Otrais bola un diagnosticēšanas sistēmas izmēģinājums tika organizēts LLU fermā 2021. gada jūnijā, kad boluss tika ievietots govīs spureklī, izmantojot fistulu. pH un temperatūras mērījumi tika reģistrēti datorā, fermas telpā.



Attēls 4.1.6. Izmēģinājumi LLU fermā 2021 gada jūnijā

4.1.2. pH bolusa sensoru pilnveidošanā pēc pirmajiem izmēģinājumiem

Bolusa pH sensors sastāv no ISFET ierīces un references elektroda. ISFET ierīces, kā parādīts 3.32. attēlā, tiek uzglabātas ar uzliktni, kas aizsargā pret putekļiem un sausumu. 3.33. attēlā ir parādīta references elektrodu uzglabāšana. Atšķirībā no ISFET ierīcēm, references elektrodi tiek uzglabāti

noslēgtā traukā 0,2M sērskābes šķīdumā.



4.1.7. attēls. ISFET ierīču uzglabāšana



4.1.8. attēls. References elektrodu uzglabāšana

pH bolusa sensoru atjaunošana

Pēc iepriekš veiktajiem izmēģinājumiem, no vecajiem bolusa korpusiem tika atgūtas 4 ISFET ierīces un 4 references elektrodi. Tāpēc tika veikta ierīču atjaunošana, lai varētu tās izmantot jaunajos bolusos. References elektrodu atjaunošana bija vienkārša. Tie bija jāpatur kādu laiku noslēgtā traukā 0,2M sērskābes šķīdumā. Tad to īpašības atjaunojās. No 4 ISFET ierīcēm ir atgūtas 2. Divām ierīcēm ir nepieciešama papildu apstrāde, t.i., jāpanāk plēvītes notīrīšana no ISFET atkailinātā elektroda.

pH bolusa sensoru kalibrēšana

Tika pārbaudītas un kalibrētas visas ISFET ierīces, kopskaitā 4. Tika pārbaudīti arī visi references elektrodi. Jāatzīmē, ka ierīces nav identiskas, t.i., pie vienādām pH ierīču izejās ir dažādas sprieguma vērtības. Tāpēc katrs pH sensoru pāris ir vienmēr jākalibrē atsevišķi.

pH bolusa korpusu testēšana

Gatavojoties bolusu testēšanai LLU, Jelgavā tika sagatavoti un ievietoti turētājos sensoru komplekti, pirms ievietošanas bolusos. Pavisam tika sagatavoti 3 komplekti. Bolusa hermētiskuma pārbaudei tika sagatavots bolusa korpusis un ar atsvariem iegremdēts ūdenī. Pēc 24 stundām izņemot bolusu no ūdens, bija jūtams ka bolusā iekļuvis ūdens. Sākotnēji bija hipotēze par nekvalitatīviem bolusa savienojumu blīvējumiem, kas neaiztur ūdens iekļūšanu bolusa iekšienē. Tad radās doma pārbaudīt paša korpusa ūdens izturību, jo bolusā iekļuvušā ūdens daudzums bija ievērojams. Kā parādīts 3.34. attēlā, bolusa korpusi tika iegremdēti traukā ar ūdeni. Iegūtais rezultāts bija negaidīts, jo visi korpusi bija ūdens caurlaidīgi, neraugoties uz materiāla specifikācijā rakstīto: “ūdens necaurlaidošs”.



4.1.9. attēls. Bolusa korpusa pārbaude ūdenī

Izpētot sīkāk, atklājās, ka izgatavošanas tehnoloģija negarantē pilnīgu hermētiskumu savienojumu vietās. Hermētiskumu iespējams nodrošināt izmantojot speciālu epoksīda sveķu kompozīciju vai vaska maisījumu. Tika izvēlēts vaska maisījums un visi korpusi tika apstrādāti ar vaska maisījumu.

Sākotnēji maisījums tika uzklāts ar otu, kas neveda 100% hermētiskumu. Tāpēc visi bolusa korpusi tika pilnībā iegremdēti izkausētā vaska maisījumā. Veiktās hermētiskuma pārbaudes apliecināja, ka korpusi nodrošina ūdens necaurlaidību.

pH bolusa sensoru kalibrēšana

Pēc korpusu hermētiskuma nodrošināšanas tika atsākta sagatavoto pH sensoru testēšana un kalibrēšana. Kalibrējot, neviens no iepriekš sagatavotajiem 3 komplektiem, 3.35. attēls, nemērīja kā iepriekšējās pārbaudēs. Veicot izpēti, tika atrasts, ka pēc pārtraukuma nestrādā neviens no sagatavotajiem references elektrodiem. To iespējams novērst, nomainot tos ar jauniem references elektrodiem. Veicot nomaiņu, elektrodus ir nepieciešams hermetizēt.



4.1.10. attēls. Turētājos ievietotie pH sensori un abas puses kopā.

Vispirms ir jāhermetizē sensoru turētājā, tad jā sagaida hermētiķa sacietēšana. Tad turētājs ar sensoriem jāievieto bolusa pamatnē vēlreiz ir jāhermetizē, saspiežot

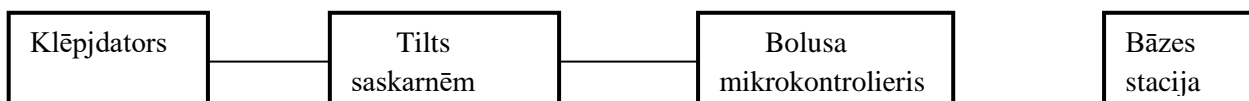
pH bolusa mikrokontrolera programmatūras pilnveide

Lai paātrinātu pH bolusa mikrokontroliera gatavības pārbaudi, tika pilnveidota mikrokontroliera programmatūra, papildinot to ar datu pārraides bloku. Ja līdz šim

mikrokontroliera gatavību darbam noteica 2 stundas pēc ieslēgšanas, kad tika savākti un noraidīti mērījumi, tad tagad mikrokontroliera gatavību darbam nosaka 2 minūšu laikā pēc barošanas pieslēgšanas. pH bolusa mikrokontolieris noraida savu adresi, tad bāzes stacija uztver noraidīto adresi, ieraksta to datu atmiņā un indicē uz ekrāna. Šis pilnveidojums ievērojami saīsina bolusa mikrokontoliera funkcionālās pārbaudes laiku.

pH bolusa mērījumu stabilitāti ietekmējošie faktori

Bolusa mikrokontroliera skaņošanai un testēšanai pielieto 3.36. attēlā parādīto shēmu. Ar tās palīdzību veic programmu nomaiņu mikrokontrolierī, programmas konstanšu izmaiņas, izvēlas darbības režīmus. Klēpjdatora piekļuvi bolusa mikrokontolierim nodrošina saskarņu USB-Virkne tilts. Tilts ir atsevišķa plate, kas +3.3V barošanu saņem no bolusa mikrokontroliera. Patērējamā strāva ir 8mA. Ja bolusa mikrokontolieri pārslēdz dziļa miega režīma (deep-sleep), kas patērē 0.18 mA, tad kopējais patēriņš ir >8mA.



Attēls 4.1.11. Bolusa mikrokontroliera testēšanas pilnā slēguma shēma

Testējot, bolusa mikrokontolieri var barot no baterijas vai no barošanas avota. Darba režīmā, kas parādīts 3.37.attēlā bolusa mikrokontolieri baro tikai no baterijas. Salīdzinot pH mērījumu rezultātus pilna slēguma un darba slēguma shēmām, atklājās, ka mērot pH 7.00 buferšķīdumu ar pilnā slēguma shēmu iegūstam vērtības pH 7.0 ± 0.1 , bet mērījumos ar darba slēguma shēmu iegūstam kļūdainas vērtības pH 7.0 ± 0.9 . Analizējot slēgumu shēmas un mainot slēgumu parametrus, tika atklāts, ka arī ar darba slēguma shēmu var iegūt vērtības pH 7.0 ± 0.1 , ja barošanas pārveidotāju slogu ar $\sim 660 \Omega$ pretestību. Ja slodze ir lielāka, piem., $1k\Omega$, tad atkal ir kļūdainas pH vērtības.



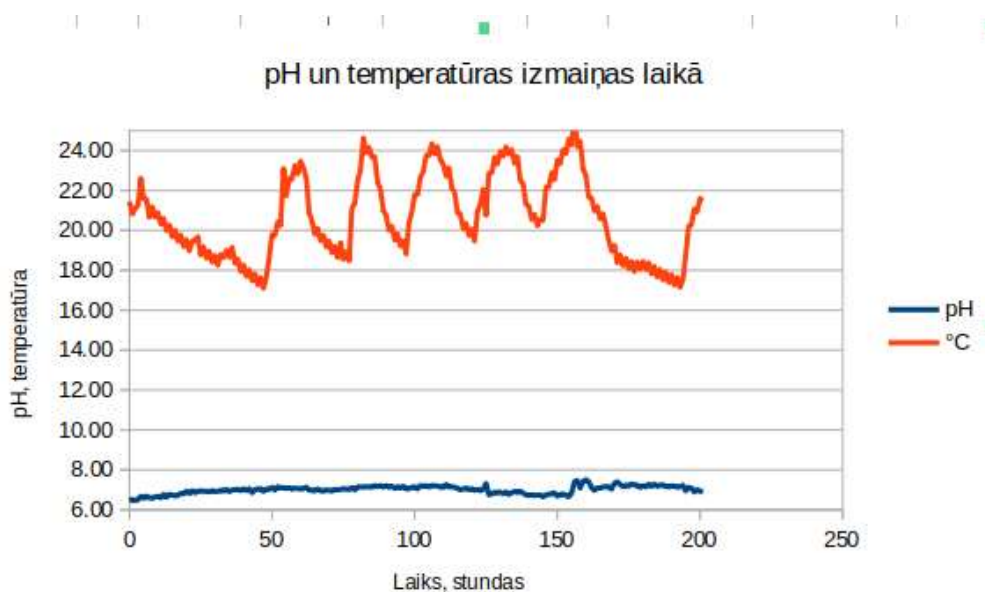
4.1.12. attēls. Bolusa mikrokontroliera darba slēguma shēma

Šīs nepilnības novēršanai tika noteikti sekojoši iespējamie risinājumi:

- 1) barošanas pārveidotāja nomaiņa;
- 2) izmaiņas radio programmatūras dzinī;
- 3) izmaiņas ACP programmatūras dzinī;
- 4) atsevišķa barošanas shēma ACP pastiprinātājam.

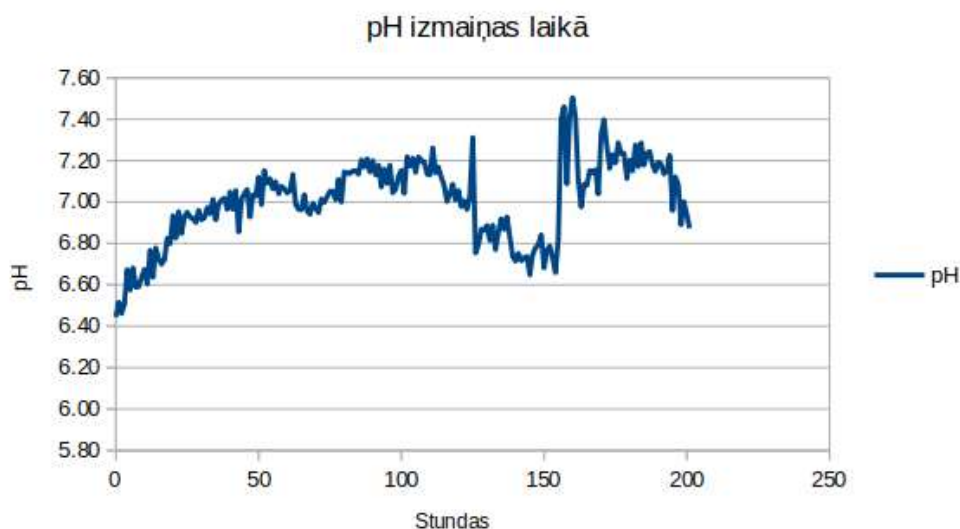
pH bolusa mikrokontrolera shēmas pilnveide

Lai pārbaudītu pilnveidoto pH bolusa mikrokontrolieri, tika veikti sensoru testi no 21.-31. janvārim.



4.1.13. attēls. pH un temperatūras izmaiņas laikā.

Mikrokontroliera pilnveide ietvēra barošanas pārveidotāja shēmas nomaiņu un baterijas kapacitātes palielināšanu. Šīs izmaiņas bija nepieciešamas sensoru stabilai darbībai. Kā redzams attēlā 3.38. “pH un temperatūras izmaiņas laikā” 200 stundu laikā pH sensora vērtības izmainās pakāpeniski, izņemot dažus vērtību izsitienus, kas saistīti ar manipulācijām izmantojamā bufersķīdumā. Sākotnēji pH sensora vērtība stabilizējās ap pH 7.0 vērtību. Tad vērtība svārstās ap 7.0. Attēlā 3.39. “pH izmaiņas laikā” redzamas arī necīgas pH izmaiņas. Redzamie pH vērtību izsitieni ir saistīti ar mērāma šķīduma papildināšanu, jo mērāma šķīduma tilpums bija ~7 ml. Var secināt, ka veiktie pilnveides pasākumi nodrošina pH mērījumu atkārtojamību un stabilitāti.



4.1.14. attēls. pH izmaiņas laikā.

pH bolusa sagatavošana testēšanai un testēšana lauka apstākļos

Veiktie bolusa laboratorijas testi 2022.gada janvārī apliecināja, ka izvēlētā litija baterija ER18505M (attēls 3.40) nenodrošina vajadzīgo pīķa strāvu, lai gan tās kapacitāte ir 3500 mAh, un tāpēc neder bolusam.



Attēls 4.1.15.



Attēls 4.1.16.

Tās vietā izmanto attēlā 3.41. redzamo LS 14500 bateriju komplektu, kas paralelā slēgumā dod 5200mAh lielu kapacitāti un nodrošina nepieciešamo pīķa strāvu.

2022.g 8. februārī boluss tika hermetizēts un veikta bolusa kalibrēšana pH 4.0 un pH 7.0 kalibrēšanas buferšķīdumos. 18. februārī boluss tika aizvests uz Jelgavu, LLU un uzsākti izmēģinājumi. Sākotnēji šķita, ka viss ir kārtībā, jo mērījumi pa radio tika uztverti, kā paredzēts plkst.15.50. Taču 22. februārī atklājās, ka mērījumi vairs nepienāk. Tāpēc boluss tika izņemts.

Pavisam bija saņemti 48 mērījumi, kas bija noraidīti 18. februārī plkst. 15.50, 17.50, 19.50 un 21.50. Iespējamais iemesls varētu būt šķidrums iesūkšanās bolusā, pa sensoru ievietošanas atverēm, kā redzams attēlā 3.42. Ievietojot sensorus, tie tiek hermetizēti ar speciālu silikona hermētiķi, bet pastāv iespēja, ka tomēr kaut kur bija sūce.



4.1.17. attēls

2022.gada februārī ir salodētas 3 jaunas mikrokontroliera plates, kuras ir pārbaudītas. 2 no tām var izmantot, ievietošanai bolusā, kas arī tiks darīts. Trešajai ir jāmeklē kļūme.



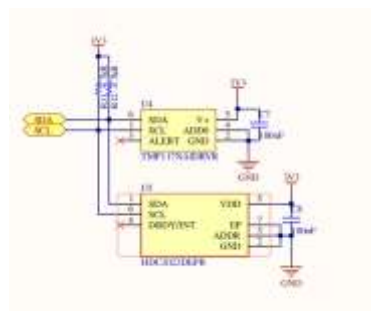
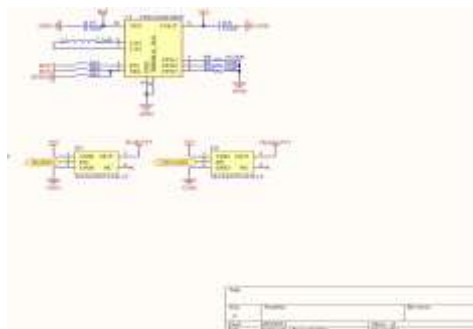
4.1.18. Attēls. Jauna bola prototipa izmēģinājumi LLU fermā 2022.g. februārī



4.1.19. Attēls. Jauna bola prototipa izmēģinājumi LLU fermā 2022.g. februārī

4.1.3. pH bolusa papildināšana un sagatavošana testēšanai

2021. un 2022. gadā veikto eksperimentu analīze liecina, ka eksperimenti apstiprina nepieciešamību kontrolēt mitruma līmeni bolusā. Tāpat palika skaidrs, ka nepieciešams pilnveidot barošanas pārveidotāju. Tas arī bija cēlonis 2021. gadā veiktajai jaunās mikrokontrolera plātes izstrādei, kurā



4.1.20. attēls

būtiskākais bija barošanas pārveidotāja nomainīšana, aizvietojo ar 4.1.20.1. attēlā parādīto TPS63900. Līdztekus tika iekļauts arī mitruma sensors relatīvā mitruma mērīšanai HDC2022, kas parādīts 4.1.20.2. attēlā.

Jaunās mikrokontroliera plātes netika izgatavotas, jo pasūtīt to izgatavošanai nepieciešamās mikroshēmas atklājās, ka to tūlītēja piegāde nebija iespējama, bet tikai 9-12 mēnešus vēlāk. Sākotnēji bija cerība iztikt bez jebkādiem izmaiņām. Bet eksperimenti apstiprināja pretējo. Tāpēc tagad mums esošais mikrokontrolieris tiek papildināts ar barošanas pārveidotāju TPS63900 un mitruma sensoru HDC2022.

Elektronikas aizsardzībai pret mitrumu tika iegādāts speciāls aerosols, kas parādīts 3. attēlā.

Tika sagatavoti 2 bolusi ar mikrokontroleriem, aizsargātiem pret mitrumu un kuriem pieslēgts mitruma sensors HDC2022 relatīvā mitruma kontrolei.

Vispirms tiks veikta bolusu testēšana laboratorijā, ievieojot tos līdz pusei šķidrumā un kontrolējot relatīvā mitruma līmeni. Ja pēc vairākām dienām relatīvais mitrums būtiski neizmainīsies, tad eksperimentus ar bolusiem var turpināt LLU.

pH bolusa papildināšana un sagatavošana testēšanai (aprīlis – maijs 2022.g.)

Sagatavojot pH bolusus testēšanai lauka apstākļos bija jārisina 2 problēmas. Pirmā problēma bija saistīta ar nepieciešamību pilnveidot bolusa temperatūras mērīšanas shēmu. Tas tika izdarīts, pieslēdzot I2C saskarnes SDA portam papildus strāvas avotu ULP režīmā. Tas notiek, veicot bolusa pH un temperatūras mērījumus, kas ilgst 3 sekundes un atkārtojas ik pēc 10 minūtēm. Tā ka pirmā problēma tika atrisināta.

Otrā problēma bija saistīta ar pH sensoru darbību. pH. sensoram ir 2 daļas: ISFET sensors un references elektrods. Pārbaudot krājumā esošos elektrodus un sensorus, atklājās, ka visi references elektrodi ir darba kārtībā, bet no 7 ISFET sensoriem strādā tikai viens ISFET sensors. Atbilstoši tehniskajam aprakstam tika veikta atkārtota ISFET sensoru tīrīšana, bet tas nedeva vēlamu rezultātu. Tika izveidota stikla glāze ar ISFET sensoriem, 1. un 2. attēls, kurā ir ieliets kalibrēšanas buferšķīdums pH7.0. Tika plānots paturēt pH sensorus pāris dienas buferšķīdumā un tad veikt pārbaudes mērījumus. Lai varētu turpināt testēšanu lauka apstākļos, tika pasūtīti vēl 2 ISFET sensori no SENTRON. Paredzamais piegādes laiks bija 5. maijs, bet saņēmām jau šodien 28.04..



4.1.21.1.attēls



4.1.21.2.attēls

ISFET elektrodi nostāvēja pH7.0 buferšķīdumā no 14.04. līdz 26.04. Pārbaudot ISFET elektrodus, netika atklātas kaut kādas izmaiņas. Tātad praktiski izmantošanai tie nav derīgi.

Izmantojot saņemtos pH sensorus un esošo sensoru, var sagatavot darbam 3 bolusus. Paredzēto darbību secība izmēģinājumiem LLU ir sekojošā.

- 1) Bolusu sagatavošana hermetizēšanai 28.04. - 03.05.
- 2) Mikrokontroleru un sensoru testēšana un kalibrēšana pirms ievietošanas bolusos 5.05. - 6.05.
- 3) Bolusu hermētiskuma pārbaude 09.05. - 12.05.
- 4) Izmēģinājumi tika plānoti LLUfermā no 13.05.

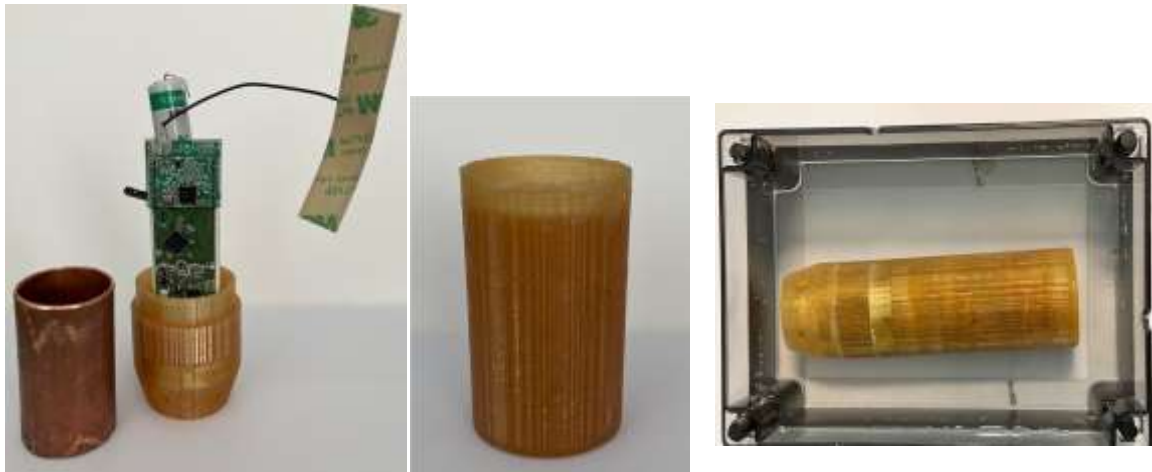
pH bolusa hermetizēšana un tilpuma aizpildīšana testēšanai 2022.gada maijā

Lai novērstu jebkādu šķidrums nokļūšanu bolusā, ar tam sekojošu pH bolusu degradāciju, tika nolemts izmantot speciālu izolācijas silikonu, lai pilnībā aizpildītu visu neaizpildīto bolusa tilpumu. Ja līdz šim projektā silikonu izmantoja tikai bolusa savienojumu vietu hermetizācijai, tad jaunajiem bolusiem ar silikona masu ir aizpildīts viss tilpums. 1. attēlā ir parādīts izmantotā silikona piemērs. Tas ir šķidr, divkomponenšu, maisījums, kas labi aizpilda visus tukšumus. Silikons sacietē 24 stundu laikā, nodrošinot labu elektroizolāciju un siltumvadīšanu.



4.1.22. attēls

Aizpildīšana notiek pakāpeniski. Vispirms ielej silikonu 2. attēlā redzamajā bolusa pamatnē ar mikrokontroleri, bateriju, antenu un balasta svaru un ļauj tam sacietēt. Tad ielej silikonu bolusa



4.1.23. attēls

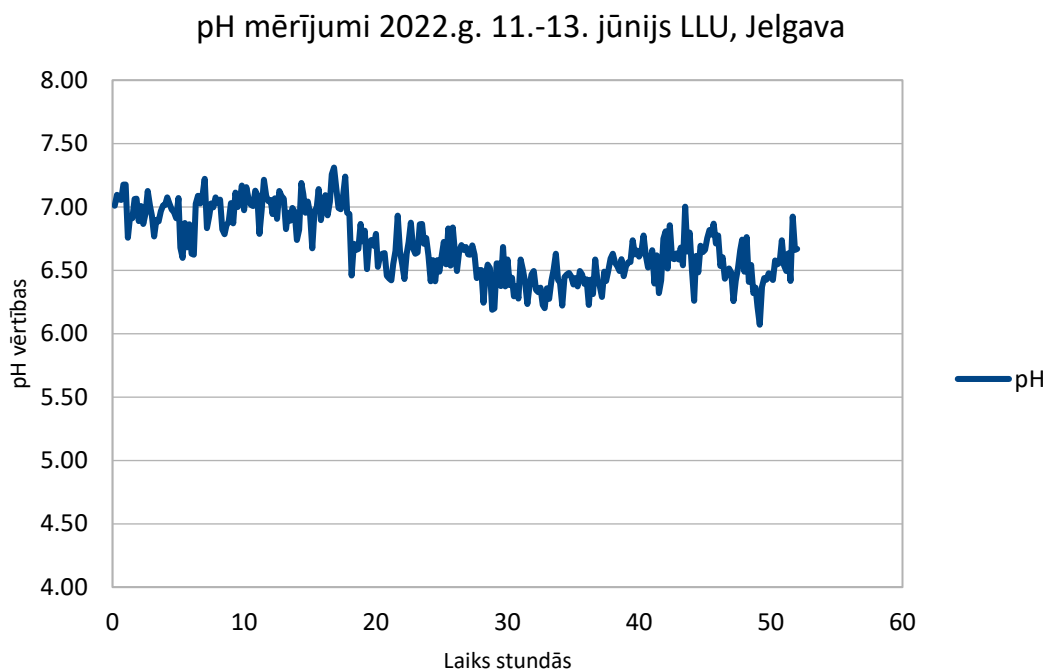
korpusā 4.1.23 3. attēls un pagriežot bolusa pamatni savienošanai ar korpusu, iegremdē to ar silikonu piepildītajā bolusa korpusā. Pēc silikona sacietēšanas pH boluss ir gatavs pielietošanai. Pēc katras procedūras notiek pH bolusa funkcionalitātes pārbaude.

Pašlaik ir šādā veidā ir sagatavots un testēts viens pH boluss. Pārējiem 2 bolusiem hermetizācija tiks pabeigta pēc eksperimentiem LLU. pH bolusa hermētiskums ir testēts 96 stundas, iegremdējot to ūdenī kā parādīts 4. attēlā. Novirzes nav novērotas.

pH bolusa ievietošana spureklī un mērījumu vākšana un apstrāde

pH boluss tika ievietots govs spureklī 2022.g. 27. maijā pH un temperatūras mērījumu veikšanai. Mērījumi turpinās. Vairākas reizes ir bijuši barošanas pārtraukumi, kuru laikā mērījumi nav savākti. Ievietotais pH boluss funkcionē ļoti stabili, kā tas parādīts 1. attēlā. Jāievēro, ka pH mērījumu apstrāde veikta bez jebkādam temperatūras vai parametriskām

korekcijām. Iespējams, ka veicot parametrisko korekciju, kas saistīta ar ISFET pH sensora raksturlīknes izmaiņām laikā, pH mērījumu līkne būtu apmēram vienā līmenī.



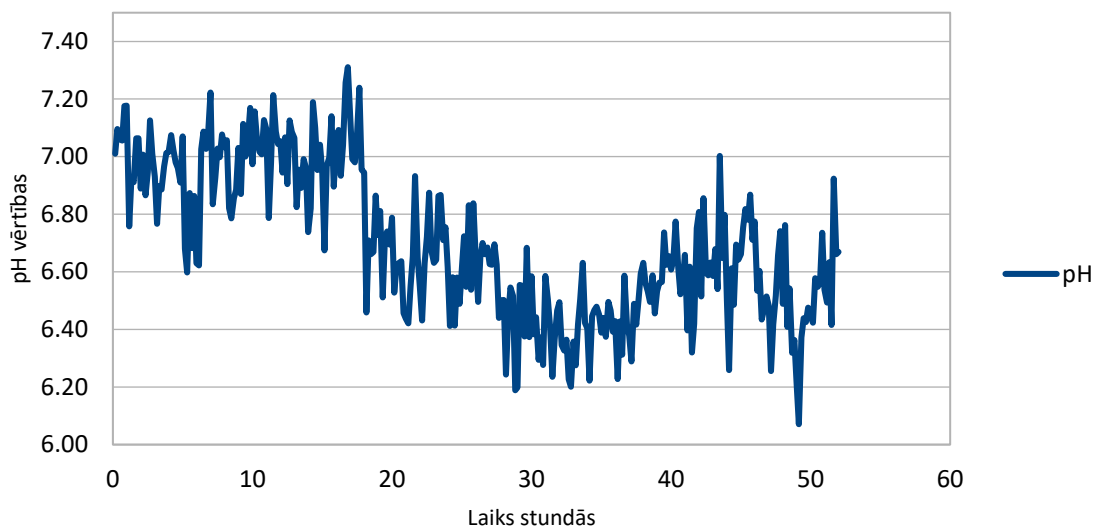
4.1.24. attēls pH mērījumi

2. attēlā ir parādīti pH mērījumi citā mērogā, kas labāk attēlo izmaiņu raksturu. 3.attēlā ir redzami temperatūras mērījumi, kuros labi var redzēt, kad govys ir padzērusies. Ar govys dzeršanu ir saistīta cita, tiešām, problēma. Govys padzēršanās būtiski ietekme bolusa radiosignāla pārraides kvalitāti. Ja parasti no bolusa pienākošā signāla vājinājums ir robežās no -40 līdz -60 dBm, tad govij padzeroties, vājinājums pieaug līdz pat -90 dBm. Atsevišķos gadījumos tas izsauc signāla kropļojumus un dīvainus rezultātus. Piemēram, 14.jūnijā 1.06 no bolusa uztvertajā mērījumu virknē ir 6 mērījumi. Pirmie 3 ir labi. 4,5,6 ir tikai mērījumu numuri. Radiosignāla vājinājuma pieaugums ir -83 dBm.

2022, 6, 14, 1, 6, 18, 1, 165) -128 -19.0

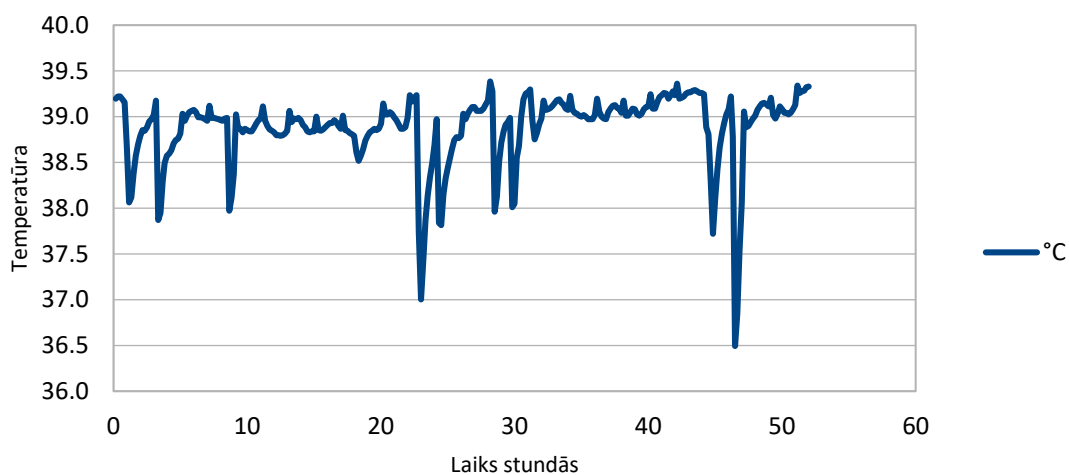
e18c'1;30885;5015;2;31409;4996;3;31325;4996;4;314,8##)©;5;3<479;t<96;6+31120;504Ñ¥

pH mērijumi 2022.g. 11.-13. jūnijs LLU, Jelgava



4.1.25. attēls pH mērijumu izmaiņas

Temperatūras mērijumi 2022.g. 11.-13.jūnijs LLU, Jelgava



4.1.26. attēls Temperatūras mērijumu izmaiņas



4.1.27. Attēls. pH un temperatūras sensoru bolu ievietošana spureklī un mērījumu vākšana un apstrāde LLU fermā 2022. gadā maijā - jūnijā

4.1.3. SARA diagnostiskās sistēmas izmēģinājumi Ogres Piens fermā

Pēc jauniem sistēmas uzlabojumiem tika veikti izmēģinājumi Ogres Piens fermā Ciempupē 2022. gadā jūlijā. pH un temperatūras sensoru bolu ievietoja cauri muti, neizmantojot fistulu, iepriekš izvēlētajam dzīvniekam, kura veselības stāvokli novēroja pēdējos mēnešos.



4.1.28. Attēls. OP galvenais izpildītājs vetārsts Uldis Veide demonstrē vienu no OP fermām



4.1.29. Attēls. Jaunas paaudzes pH un temperatūras mērīšanas boluss. Bola ievietošana dzīvnieka spureklī.

Ogre Piens fermā tika izmēģināta diagnosticēšanas sistēma kopumā. pH un temperatūras mērījumi tika ierakstīti ik 10 minūtes kontroliera atmiņā. Raidītais pārraidīja mērījumu datus vienu reizi divās stundās. Eksperimenta laikā dati tika reģistrēti divos veidos: a) 433 MHz radiosignāls no bola raidītāja uz radiosignāla uztvērēju, kurš ir savienots ar datoru; b) uz

radiosignāla uztvērēju uz radiosignāla uztvērēju, kurš ir savienots ar GSM rūteri. Gala rezultātā dati tika reģistrēti sistēmas datu bāze, tika apstrādāti un reprezentēti ar web interfeisu.



4.1.30. Attēls. pH un temperatūras sensoru - mērījumu vākšana un apstrāde LLU fermā 2022. jūlijā.

4.1.4. Diagnostiskās sistēmas izstrādes apkopojums

Īss kopsavilkums

pH bolusu izstrāde ietvēra galveno sastāvdaļu izvēli, saskarņu izvēli, sastāvdaļu detalizāciju un izstrādi, algoritmu un programmatūras izstrādi un lāgošanu, aparatūras maketu izstrādi, aparatūras projektēšanu un izgatavošanu, izgatavoto moduļu testēšanu, operētājsistēmas ierakstus, lietotājprogrammu skaņošanu, bolusu sagatavošanu, aizsargapstrādi, pH sensoru kalibrēšanu, bolusa korpusa hermētiskuma pārbaudi un pH bolusa mērījumu datu savākšanu.

4.1. Tabula. pH bolusu izstrādes apjomu raksturo sekojoši sekojoši indikatīvie rādītāji:

Aktivitāte	Aktivitātes saturs	Uzprojektēts	Izgatavots
Bolusa korpusi	Ar SolidWorks projektētas detaļas no 3 dažādiem materiāliem 3D drukai. EDI izgatavoti 5(2+3) korpusu komplekti. 3dprinters.lv izgatavoti 6 korpusi.	3	2+3+6 =11
Mikrokontroleris	Ar Altium Designer uzprojektēja plates, kas satur: mikrokontrolieri; pH sensora saskarnes	2	14

	shēmu; radio radiouztvērēju; temperatūras sensoru; radio un pH sensora barošanas slēdžus; barošanas bloku; barošanas bateriju.		
Bolusa maketi	Pirms mikrokontroliera plates projektēšanas tika izstrādāta koncepta plate, kurā izmantoja gatavus moduļus. Šo koncepta plates maketu izmantoja programmatūras izstrādei. Atsevišķi tika izstrādāts pH sensora saskarnes makets pH sensora pieslēgšanai un pārbaudei.	1 1	2 3
pH sensors	pH sensors izveidei bija jākomplektē Sentron ISFET ierīce un references elektrods ET072	1	6
Piekļuves ierīce	Piekļuves ierīce satur mikrokontrolieri un radio mērījumu datu uztveršanai no pH bolusa.	1	6
Programmatūra	Programmatūras izstrāde ietver: programmatūru pH bolusam, programmatūru piekļuves ierīcei, programmatūru maršrutētājam un programmatūru serverim.	4	4
pH boluss	Hermetizēta pH bolusa korpusa iekšienē ir mikrokontrolieris ar sensoriem. Mikrokontrolieris ir pārklāts ar silikona masu.	1	6

Galvenās sastāvdaļas un to izvēle

pH bolusa veicamās funkcijas viennozīmīgi nosaka tajā ietilpstošo aparatūras sastāvu un nepieciešamos programmatūras dziņus. pH bolusa pamatfunkcija ir ilgstoši, regulāri pH un temperatūras mērījumi govs spureklī un veikto mērījumu datu pārraide ārpus govs spurekļa noteiktos laika brīžos. pH mērījumu veikšanai ir vajadzīgs pH sensors un tā saskarne ar mikrokontrolieri. Temperatūras mērījumu veikšanai ir vajadzīgs temperatūras sensors. Mērījumu datu pārraidei ir nepieciešams radio raiduztvērējs. Mikrokontrolieris veic pH, temperatūras mērījumu, radio un ierīču barošanas vadību, padodot izpildei vadības signālus. Vienlaikus mikrokontrolieris nolasa pH un temperatūras mērījumu vērtības un saglabā tās atmiņā. Radio, saņemot mērījumu datus un vadības signālus no mikrokontrolera, veic datu pārraidi. Būtiskas bolusa sastāvdaļas ir arī barošanas baterija, barošanas bloks un barošanas slēdži.

Izvēlēto risinājumu realizācija

Pastāvošie ierobežojumi risinājumu realizācijai ir saistīti ar bolusa izmēriem, kurus nosaka tā pielietojuma mērķis, ar barošanas baterijas kapacitāti. Tāpēc bija jāizstrādā 4-slāņu kompakta mikrokontrolera plate uz kuras atrastos visi elementi, izņemot pH sensoru. pH sensors atrodas

bolusa ārpusē un tiek aizsargāts ar bolusa uznavu. pH sensora komutācijas daļa atrodas bolusa iekšienē. pH sensors ar kabeli tiek pieslēgts mikrokontrolerim. pH sensors ir pH bolusa būtiskākais un dārgākais elements, cena aptuveni 400 euro. pH sensors sastāv no ISFET (jonu jūtīga lauka tranzistora) ierīces un references elektroda ET072, kas atšķirībā no citiem references elektrodiem ir ilgmūžīgs, kalpo 1-2 gadus. Sākotnējā realizācija bija paredzēta moduļu izpildījuma, izmantojot uzprojektētu moduļu komutācijas plati ar barošanas bloku. Šādā koncepta pārbaudei izveidotā komutācijas platē varētu saspraust vajadzīgos moduļus un ievietot to bolusā. Tomēr koncepta plates izmēri pārsniedz pieļaujamos un to nevarēja ievietot bolusā. Koncepta plate tika izmantota pH sensora un radio raiduztvērēja darbības pārbaudei

Bolusa korpusa un mikrokontrolera plašu izstrāde

Bolusa korpusa izveide ir viens no svarīgākajiem izstrādes posmiem, jo korpusa kvalitāte nosaka tā spēju aizsargāt izmantojamās elektroniskās ierīces pret govs spureklī esošajām vielām un šķidrums, kas spēj oksidēt ierīces un izraisīt elektrisko ķēžu īssavienojumu. Bolusa korpusa izstrāde notika vairākos posmos.

- posmā tika modelēti bolusa korpusa izmēri, kas atbilstu to pielietošanai govs spureklī un vienlaikus atbilstu pieļaujamiem mikrokontrolera plates un barošanas bateriju izmēriem. Tika izgatavoti 2 bolusa korpusi no ABS plastmasas. Tika validēta to atbilstība plates izmēriem un iespējamam pH sensora novietojumam.
- posmā tika izgatavoti 3 reāli, izmantošanai derīgi bolusa korpusi no PLA plastmasas. PLA plastmasa ir dzīvniekiem nekaitīga atšķirībā no ABS plastmasas. PLA plastmasa ar laiku degradējas, tāpēc to var izmantot tikai īslaicīgai ievietošanai govs spureklī. Ņemot vērā pH bolusu sagatavošanas mērīšanai un īslaicīgās ievietošanas rezultātus, tika veiktas korekcijas un izmaiņas bolusa korpusa konstrukcijā.
- 3.posmā tika izgatavoti 6 koriģētie bolusa korpusi no PEI1010 plastmasas, kas līdzīgi PLA plastmasai ir nekaitīga dzīvniekiem, bet atšķirībā no PLA plastmasas nedegradējas. Bolusu korpusu izstrāde notika, izmantojot programmatūru SolidWorks. Izstrādātais kods un bolusu korpusu elementu attēli ir parādīti pielikumā Nr.1.

Mikrokontroleru plašu izstrāde ar Altium Designer tika uzsākta pēc AFE(Analog Front-End) shēmas izstrādes, projektēšanas, maketēšanas un pārbaudes ar pH sensoru. Tika uzprojektēta 4-slāņu mikrokontrolera plate, uz kuras atradās sekojoši bloki: 1) mikrokontroleris; 2) pH sensora saskarnes shēma AFE; 3) radio raiduztvērējs; 4) temperatūras sensors; 5) radio un pH sensora barošanas slēdži; 6) barošanas bloks; 7) barošanas baterija. Izstrādāto plašu shēmas ir pielikumā Nr.2. Mikrokontrolera plate tika izgatavota Vācijā, jo Latvijā nav iespēju izgatavot 4-slāņu plati. Pirmajā pasūtījumā tika izgatavotas 10 plates, no kurām pēc lodēšanas, izmantošanai bija derīgas 8. Veicot OS ierakstus platēs un pārbaudot mikrokontroleru darbību, normāli funkcionēja 6 plates. Blīvā trasējuma un mazo izmēru dēļ bija neiespējami veikt labojumus ar lodāmuru. Plašu testēšanas procesā, ievietojot tās bolusā un veicot mērījumus, tika izmantotas 5 plates. Plates pilnveides nolūkā tika uzprojektēta jauna pilnveidota mikrokontrolera plate ar uzlabotu barošanas bloku un novērstām pirmās plates

nepilnībām. Taču jauna plate netika izgatavota, jo nebija iespējams pasūtīt un saņemt mikroshēmas līdz projekta beigām. Papildus tika izgatavotas 4 pirmās paaudzes plates, kurās izmantoja RTU izstrādātu barošanas bloku.

Bolusa hermetizācija un testēšana

Sākotnēji bolusa aizsardzībai paredzētā hermetizācija pret govju spurekļa saturu izrādījās nepietiekoša. Atkārtoti bolusa darbības testi parādīja, ka nepietiek tikai ar bolusa hermetizāciju, bet ir nepieciešama papildus elektronisko ierīču aizsardzība. Šim nolūkam tika iegādātas vispārējā pārklājuma silikona izsmidzinātājs DCA SCC3 un divkomponentu silikona pārklājuma masa 021. To pielietojums ievērojami uzlaboja bolusa elektronikas aizsardzību pret govju spurekļa saturu.

pH bolusa hermetizācijas testēšana notika, ievietojot to ūdenī 5-10 dienas. pH bolusa testēšana sākotnēji noritēja govīs ar fistulu, kas ļāva operatīvi ievietot un izņemt pH bolusu. Pārlicinoties par pH bolusa normālu darbību fistulētajās govīs, pH boluss tika ievietots govju spureklī SIA "Ogres piens".

pH bolusa saturs

Bolusa izmēri ir sekojoši: diametrs - 40 mm, garums - 143 mm.

- Bolusa apakšējā daļā ir ievietota vara caurules posms ar diametru 30 mm un augstumu 50 mm. Vara caurules biezums 1,5 mm. Vara caurules posms nodrošina nepieciešamo bolusa svaru un svāra sadalījumu.
- Bolusā ievieto mikrokontroliera plati SESP, radio in AIR9B ar antenu W3502 un 2 x 3.6 V AA izmēra SAFT LS14500 CNA litija bateriju. Bolusa apakšējā daļā ir caurumi references elektrodam ET072 un ISFET sensoram A120-001.
- Bolusa augšējā daļā atrodas radio un antena.

Bolusa materiāls:

1) izmēģinājumiem - zemās temperatūras bolusa materiāls ir PLA, saite

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pla/>

2) gatavajam produktam - augstās temperatūras bolusa materiāls ir PEI 1010, saite

<https://www.3d4makers.com/products/pei-filament?variant=18721200836>

4.2. Fistulu uzstādīšana. Izmēģinājumi lauku apstākļos (LLU un zemnieku fermās), sākumā uz ierobežoto govju skaitā. Rezultātu dokumentācija un analīze

4.2.1. Spurekļa permanentās fistulas sagatavošanas pamatojums

Spurekļa permanentās fistulas, lai regulāri un brīvi piekļūtu spurekļa iekšējai videi, pasaulē tiek ļoti plaši izmantotas gan zinātniskos pētījumos, nosakot spurekļa satura temperatūru, pH, mikrobiomu un tā izmaiņas, vienšūņu populācijas izmaiņas, dažādu barību sagremojamības pakāpi, gaistošo taukskābju produkciju, siltumnīcas gāzu emisiju un citus parametrus, gan terapeitiskos nolūkos, veicot transfaunizācijas procedūras (Moate P. J. et all. 2018; Lafinn S.L. et all. 2008).

Permanentās spurekļa fistulas izveidei tiek aprakstītas divas tehnikas: vienas pakāpes un divu pakāpju ķirurģiskās tehnikas. Biežāk aprakstītā un lietotā ir vienas pakāpes tehnika, kuru veicot uzreiz tiek izveidota atvere spureklī un ievietot fistula (Martineau R. et all. 2014; Raffae et all. 2015; Lozier JW. et all. 2016).

Vienpakāpes spurekļa kanulācija. Ķirurģisko manipulāciju veic izmantojot, vietējo vai reģionālo anestēziju, vai tās kombinējot. Nepieciešamības gadījumā var izmantot sedatīvus līdzekļus, lai dzīvnieks būtu mierīgs. Pirms operācijas laukuma sterilās sagatavošanas ar audu marķieri uz ādas kreisajos tukšumos iezīmē stomas robežas. Izvēloties stomas topogrāfisko vietu, jāņem vērā, lai fistulas malas pēc tam neskartu trīspadsmitās ribas kaudālo malu, jostas skriemeļu šķērsizaugumus, kā arī gūžas paugura kraniālo daļu, jo pretējā gadījumā fistulas saskare starp minētajiem kaulu izciļņiem var radīt čūlu izveidi stomas ietvertajā spurekļa sienā.

Pēc sterila operācijas laukuma sagatavošanas pa iepriekš iezīmēto apļveida līniju tiek veikts grieziens ādā un šī āda atdalīta un noņemta. Tālāk grieziens tiek veikts, lai atdalītu ārējo slīpo vēdera muskuli, iekšējo slīpo vēdera muskuli, vēdera šķērsmuskuli un vēderplēvi, izveidojot atveri vēdera sienā. Veidojot atveri vēdera slīpajos muskuļos, tie jāatdala paralēli pa to šķiedrām, lai pēc procedūras tie cieši sakļautos ap jaunizveidotajā stomā ievietoto fistulu. Pēc tam caur izveidoto atveri tiek identificēts spureklis. Tā serozu ieteicams viegli saberzt ar abrazīvu materiālu (sterilu sūkli vai marles tamponu), tādējādi traumējot serozu virsējo kārtu un veicinot saistaudu veidošanos un spurekļa saaugšanu ar vēdera sienu atveres vietās. Tālāk spurekli nedaudz ievieto vēdera sienas atverē, to darot, jāizvairās no spurekļa pārlietu lielas celšanas, stiepšanas dorsāli, jo tad pēc procedūras jaunizveidotā stoma tiks stiepta ventrāli, radot iespēju veidoties spraugai starp gumijas fistulu un stomas ventrālo malu.

Pirms griezienu veikšanas spureklī veic spurekļa fiksāciju ar četrām pagaidu šuvēm, savienojot spurekļa sienu ar vēdera sienu, tādējādi izslēdzot spurekļa nobīdi brīdī, kad tajā būs veikts grieziens. Tad veic griezienu spurekļa sienā, pēc tam spurekļa sienu savieno ar ādu, izmantojot nepārtraukto šuvi. Spurekļa savienošana ar ādu sāk veikt no atveres ventrālās puses, lai mazinātu risku, kad spurekļa saturs iekļūst vēdera dobumā.

Kad ķirurģiskā procedūra pabeigta, jaunizveidotajā spurekļa atverē ievieto pagaidu speciāli šim nolūkam paredzētu gumijas fistulu ar aizbāzni.

Pēc procedūras dzīvniekam veic postoperatīvo ārstēšanas kursu, izmantojot pretiekaisuma līdzekļus un antibiotikas. Pirmās divas nedēļas nepieciešamā brūces aprūpe un kopšana katru dienu, pēc tam fistulas malas apseko un kopj reizi 2 vai 3 dienās. Pēc divu nedēļu dzīšanas procesa primāro fistulu nomaina ar pamata komplekta (ilgtermiņā paliekošo) spurekļa fistulu ar aizbāzni. Turpmāk regulāri veic fistulas apsekošanu un apkopi.

Veicot šo procedūru, tiks nodrošināta brīva pieeja spurekļa videi, lai paralēli projektā jaunizveidotā bolusa mērījumiem, varētu veikt kontrolmērījumus spurekļa satura temperatūrai un noteikt pH reakciju.

Projektā izvēlētās spurekļa fistulas ir literatūrā minētajos pētījumos viss biežāk un vissekmīgāk izmantotās speciāli šim nolūkam ražotās fistulas. Fistulas ir ražotas ASV no gumijas materiāla, kas karstumā ir elastīgs, jo šāda īpašība nepieciešamu fistulas ievietošanas brīdī, bet pēc tam kļūst stingrs, noturot fistulu paredzētajā vietā. Permanento spurekļa fistulu diametrs var būt dažāds no 7,5 līdz 15 cm diametrā, bet biežāk lietotais diametrs pētījumos tiek minēts 10 cm, kas ļauj ar roku vai kādu iekāru brīvi piekļūt spurekļa un acekņa saturam un iegūt paraugus (Lafinn S.L. et al. 2008; Metwally et al. 2015). Literatūrā un interneta vietnēs var atrast aprakstus arī par plastmasas fistulām, bet lielākoties tās paredzētas lietošanai mazajiem atgremotājiem vai fistulu ierīkošanai citās gremošanas sistēmas daļās (Chávez-García et al. 2018).

Trešajā projekta posma laikā bija sagatavots dzīvnieks ierīces testēšanai drošos veterināros apstākļos – saskaņā ar plānu, spurekļa sienā ieoperēta un pilnībā integrēta permanentā fistula, veikta pēcoperācijas aprūpe, dzīvnieka veselības stāvokļa novērošana, tajā skaitā laboratoriskās analīzes, regulāra klīniskā izmeklēšana, termometerizācija.

- Sadarbībā ar Pārtikas veterināro dienestu tiek precizētas procedūras, to dokumentēšanas kārtība atbilstoši MK noteikumiem par dzīvnieku izmantošanu pētniecībā.
- Notika dzīvnieku veterinārmedicīniskā uzraudzība, piedalīšanās manipulāciju izpildē pēcoperācijas periodā, dzīvnieku kopēja darba uzraudzība, organizēšana, raciona plānošana, piedalīšanās manipulācijās un ar to saistītās dokumentācijas noformēšanu.
- Notika ķirurģisko manipulāciju operācijas analīze un potenciālu jauninājumu pielāgošana maksimāli veiksmīgas otrās operācijas veikšanai

Projekta 5. posmā tika veikti šādi darbi:

- Dokumentācijas kārtošana, dokumentu aprites nodrošināšana, piedalīšanās projekta izstrādes praktiskajā darbā;
- Finanšu un administratīvo dokumentu pārvalde un sagatavošana;
- Darbs ar izmēģinājuma dzīvniekiem saskaņā ar projekta norises gaitu, piedalīšanās manipulāciju izpildē pēcoperācijas periodā;

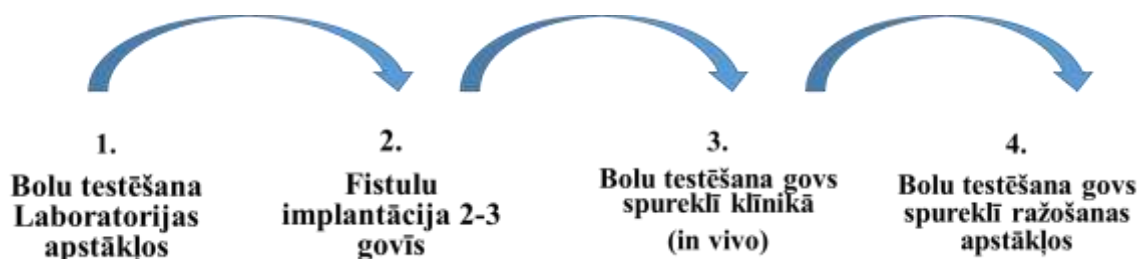
- Otra dzīvnieka sagatavošana eksperimenta uzsākšanai – fistulas ieoperēšana.
- Ar projekta izpildi saistīto govju veterinārmedicīniskā uzraudzība, piedalīšanās manipulāciju izpildē pēcoperācijas periodā, dzīvnieku kopēja darba uzraudzība, organizēšana, raciona plānošana, piedalīšanās manipulācijās, ar to saistītās dokumentācijas noformēšanu.
- Kontroles bolu sagatavošana un funkcionalitātes testēšana.
- Projekta un tā izpildē materiāli tehniskās bāzes uzraudzība.
- Projekta izpildē iesaistīto govju kopšana, ēdināšana, slaukšana, uzraudzība, pastaigu, ganišanas režīma nodrošināšana, organizēšana.

Darbu rezultātā tiek sagatavots otrs dzīvnieks ierīces testēšanai drošos veterināros apstākļos – saskaņā ar plānu, spurekļa sienā ieoperēta un pilnībā integrēta permanentā fistula, veikta pēcoperācijas aprūpe, dzīvnieka veselības stāvokļa novērošana, t.s.k. laboratoriskās analīzes

4.2.2. Eksperimentālās daļas plāns LLU

Darba grupas sanāksmē 2019. g. maijā LLU prezentēja darba plāno, ka notiks mērījumi, kad tiks izmantoti dzīvnieki. Mērījumiem jānotiek četros etapos (skat. 4.1. attēlu).

Tiek diskutēti riski, kas ir saistīti ar fistulas ievietošanu un dzīvnieka atkopšanu. Notika diskusija par mākslīgu vidi: tiek piedāvāts laboratorijas pētījumos sākumā izmantot šķidrums bez bakteriālas vides. Notika arī diskusija par to, ka salīdzināt mērījumus no dažādiem bolusiem un par to, ka iegūt kontroles rezultātus.



4.2.1.attēls. Mērījumu veikšanas etapi

Tiek piedāvāts eksperimentu sagatavošanas darba plāns:

1. Bola testēšana laboratorijas apstākļos notiks EDI laboratorijā.
2. Fistulu piegāde no pasūtīšanas laika 1 – 3 mēneši (2019. gada jūnijs-augusts)
3. Eksperimenta metodikas saskaņošana ar Eksperimenta dzīvnieku aizsardzības un ētikas komisiju LLU.
3. Sagatavošanās (medikamenti materiāli) un fistulu ieoperēšana govī 1 – 2 nedēļa (2019. gada oktobris)

4. Kuņģa sadzīšanas laiks (atveseļošanās) 4 nedēļas
5. Bolu testēšana fistulētās govīs spureklī 7 dienas (līdz 10 dienas) sākot no 2020. gada

Bolu testēšana laboratorijas apstākļos

Projektā paredzēts, ka sākotnēji jaunizstrādātie bolusi tiks testēti laboratorijas apstākļos maksimālā vidē, kas pietuvināta spurekļa satura videi.

Bolu testē no dzīvnieka izolētā spurekļa saturā, kuru laboratorijas apstākļos maina T (termostats) un pH (skābes vai sārma pievienošana), skat. 4.1.tabulu.

4.1.tabula. Temperatūras un pH līmeņu mērīšanas metodika.

Bolusa testa Nr.	Vides parametri		
	T	pH	Daļiņas
1. Tests	38 - 39	5.8 - 7	vidēji daudz
2. Tests	38 – 39	< 5 (līdz 3)	vidēji daudz
3. Tests	38 - 39	>7 (līdz 10)	vidēji daudz
4. Tests	< 38 (līdz 35)	5.8 - 7	vidēji daudz
5. Tests	< 38 (līdz 35)	< 5 (līdz 3)	vidēji daudz
6. Tests	< 38 (līdz 35)	>7 (līdz 10)	vidēji daudz
7. Tests	> 39 (līdz 45)	5.8 - 7	vidēji daudz
8. Tests	> 39 (līdz 45)	< 5 (līdz 3)	vidēji daudz
9. Tests	> 39 (līdz 45)	>7 (līdz 10)	vidēji daudz

4.2.3. Projekta ietvaros jaunizstrādātā spurekļa bola prototipa pārbaudes fistulētā govī metodika

1. Pasākumu kopums pirms bola testēšanas:

- a) Projekta ietvaros LLU Veterinārmedicīnas fakultātē, ievērojot PVD noteiktās procedūras, tika sagatavotas divas govīs ar ieoperētu spurekļa fistulu.
- b) Pirms projektā izstrādātā bola prototipa testēšanas tiks nodrošināts, ka govīs pēc ķirurģiskām manipulācijām ir atkopušās un implantētās fistulas ir inkorporējušas vēdera sienā.
- c) Regulāri tiek uzraudzīts fistulēto govju veselības stāvoklis un kontrolētas fistulas malas.

- d) Fitulētajām govīm spureklī tiks ievadīts komerciāli ražots, tirgū pieejams spurekļa satura pH un T mērīšanas bols un aktivizēta datu reģistrēšanas sistēma, kas kalpos kā kontroles bols.
- e) Papildus tiks veikta kontroles bola pH un temperatūras mērījumu kontrole ar kalibrētu rokas pH metru.
- f) Vienu dienu pirms projekta ietvaros izstrādātā bola ievietošanas tiks veikta pilna dzīvnieka klīniskā izmeklēšana, asins hematoloģiskā un seruma bioķīmiskā izmeklēšana.

2. Projekta ietvaros izstrādātā bola prototipa ievietošana fistulētas govs spurekļa retikuloruminālajā apvidū. :

- a) Sadarbībā ar RTU un EDI bola izstrādātājiem tiks aktivizēta datu reģistrēšanas un pārraides sistēma.
- b) Sadarbībā ar RTU un EDI bola izstrādātājiem tiks aktivizēts bols un izmantojot bolu devēju *per os* ievadīts fitulētas govs spureklī.
- c) Tiks veikta sistēmas darbības kontrole.

3. Pasākumu kopums pēc projektā izstrādātā bola ievades fistulētas govs spureklī:

- a) Regulāri 2x dienā tiks veikta dzīvnieku klīniskā izmeklēšana. Klīniskās izmeklēšanas veidlapu skat. Pielikums nr.1.
- b) Piektajā un četrpadsmitajā dienā pēc bola ievades tiks veikta asins hematoloģiskā un seruma bioķīmiskās analīzes. Tās tiks atkārtotas arī testa noslēgumā.
- c) Trešajā dienā pēc bola ievades, tiks veikts rentgena uzņēmums bola lokalizācijas kontrolei. Tas tiks atkārtots testa noslēgumā.
- d) Paralēli bola darbībai tiks veikti spurekļa satura pH un temperatūras mērījumi ar kalibrētu rokas pH metru. Datu reģistrācijas veidlapu skat. Pielikums nr. 2
- e) Spurekļa satura kontroles pH un temperatūras mērījumu veikšanas biežums:
 - i. Uzreiz pēc bola ievadīšanas.
 - ii. Turpmāk 4x 24 stundās.

Pēc konkrētā bola prototipa testēšanas beigām projekta ietvaros izstrādātais bols tiks izņemts no spurekļa. Tiks kontrolēts izmatotās govs veselības stāvoklis. Atkārtota bola prototipa testēšana tiks veikta, ievērojot 14 dienu pārtraukumu, pēc iepriekšējā bola izņemšanas no spurekļa.

Pielikums nr. 1.

LLU VMF Klīniskā Institūta
Izmēģinājumu dzīvnieku klīniskās izmeklēšanas shēma
(Ļ. Jemeljanovs 2007)

Datums:

Dzīvnieks: liellops (*Bos primigenius taurus*),

Numurs:
 Šķirne:
 Krāsa:
 Dzimums: sieviešu
 Svars:

Izmeklējums	Atbilstošs	Novirze
Vispārējā izmeklēšana		
Habitus		
Apmatojums, āda		
Limfmezgli		
Redzamās gļotādas		
Ķermeņa temperatūra		
Speciālā izmeklēšana		
Sirds, asinsvadu sistēma		
Pulsa frekvence, ritms		
Elpošanas sistēma		
Elpošanas frekvence, tips, ritms		
Gremošanas sistēma		
Uroģenitālā sistēma		
Dzimumorgānu sistēma		
Nervu sistēma		
Asins, asinsrades sistēma		
Operācijas brūces kontrole		
Iekaisuma reakcija		
Tūska		
Izdalījumi		
Diegi		

Veterinārārste: A. Vanaga _____

Atbildīgā veterinārārste: A. Mālniece _____

Procedūru uzraudzība: L. Kovaļčuka _____

Pielikums nr.2.

Spurekļa satura pH un temperatūras mērījumu reģistrācijas veidlapa

Dzīvnieks: liellops (*Bos primigenius taurus*),

Numurs:

Šķirne:

Krāsa:

Dzimums: sieviešu

Svars:

Npk	Datums	Mērījuma laiks	Projekta bols		Kontroles bols		Kontroles pH metrs	
			T	pH	T	pH	T	pH
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								

4.2.4. Operācijas apraksts

Izmēģinājumi ar bolus prototipa ievietošanu spureklī caur fistulu notika:

2021. gada aprīlis – 1. reize īslaicīgi

2021. jūnijs – īslaicīgi

2022. februāris 18.02-22.02. bola hermētiskuma tests – Īss tests

2022.g. 27. maijā pH un temperatūras mērījumu veikšanai. Mērījumi turpinājās – mēnesi garšs tests.

Permanentās spurekļa fistulas ievietošana.

Projekta ietvaros bolusa pētniecībai *in vivo* apstākļos tika sagatavotas divas govīs. Govīm tika ievietota spurekļa permatētā fistula izmantojot vienpakāpes metodi. Govīm tika liegta barība 12 stundas un ūdens 6 stundas pirms operācijas, lai samazinātu spurekļa pildījuma pakāpi, kas nepieciešams sekmīgai operācijai. Pirms operācijas govīs tika klīniski izmeklētas un konstatēts, ka plānotajā operācijas dienā dzīvnieks ir klīniski vesels. No astes vēnas paņemts venozo asiņu paraugs hematoloģiskai un bioķīmiskai izmeklēšanai, kurā abiem dzīvniekiem būtiskas patoloģiskas novirzes no normas netika konstatētas.

Operācijas gaita:

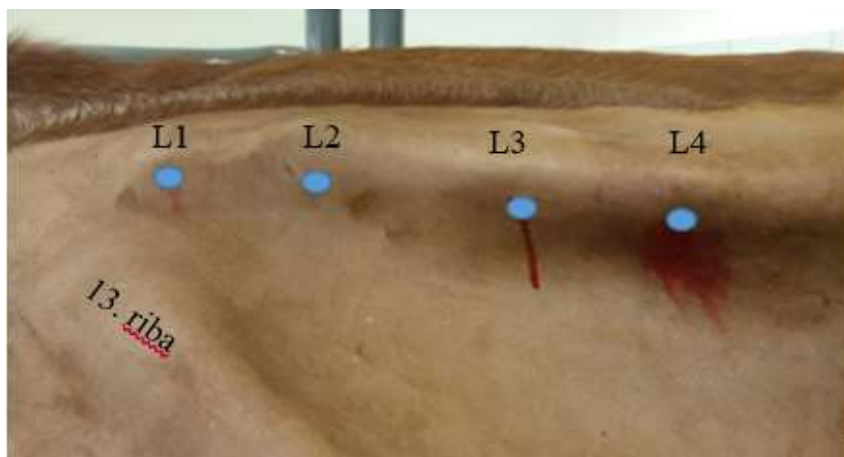
Dzīvniekam noskūts operācijas laukums no 12.ribas līdz gūžas pauguram un ventrāli, iekļaujot vēdera sienu (4.2.1.1 A attēls).



4.2.4.1. Attēls. Operācijas laukuma sagatavošana

A – noskūtais operācijas laukums ; B – operācijas laukuma mazgāšana ar povidonjoda šķīdumu; C – operācijas laukuma apstrāde ar 70% etanola šķīdumu.

Dzīvnieki tika fiksēti stellēs. Dzīvnieka sedācijai izmantots 2% ksilazīns 0,02 mg/kg, kas ievadīts intramuskulāri. Operācijas laukums apstrādāts ar 70% etanola šķīdumu un pielietota lokālā anestēzija. Lokālai anestēzijai izvēlēts pielietot distālo paravertebrālo bloku, izmantojot 2% lidokaīna hidrohlorīda šķīdumu. Injekcijas veiktas ventrāli no L1, L2, L3 un L4 skriemeļu šķērsizaugumiem, izmantojot 20 G izmēra adatu un attiecīgi injicējot 0,5 mg/kg 2% lidokaīna hidrohlorīda ventrāli no katra jostas skriemeļa šķērsizauguma (4.2.4.2. attēls). Operācijas laukums tika nomazgāts ar povidonjoda šķīdumu (4.2.4.1. B attēls), un tad apstrādāts ar 70% etanola šķīdumu (4.2.4.1. C attēls). Govīm injicēja ketoprofēnu 3 mg/kg intramuskulāri un uzsākām antimikrobiālo terapiju, izmantojot amoksicilīnu 15 mg/kg intramuskulāri. 15 minūtes pēc paravertebrālā bloka veikšanas ar 18 G izmēra adatu pārbaudīja lokālās anestēzijas iedarbību un pilnīgas anestēzijas gadījumā uzsākām ķirurģisko manipulāciju.



4.2.4.2. Attēls. Distālā paravertebrālā reģionālā nervu bloka injekcijas vietas

Izmantojot trafaretu, kura diametrs atbilst fistulas diametram (8 cm), un 18G adatu, iezīmējām apļveida kontūru uz ādas, pa kuru tika veikts grieziens (4.2.4.3. A attēls). Tālāk ar skalpeli veikts grieziens ādā precīzi pa apļveida kontūras līniju un ar grieznēm un neaso skalpeļa asmens pusi atpreparēts zemādas audi un atdalīta āda (4.2.4.3. B, C un D attēls). Atpreparēti zemādas audi neasā ceļā, izmantojot saspiednes (4.2.4.3. E attēls). Tad veikts grieziens vēdera ārējā un iekšējā slīpajā muskulī un pārējie muskuļaudi atdalīti neasā ceļā ar saspiednēm paralēli muskuļšķiedrām (4.2.4.3. F attēls). Kad vēdera muskuļi atpreparēti un vizualizēta vēderplēve,

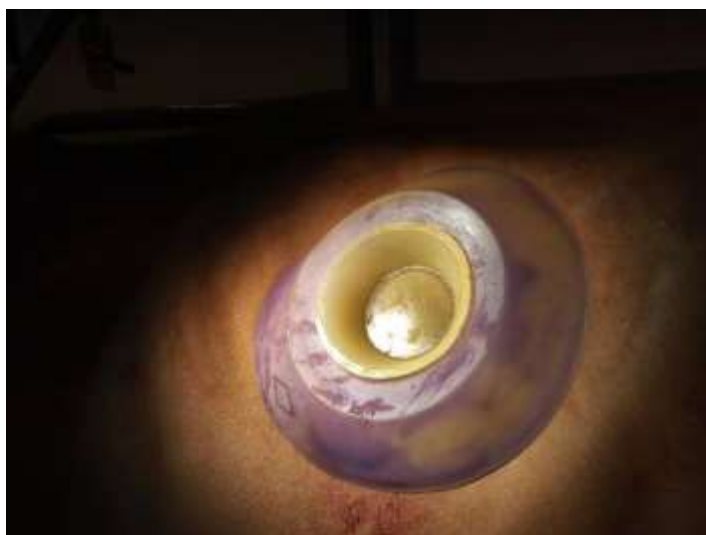
tad tā tika satverta ar pinceti un veikts grieziens, izmantojot skalpeli. Tālāk vizualizēts spureklis un satverta spurekļa siena, izmantojot sterilus marles tamponus, un veikta spurekļa krokas novietošana ārpus brūces (4.2.4.3. G attēls). Tad ķirurgs spurekļa sienu piefiksēja pie vēdera sienas un muskuļaudiem ar pagaidu pārtrauktām mezglu šuvēm, izmantojot neuzsūcošo monofilamento USP 1 izmēra diegu. Spurekļa sienu pie vēdera sienas un muskuļiem fiksējām 4 vietās - attiecīgi uz plkst. 12, 3, 6 un 9. (4.2.4.3. 1 H un I attēls). Pēc tam, veikts neliels grieziens spurekļa sienā, atstājot vismaz 1 cm dorsāli un ventrāli no griezuma līnijas. Spurekļa sienu savienojām ar ādu izmantojot vienkāršo nepārtraukto šuvi un neuzsūcošo monofilamento USP 2 izmēra diegu. Sākumā ar ādu savienojām spurekļa sienas ventrālo daļu (4.2.4.3. J attēls) un tad virzījāmies dorsāli (4.2.4.3. K attēls). Pēc tam savienojām otru spurekļa brūces malu, sākot no ventrālās daļas un virzoties dorsāli, noslēdzot to pilnībā (4.2.4.3. L attēls). Brūci notīrījām ar steriliem marles tamponiem un 0,9% NaCl šķīdumu.

Sākotnējo fistulu, kuras diametrs bija 8 cm, ievietojām siltā ūdenī, lai padarītu to elastīgāku un vieglāk ievietojamu jaunizveidotajā atverē. Fistulas iekšējo malu izvēršām uz āru. Brīdī, kad nenotiek spurekļa kontrakcijas, ievietojām fistulu spureklī un izvērsto fistulas daļu iespiedām uz iekšu (4.2.4.4 attēls). Pārliecinājāmies, ka fistulas malas cieši pieguļ spurekļa sienai un starp fistulas malām nav palicis spurekļa saturs un fistulu noslēdzām ar korķi.



4.2.4.3. att. Operācijas tehnika

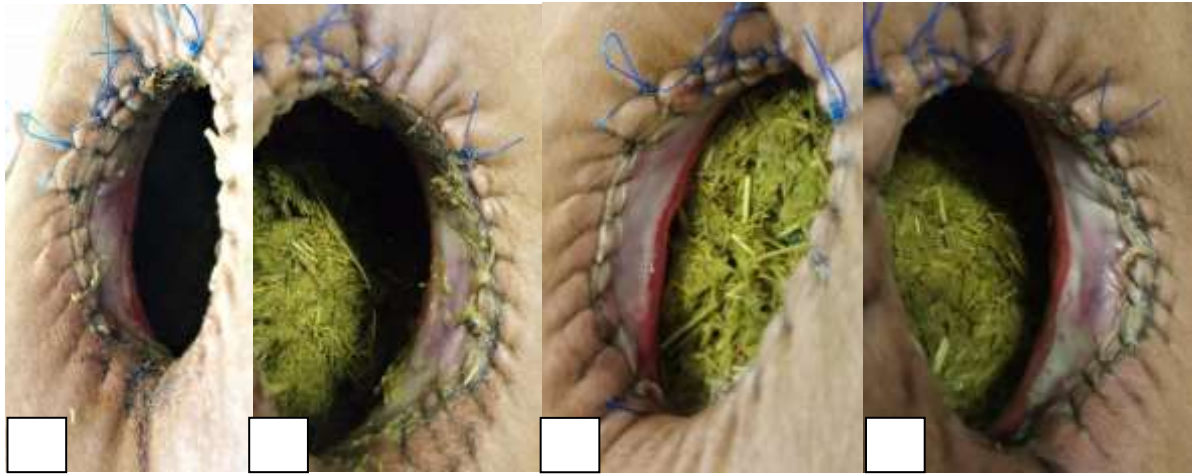
A, B – skarificēta apļveida kontūra, pa kuru tiks veikts cirkulārs grieziens ādā; C, D – zemādas audu atdalīšana no ādas; D – zemādas un muskuļaudu atdalīšana; F – griezuma līnijas pagarināšana; G, H – spurekļa ekstrakcija ārpus brūces un tā fiksācija brūces dorsālajā daļā pie vēdera sienas un muskuļaudiem, izmantojot pārtraukto mezglu šuvi; H - spurekļa fiksācija brūces ventrālajā daļā pie vēdera sienas un muskuļaudiem, izmantojot pārtraukto mezglu šuvi; I - spurekļa fiksācija brūces laterālajās malās pie vēdera sienas un muskuļaudiem, izmantojot pārtraukto mezglu šuvi; J, K, L – spurekļa fiksācija pie ādas sākot no ventrālās brūces malas, izmantojot vienkāršo nepārtraukto šuvi.



4.2.4.4 att. Ievietota spurekļa fistula

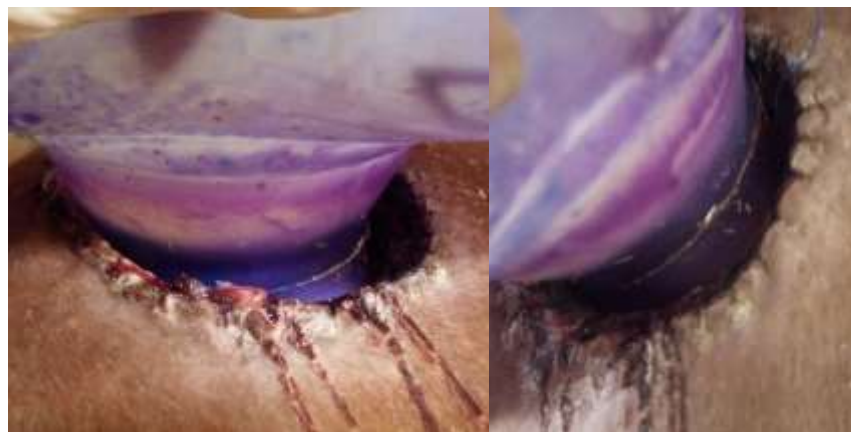
Pēcoperācijas periodā pirmās 7 dienas dzīvnieki tika klīniski izmeklēti 2 reizes dienā. Nesteroīdais pretiekaisuma līdzeklis ketoprofēns 3mg/kg dzīvniekam atkārtoti ievadīts intramuskulāri 24 stundas pēc operācijas. Dzīvniekiem turpināta antibiotiku terapija ar amoksicilīnu 15 mg/kg intramuskulāri 1 reizi 2 dienās. Antibiotiku terapijas kurss ilga 10 -14 dienas. Brūce tika tīrīta ar marles tamponiem un 0,9% NaCl šķīdumu 1x dienā. 2 dienas pēc operācijas dzīvniekiem atkārtoti veikta asiņu hematoloģiskā izmeklēšana, kurās visi rādītāji bija normas robežās normas 5. dienā pēc operācijas dzīvnieks fiksēts stellēs un fistula izņemta, un veikta brūces apskate (4.2.4.5. A un B attēls). Tika veikta brūces apkope (4.2.4.5 C un D attēls) un palpējot pārbaudīta spurekļa adhēzija pie vēdera sienas. Fistula tika izmērcēta povidonjoda un silta ūdens šķīdumā, pēc tam nosusināta ar papīra salvetēm un ievietota atpakaļ spureklī.

Nedēļu pēc permanentas fistulas ievietošanas brūces apskate, tīrīšana un dzīvnieka klīniskā izmeklēšana tika veikta 1 reizi dienā. Aptuveni 10.dienā abiem dzīvniekiem novērota audu nekroze ap fistulas malām (4.2.4.6. attēls). Šis fakts sakrīt ar literatūrā aprakstītajām pārmaiņām dzīšanas procesā pēc spurekļa fistulācijas. Tūskas samazināšanās rezultātā izveidotās brūces diametrs palielinājās, kā rezultātā spurekļa fistula kļuva mazāk pieguļoša dzīvnieka ķermeņa sienai



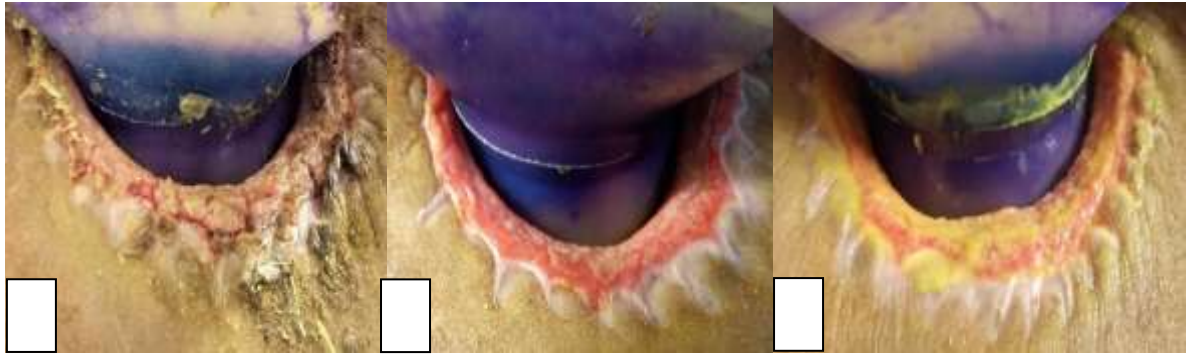
4.2.4.5 att. Brūce 5 dienas pēc fistulas ievietošanas

A, B – brūces malas pēc spurekļa fistulas izņemšanas; C, D – brūces malas pēc brūces tīrīšanas



4.2.4.6. att. Nekrotiskie audi 10.dienā pēc operācijas

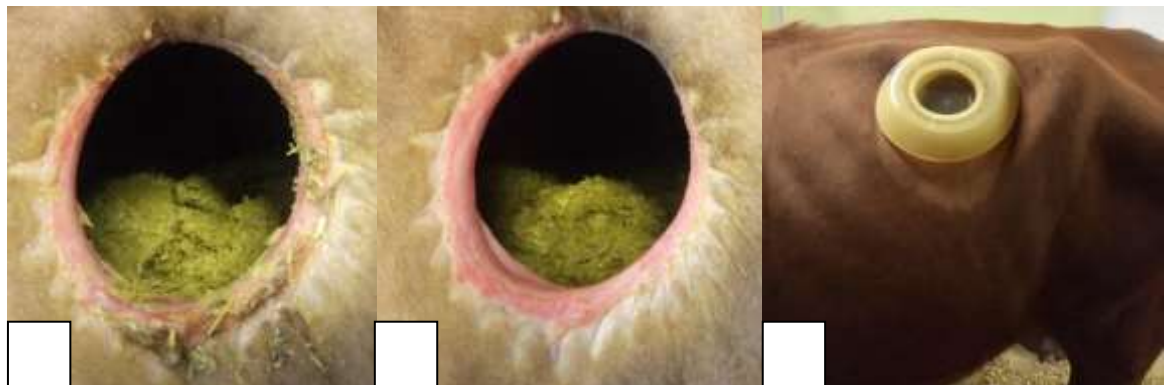
12.dienā pēc operācijas tika atkārtoti izņemta fistula un pārbaudīta spurekļa adhēzija pie vēdera sienas. Brūces ventrolaterālajā posmā, kur tā bija notikusi, tika izņemta daļa no šuvēm. Brūce tika notīrīta ar 0,9% NaCl šķīdumu un marles tamponiem. Nekrotiskie audi, kam nebija novērojama adhēzija pie dzīvnieka audiem, tika atdalīti, izmantojot pinceti, grieznes un skalpeli. Nekrotiskie audi, kam novēroja ciešu adhēziju, tika atstāti. Pēc brūces apkopes uz tās tika aplicēta “Vetramil” ziede. Nākošajās dienās tika izņemti arī pārējais šujamais materiāls un veikta regulāra brūces apkope 4.2.4.7 . Dzīšanas procesa laikā tika novēroti purulenti izdalījumi, bet antibiotikas saturošas ziedes topikāla aplicēšana uz brūces deva labu rezultātu - purulento izdalījumu daudzums mazinājās.



4.2.4.7 att. Brūce 19. dienā pēc operācijas

A – brūce nākamajā dienā pēc “Tenazym” ziedes topikālas aplicēšanas; B – brūce pēc tīrīšanas; C – topikāli aplicēta “Tenazym” ziede uz brūces.

26 - 30. Dienas pēc operācijas dzīvnieks fiksēts stellēs, veikta brūces apkope (4.2.4.8 A un B attēls) un ievietota lielāka diametra (10 cm) fistula (4.2.4.8. C attēls). Dzīvniekam injicēts ketoprofēns 3 mg/kg intramuskulāri, lai mazinātu sāpes, ko rada jaunās fistulas spiediens un iestiepums uz apkārtējiem audiem. Turpmāk regulāri visa projekta laikā tika veikta fistulas rētaudu apskate un novērtēšana, nepieciešamības gadījumā aplicēts dezinficējošs šķīdums vai vasaras periodā repelenti.



4.2.4.8. att. Brūce 26. dienā pēc operācijas un lielāka diametra fistulas ievietošana

A - brūce pēc fistulas izņemšanas; B – brūce pēc tīrīšanas; C – lielāka diametra fistula.

Asins paraugu rezultāti:

Pilna hematoloģiskā un bioķīmiskās analīzes tika veiktas 2 līdz 3 dienas pēc dzīvnieku operācijām, hematoloģiskā analīzes tika veiktas atkārtoti 14 dienas pēc operācijas.

Turpmākā pētījuma gaitā pilna asins seruma bioķīmiskā un asiņu hematoloģiskā analīze tika veikta dienā pirms bolusa prototipa ilgtermiņa testēšanas un šīs testēšanas beigās 2022. gada Jūnijā.

Visos gadījumos noteiktie asins seruma un hematoloģiskie rādītāji bija normas intervālā.

4.2.5. Paveiktie darbi SIA "Ogres piens" fermā SARA projekta ietvaros

Lai precīzāk analizētu un interpretētu pH un temperatūras mērījumu datus, kas ļautu savlaicīgi diagnosticēt saslimšanu ar SARA slimību, LLU, Ogres piens un Zilūži pētnieki un vetārsti izmēģināja inovatīvo metodiku, kurai pamatojas uz spurekļa sienas biezuma izmaiņu korelāciju ar iespējamību saslimt ar subakuto acidozi.

Šajā sakarā tika veikta dzīvnieku piena datu kontrole 19.04.2022. Pēc datu saņemšanas kopā ar LLU speciālistiem tika analizēti dažāda piena datu rezultātu dzīvniekus. Piena kontrole tiek veikta Piensaimnieku laboratorijā pēc tam iegūtos datus importēja ganāmpulka menedžmentā sistēmā DeLaval Depro. Datus kurus analizējam skat. Pielikumā Nr.4.

Pēc dzīvnieku atlases, kuri piedalīsies projektā tika veikti spurekļa sienas biezuma mērījumi 2 piegājienos (skat. Pielikums Nr.5), (02.05.2022. un 09.06.2022.). Lai veiktu eksperimentus, tika atlasītas 22 govs vecumā no 22 līdz 49 mēnešiem.

Paralēli tam tika veikti dzīvnieku faktisko sausnas apēdamību, lai sekotu līdzi kā mainās spurekļa sienas biezums mainoties arī barības devām. Datus salīdzinājam arī ar menedžmenta sistēmu Allflex Livestock Intelligence, analizējam dzīvnieku spurekļa darbības, cik minūtes dzīvnieks dienā atgrems, visu šo informāciju devām LLU speciālistiem un balstoties uz šiem dotajiem datiem tika veikti pieņēmumi.

Katru mēnesi arī tika veikta piena kontrole un sekots līdzi dzīvnieku sausnas apēdamības datiem un atgremsošanos minūtēm, lai salīdzinātu arī datus kā reaģē un izmainās dzīvnieka piena rādītāji un veselības stāvoklis.

Projekta 8. posmā tika izvēlēts dzīvnieks, kuram bija plānots ievietot introruminālo bolu un veikt diagnosticēšanas sistēmas izmēģinājumu.

Diagnosticēšanas istēmas izmēģinājums notika 26.07.2022. Bolu ar pH un temperatūras sensoriem ievietoja izvēlētās govs Nr. LV032885014245 spureklī.

Tālāk datus ko dod bols ievāca un analizē EDI, RTU specialisti kopā ar LLU. Mērījumu datu pārraide un reģistrēšana turpinājās arī pēc projekta pabeigšanas. 6. augustā EDI un Ogres piens speciālisti pārbaudīja uz vietas OP fermā sistēmas darbību un veica uzlabojumus datu pārraides interfeisā.



4.2.5.1. Att. Ogres Piens ferma, kurā notiek projekta eksperimentālie darbi



4.2.5.2. Att. Eksperimentāla bola ievadīšana govja spureklī



4.2.5.3. Att. Diagnostiskās sistēmas izmēģinājumi Ogres Piens fermā

4.2.6. Paveiktie darbi Z/S “Zilūži” fermā SARA projekta ietvaros

Mūsu uzdevums bija ievākt regulārus datus no z/s Zilūži govju fermas, saistībā ar subakūtu spurekļa acidozi (SARA, no angļu: subacute rumen acidosis).

Iepriekš ar kolēģiem no LLU un Ogres piena izrunājām novērtējamās lietas fermā, saistībā ar SARA. Mērķis bija saprast kāda ir acidozes situācija ganāmpulkā, ar regulāriem mērījumiem, novērojumiem un datiem, lai pēc tam varētu salīdzināt šķietamo rezultātu ar jau precīzu spurekļa pH noteikšanu, izmantojot jaunizveidoto spurekļa bolu.

No aprīļa līdz jūlija vidum katru darba dienu tika noteikta rupjās lopbarības sausna un tā tika koriģēta barības devā, lai pārliecinātos, ka tiek izēdināta aprēķinātā barība.

Tāpat, tika novērtēta un mērīta vidējā grupas sausnas apēdamība.

Katru dienu divās augstražīgo govju grupās tika novērtēts atgreimošanas kustību biežums desmit govīm nejaušas izvēles kārtā (skat. Tab.4.2.6.1.). Tāpat, pēc nejaušības principa, grupā tika izvērtēta mēslu konsistence.

Katru darba dienu tika uzskaitīts katras augstražīgo govju grupas govju piena izslaukums.

Ikmēneša pārraudzības rezultāti tika fiksēti kopējā izslaukumu tabulā.

Divas reizes, maijā un jūnijā, uz vietas fermā veicām spurekļa sienas biezuma mērījumus, kas ir viens no SARA rādītājiem. Mērījumi tika veikti augstražīgo govju grupas govīm, kurām pēc pārraudzības rezultātiem bija aizdomas par SARA, un govīm, kas pēc

pārraudzības rezultātiem bija veselīgas. Otrais mērījums tika veikts tieši tām pašām govīm, lai varētu salīdzināt datus (skat. Tab.4.2.6.2.).

Visi iegūtie dati liecināja, par ļoti zemu SARA incidenci ganāmpulkā aprīlī un maijā, bet jūnijā arvien vairāk govīm tika novērotas SARA pazīmes, kas līdz jūnija vidum nostabilizējās.

No iegūtajiem datiem secinājumus izdarīja pētnieki, bet mēs secinājām, ka bez intensīvas ikdienas ganāmpulka uzraudzības, kas aizņēma laukietilpīgu darbu diviem cilvēkiem, nav iespējams laikus pamanīt SARA pazīmes ganāmpulkā, lai tās laicīgi novērstu, neradot dzīvniekiem veselības traucējumus. Secinājums - šāda ierīce, kas spēj laikus noteikt pH izmaiņas spureklī būtu noderīga jebkurā fermā.

Tabulas ar gremošanas reižu uzskaiti un mēslu konsistencēm pa mēnešiem; izslaukuma un piena pārraudzības uzskaites tabulas; spurekļa sienas biezuma mērījumi ir pieejamas elektroniskā formātā. Liela apjoma dēļ šajā ziņojumā tie ievietotas tikai divas tabulas.

4.2.6.1. Tabula. Atgremošanas kustību biežums un mēslu konsistence desmit govīm nejaušas izvēles kārtā.

Atgremošanas kustību skaits augsttraīgo govju grupās Nr.1 un Nr.3, un vidējā fekāliju konsistence, Jūlijs, 25 Zilūji

Datums	Grupa	Gremošanas reižu skaits, gov 1	Gremošanas reižu skaits, gov 2	Gremošanas reižu skaits, gov 3	Gremošanas reižu skaits, gov 4	Gremošanas reižu skaits, gov 5	Gremošanas reižu skaits, gov 6	Gremošanas reižu skaits, 7	Gremošanas reižu skaits, gov 8	Gremošanas reižu skaits, gov 9	Gremošanas reižu skaits, gov 10	Vidējā fekāliju konsistence 5 bajļu sistēmā
1	1.	61	58	51	57	57	51	56	62	74	61	1/5
	2 brīvdiena											
	3 brīvdiena											
4	1.	60	64	59	64	56	54	55	62	54	54	3/5
	3.	55	61	60	59	64	52	63	63	62	59	3/5
5	1.	55	64	40	61	54	54	49	59	61	63	3,5/5
	3.	68	65	56	57	57	52	53	52	69	65	3/5
6	1.	53	55	54	59	53	53	57	63	64	60	3,5/5
	3.	55	53	64	50	65	52	64	64	54	63	2,5/5
7	1.	65	55	57	62	64	52	57	60	60	54	3/5
	3.	64	61	64	50	42	65	65	50	53	64	3/5
8	1.	63	61	57	61	74	61	50	54	73	62	3,5/5
	3.	53	52	54	53	64	63	64	50	55	51	3/5
	9 brīvdiena											
	10 brīvdiena											
11	1.	55	53	59	60	64	56	58	65	65	53	3/5
	3.	64	40	55	53	62	58	60	65	64	52	2,5/5
12	1.	64	56	65	54	60	52	50	43	56	57	2,5/5
	3.	64	52	57	71	58	55	51	55	60	63	3/5



4.2.6.2. Tabula. Spurekļa sienas biezuma mērījumu rezultāti

1.GRUPA				3.GRUPA				4.GRUPA			
NPK.	ID Numurs	Spurekļa sienas biezums cm.	Spurekļa sienas biezums cm.	NPK.	ID Numurs	Spurekļa sienas biezums cm.	Spurekļa sienas biezums cm.	NPK.	ID Numurs	Spurekļa sienas biezums cm.	Spurekļa sienas biezums cm.
1	1093	0.38	0.31	1	1172			1	1100	0.55	0.4
2	1207	0.51	0.52	2	1223			2	1261	0.58	0.42
3	1250	0.35	0.38	3	1224			3	1409	0.47	0.49
4	1723	0.25	0.33	4	1228	0.46	0.49	4	1412	0.31	0.5
5	1726	0.25	0.3	5	1235	0.47	0.47	5	1470	0.35	0.34
6	1738	0.41	0.37	6	1271	0.28	0.29	6	1499	0.29	0.33
7	1807	0.14	0.18	7	1385			7	1630	0.48	0.47
8	1824			8	1407			8	1642	0.48	0.39
9	1829	0.35	0.47	9	1689			9	1643	0.42	0.66
10	1835	0.41	0.44	10	1694			10	1893	0.45	0.43
11	1841	0.26	0.32	11	1700			11	6788	0.4	0.4
12	1850	0.37	0.41	12	1706			12	878	0.34	0.32
13	1853			13	1709			13	452	0.64	0.72
14	1858	0.35	0.38	14	1800	0.14	0.23	14	1784	0.22	0.26
15	1867	0.37	0.36	15	1816			15	1552	0.45	0.52
16	1885	0.13	0.22	16	1946			16	1370	0.4	0.5
17	1892	0.32	0.63	17	7021			17	1062	0.31	0.27
18	1895	0.38	0.45	18	9133	0.27	0.25	18	1802	0.2	0.29
19	1920	0.33	0.33	19	873			19	1200	0.52	0.6
20	1953	0.25	0.29	20	877			20	0976	0.43	0.39
21	710							21	1481	0.4	0.49
22	7011	0.26	0.22								

4.2.7. SmaXtec un SARA bolusa mērījumu analīze

Analīzes mērķis ir noskaidrot SARA bolusa mērījumu atbilstību SmaXtec bolusam. SmaXtec un SARA bolusi bija ievietoti govīs VIDAS spureklī un veica vienlaikus mērījumus no 31.05.2022. līdz 27.06.2022., kad SARA boluss tika izņemts. Jāatzīmē, ka mērījumu veikšanas bolusos atšķiras. SmaXtec boluss laika atskaiti sāk ar 0 un mēra ik pēc 10 minūtēm. SARA boluss atskaiti sāk ar 4 un mēra ik pēc 10 minūtēm. Pavisam tiek analizēti 732 mērījumi, kas atbilst periodam no 11.-16. jūnijam.

Atbilstības noskaidrošanai vispirms nosakām korelācijas koeficientus pH un temperatūras mērījumiem: pH korelācijas koeficients ir 0,49 un temperatūras korelācijas koeficients arī ir

0,49. Korelācijas koeficienti ir pozitīvi. Tas nozīmē, ka abu bolusu mērījumu izmaiņas sakrīt. Korelācijas koeficienta vērtība arī ir liela. Vienādie korelācijas koeficienti pH un temperatūras mērījumiem, liek domāt, ka nobīdei mērījumu laikos ir lielāka nozīme nekā to varētu domāt, t.i., pie mērījumu laiku sakritības varētu būt arī lielāka korelācijas koeficientu vērtība.

Lai pārbaudītu mērījumu vērtību atbilstību normālajam sadalījumam tika noteiktas abu bolusu kurtosis un skew vērtības pH un temperatūras mērījumiem, kas attēlots 1.tabulā. Normālais sadalījums ir spēkā, ja kurtosis vērtība ir 3 un skew vērtība ir 0.

1.Tabula. Abu bolusu kurtosis un skew vērtības pH un temperatūras mērījumiem

BOLUSS	Kurtosis pH	Skew pH	Kurtosis temperatūrai	Skew temperatūrai
SARA	-0,478	0,059	8,46	-2,59
SmaXtec	-0,011	-0,082	11,43	-3,01

5.Secinājumi par projekta sasniegtiem rezultātiem

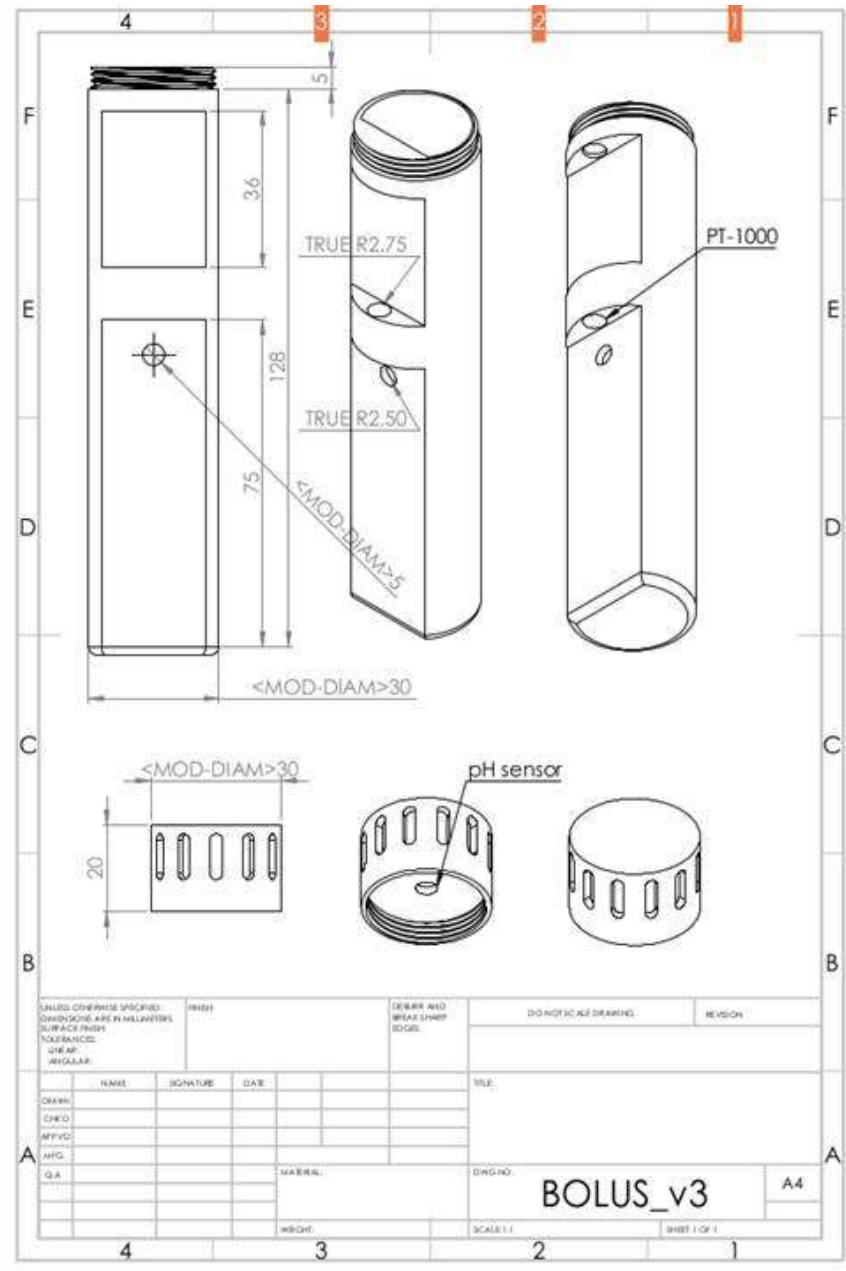
- Projektā plānotais darba apjoms ir izpildīts atbilstoši plānam un pilnā apjomā.
- Projekta laikā tiek sagatavoti eksperimentiem divi dzīvnieki LLU fermā, un pa vienam dzīvniekam Ogres Piens un Zilūži fermās, un tiek sagatavots eksperimentu plāns.
- Tika veikta spurekļa pH metrija abiem sagatavotajiem dzīvniekiem LLU fermā, izmantojot tirgū pieejamo Smatex bolu, un vienam dzīvniekam izmantojot jaunizstrādāto ierīci - bolu.
- Iegūtā datu kopa tika atšifrēta un mērījumi salīdzināti ar no Smatex bolusa iegūtajiem datiem. Datu salīdzinājums atklāja labu pozitīvu datu korelāciju pH un temperatūras mērījumiem.
- Diagnostiskās sistēmas izmēģināšanā ražošanas apstākļos tika veikta Ogres Piens fermā.
- Pēc projekta oficiālas noslēgšanas augustā tiek turpināti govs spurekļa parametru mērījumi ar diagnostiskās sistēmas prototipu. Dati tiks izmantoti, lai pabeigtu Gala ziņojumu par projekta rezultātiem.
- Tiek gatavota zinātniskā publikācija RTUCON konferencei, kas notiks 2022.g. oktobrī Rīgā.
- Plānojot projekta budžetu un darba plānu, tiek veikti aprēķini, lai nodrošinātu 6 bola prototipu izgatavošanu. Projekta gaitā trijos etapos tika sagatavoti 11 bola korpusi, 14 mikro kontrolieru plates un iepirkti 6 pH sensori, ka arī tika izpildīti citi prototipa izstrādāšanas plānotie darbi. Diemžēl Covid-19 epidēmijas rezultātā notika materiālu piegādes ķēžu dramatiskā kavēšana un elektronisko komponentu cenu neparedzētais

pieaugums, kas aizkavēja darbus un samazināja iespējas iegādāties papildus materiālus un komponentes. Lai nopirktu nepieciešamus materiālus, EDI palielināja materiālu budžetu uz citu izmaksu ietaupīšanas rēķina.

- Lai gan projekta gaitā tika izstrādāts lielākais bolusa prototipu skaits, ne ka bija plānots, visas prototipa ierīces tika izlietotas izmēģinājumos LLU un OP fermās, līdz ar to izmēģinājumam Zilūži fermā pietrūka bolusa ierīces.
- Kopumā veiktie diagnosticēšanas sistēmas izmēģinājumi pārsniedz plānoto darba un materiālo resursu apjomu, un eksperimentos iegūtie dati apstiprina izstrādāta diagnosticēšanas sistēmas prototipa spēju veikt precīzus mērījumus, apstiprina zinātnisku un inženiertehnisko inovatīvo pieeju SARA diagnostikas problēmas risinājumam.
- Projekta Gala ziņojuma informācija būs pieejama citiem izstrādātājiem. Būtu vēlams turpināt izstrādāta prototipa pilnveidošanu un atrast finansējumu, lai šo prototipu attīstītu līdz TRL 8-9 līmenim, lai būtu iespējams izveidot diagnosticēšanas sistēmu kā rūpniecisko produktu.
- No Z/S Zilūži atskaites par projekta paveiktiem darbiem: *“No iegūtajiem datiem secinājumus izdarīja pētnieki, bet mēs secinājām, ka bez intensīvas ikdienas ganāmpulka uzraudzības, kas aizņēma laikielipīgu darbu diviem cilvēkiem, nav iespējams laikus pamanīt SARA pazīmes ganāmpulkā, lai tās laicīgi novērstu, neradot dzīvniekiem veselības traucējumus. Secinājums - šāda ierīce, kas spēj laikus noteikt pH izmaiņas spureklī būtu noderīga jebkurā fermā”.*

Pielikumi:

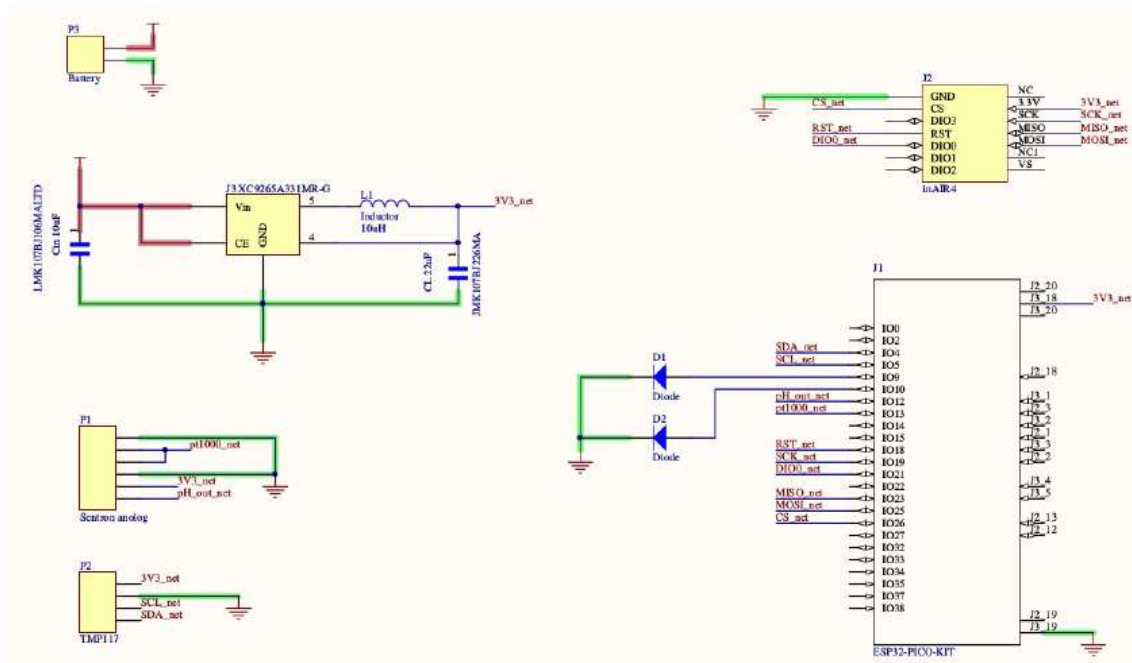
1. Pielikums: Bolusa rasējums. Izgatavots un izmēģināts projekta 1. posmā.



2. Pielikums. ESP32 ULP temperatūras sensora testa mērījumu rezultāti

Datums	Laiks	ADC	Volti	Kods	T ° C
2019-07-22T09:25:04		1607	1.29	3003	23.46
2019-07-22T09:25:05		1603	1.29	3002	23.45
2019-07-22T09:25:06		1602	1.29	3001	23.44
2019-07-22T09:25:07		1600	1.28	2998	23.42
2019-07-22T09:25:08		1600	1.28	2997	23.41
2019-07-22T09:25:15		1601	1.29	2994	23.39
2019-07-22T09:25:16		1601	1.29	2992	23.37
2019-07-22T09:25:17		1601	1.29	2992	23.37
2019-07-22T09:25:18		1601	1.29	2992	23.37
2019-07-22T09:25:19		1603	1.29	2992	23.37
2019-07-22T09:25:26		1605	1.29	2992	23.37
2019-07-22T09:25:27		1600	1.28	2992	23.37
2019-07-22T09:25:28		1601	1.29	2992	23.37
2019-07-22T09:25:29		1600	1.28	2992	23.37
2019-07-22T09:25:30		1600	1.28	2991	23.36
2019-07-22T09:25:37		1601	1.29	2983	23.3
2019-07-22T09:25:38		1600	1.28	2982	23.29
2019-07-22T09:25:39		1602	1.29	2983	23.3
2019-07-22T09:25:40		1601	1.29	2982	23.29
2019-07-22T09:25:41		1601	1.29	2980	23.28
2019-07-22T09:25:48		1602	1.29	2981	23.28
2019-07-22T09:25:49		1602	1.29	2979	23.27
2019-07-22T09:25:50		1645	1.32	2980	23.28
2019-07-22T09:25:51		1604	1.29	2979	23.27
2019-07-22T09:25:52		1601	1.29	2978	23.26
2019-07-22T09:25:59		1601	1.29	2977	23.25
2019-07-22T09:26:00		1604	1.29	2978	23.26
2019-07-22T09:26:01		1600	1.28	2977	23.25
2019-07-22T09:26:02		1603	1.29	2975	23.24
2019-07-22T09:26:03		1600	1.28	2976	23.25
2019-07-22T09:26:10		1601	1.29	2979	23.27
2019-07-22T09:26:11		1601	1.29	2979	23.27
2019-07-22T09:26:12		1602	1.29	2980	23.28
2019-07-22T09:26:13		1601	1.29	2980	23.28

3. Pielikums. Bolusa elementu komutācijas plates elektriskā shēma



4. Pielikums. dzīvnieku piena datu kontrole 19.04.2022

Dzīvnieka numurs	Laktācijas numurs	Piena dienas	7 dienu vid. dienas izslaukums pirms 26 dienām	Pēdējie tauki	Pēdējās obaltumvielas	Jaunākais somatisko sūnu skaits	SĒKLDAT			Pēdējā urīnviela (mmol/l)	Grupas numurs	Reprodukcijas stāvoklis	Vecums mēnešos	Sēkošanu skaits	Dienas kopš pēdējās grupas maiņas
							SĒKLDAT	ŠĶIRNE	LAKT						
5143	2	131	34.3	4.22	3.81	29	15.06.2022	HM	4.92	32.8	5	apsēklota	40	4	110
5046	2	221	36.3	4.10	3.68	23	26.05.2022	HM	5.02	38	5	apsēklota	42	3	195
5070	2	139	38.8	4.85	3.92	18	28.04.2022	HM	4.89	36.3	5	grūsna	42	1	113
45151	3	167	46.0	3.68	3.16	13	11.03.2022	HM	4.85	33.6	5	grūsna	58	1	145
4253	3	251	28.1	4.53	4.03	57	29.12.2021	HM	4.94	48.9	5	grūsna	57	2	223
4636	2	245	32.7	4.44	3.21	146	13.01.2022	HM	5.15	41.7	5	grūsna	49	1	223
5014	2	109	50.0	3.01	3.13	94	16.06.2022	HM	4.91	36.9	5	apsēklota	43	2	85
4328	3	295	27.9	3.99	3.56	117	17.11.2021	HM	5.01	29.4	5	Cietstāvoša	55	1	262
5110	2	137	39.8	4.24	3.67	28	04.05.2022	HM	4.86	33	5	apsēklota	41	3	111
5106	2	225	27.7	4.51	3.93	32	14.01.2022	HM	4.92	35.7	5	grūsna	41	1	136
3476	4	157	37.5	3.32	3.25	21		HM	4.89	30	5	negrūsna	73		136
4317	3	170	27.1	2.62	3.82	2 162	31.03.2022	HM	4.34	35.6	8	negrūsna	56	1	30
4136	3	283	21.9	4.51	3.43	56	08.12.2021	HM	4.79	19.8	8	Cietstāvoša	59	1	4
67142	2	192	51.7	2.99	3.23	8	10.06.2022	HM	4.77	50.2	5	apsēklota	46	4	173
4988	2	194	44.6	3.68	3.32	54	24.01.2022	HM	4.92	34	5	negrūsna	44	1	173
4163	3	218	38.1	3.48	3.50	10	31.03.2022	HM	4.96	33.9	5	grūsna	59	3	173
4810	2	346	36.3	3.09	3.37	244	05.05.2022	HM	4.99	38	5	grūsna	47	7	350
75595	2	240	44.0	2.63	3.23	63	04.05.2022	HM	4.77	37.6	5	apsēklota	46	4	105
45556	2						25.10.2021	HM				aizlaista ciet 16.06			
5833	1	144	49.6	2.88	2.81	212	18.04.2022	HM	4.64	33.4	6	grūsna	28	1	112
5742	1	214	30.5	3.83	3.80	31	26.01.2022	HM	5.15	32.3	6	grūsna	30	1	175
5631	1	166	34.0	5.78	4.07	101	02.06.2022	HM	4.73	23	6	negrūsna	33	2	140
5862	1	129	40.4	4.15	3.28	34	04.06.2022	HM	4.69	33.1	6	apsēklota	28	3	87
5837	1	147	40.6	3.59	3.20	14	31.03.2022	HM	4.88	27.2	6	grūsna	23	1	114
5919	1	88	38.8	2.80	3.08	15	16.06.2022	HM	4.97	26.2	6	apsēklota	24	2	57
5477	1	366	36.0	4.80	3.63	20	05.05.2022	HM	4.93	24.3	6	negrūsna	33	5	360
5810	1	177	42.5	3.47	3.15	121	10.03.2022	HM	4.74	28	6	grūsna	29	1	140
5670	1	212	32.1	2.82	3.18	32	21.04.2022	HM	4.99	37.6	6	grūsna	32	4	171
5614	1	207	42.9	3.31	3.38	413	02.04.2022	HM	4.98	30.3	6	grūsna	33	3	171
5472	1	223	50.0	3.02	3.32	30	04.04.2022	HM	5.14	38.4	6	grūsna	35	4	200
5235	1						11.11.2021	HM				aizlaista ciet 16.06			
5671	1	251	28.9	3.38	3.23	104	31.03.2022	HM	5.07	39.1	8	grūsna	32	4	18
4904	1	611	32.3	3.48	3.62	18	20.05.2021	HM	4.85	28.3	8	negrūsna	45	5	18

5.Pielikums. Spurekļa sienas biezuma mērījumi 2 piegājienu: 02.05.2022. un 09.06.2022.

	02.05.2022	Rum 01.05.22	Rum 02.05.22.	Rum 03.05.22.			09.06.2022	Rum 07.06.22.	Rum 08.06.22.	Rum 09.06.22	
Govs nr.	spurekļa sienas biezums				3 dienu vid. rum.	Govs nr.	spurekļa sienas biezums				3 dienu vid. rum.
5143	0,47	521	567	621	570	5143	0,33	618	603	614	612
5046	0,52	586	524	521	544	5046	0,67	493	530	516	513
5070	0,6	555	532	551	546	5070	0,67	521	483	521	508
45151	0,25	586	570	590	582	45151	0,55	540	528	535	534
4253	0,27	588	598	614	600	4253	0,75	580	582	581	581
4636	0,36	574	543	540	552	4636	0,74	557	511	541	536
5014	0,27	595	583	601	593	5014	0,37	561	551	586	566
4328	0,27	537	540	576	551	4328	0,74	583	569	589	580
5110	0,35	622	593	597	604	5110	0,21	615	660	653	643
5106	0,52	516	576	575	556	5106	0,78	578	559	537	558
3476	0,32	546	554	543	548	3476	0,64	522	533	520	525
4317	0,35	632	640	626	633	4317		667	642	678	662
4136	0,5	558	563	548	556	4136	0,91	558	543	544	548
67142	0,82	574	584	620	593	67142	0,5	625	624	622	624
4988	0,15	555	649	592	599	4988	0,94	545	592	567	568
4163	0,54	510	590	546	549	4163	0,67	614	584	559	586
4810	0,31	604	621	636	620	4810	0,48	602	600	545	582
75595	0,3	528	555	547	543	75595		562	516	503	527
45556	0,24	552	542	555	550	45556		495	542	540	526
5833	0,33	597	623	643	621	5833	0,27	636	645	633	638
5742	0,48	556	480	521	519	5742	0,44	565	523	535	541
5631	0,14	618	584	605	602	5631	0,63	605	574	581	587
5862	0,17	568	612	549	576	5862		623	641	595	620
5837	0,16	586	543	529	553	5837		633	614	624	624
5919	0,13	541	577	568	562	5919		628	633	614	625
5477	0,15	548	577	603	576	5477	0,1	602	594	620	605
5810	0,18	603	584	621	603	5810	0,56	582	602	574	586
5670	0,12	621	587	623	610	5670	0,49	596	578	603	592
5614	0,45	548	532	578	553	5614	0,65	605	549	578	577
5472	0,35	569	609	570	583	5472	0,25	580	591	621	597
5235	0,47	617	573	567	586	5235		536	542	520	533
5671	0,3	569	552	591	571	5671		442	438	472	451
4904	0,38	539	521	580	547	4904		493	502	521	505