

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Projekta

“Mākslīgajā intelektā balstītas sistēmas COWOW rūpnieciskais pētījums”

noslēguma pārskats

Projekta numurs: 19-00-A01612-000005

Struktūrvienības kods: LAD 32

Sadarbības partneri: SIA "Vet Health Spektrum", Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts, Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, SIA "Agro - kaķenieki", Z/S "Zilūži", IK "Bikstu Brīvzemnieki", Lauksaimniecības organizāciju sadarbības padome (LOSP)

Projekta uzsākšanas datums: 02/12/2019

Projekta beigu datums: 15/04/2022

Projekta budžets: 367057.49 EUR

Saturs

Tekstā lietoto saīsinājumu tabula.....	3
Projektā iesaistīto partneru uzdevumi un atbildības jomas.....	4
1. Mastīta problēma piena lopkopībā	5
1.1. Projekta apraksts un sasniedzamie mērķi	5
1.2. Projekta tēmas aktualitāte.....	6
1.3. Potenciālie labuma guvēji.....	7
2. Metodoloģijas apraksts.....	7
2.1. Biosignāla noņemšanas apraksts	7
3. Datu apstrāde	24
3.1. Iezīmju izvilksana	25
3.2. Modeļu apmācība par iepriekš apstrādātiem datiem.....	26
4. Govju atlases kritēriju sastādīšana.....	27
4.1. Iegūtie bakterioloģiskās testēšanas rezultāti	29
4.2. Govju skenēšanas ar biosignāla sensoru un datu failu izmantošana salīdzinājumu veikšanai...35	
4.3. Biosignāla sensoru sistēmas vērtējumu sakritība ar kārtējā mēneša SŠS līmeni.....	42
4.4. Mastīta ierosinātāju – biomarkķieru atlase un sagatavošana skenēšanai.....	42
4.5. Biosignāla sensoru sistēmas izmantošana SŠS līmeņa izmaiņu prognozēšanai un alternatīvu stratēģiju salīdzināšana.....	44

5. Projekta tiešie rezultāti.....	47
5.1. Izstrādātās sistēmas pielietošanas potenciāls.....	49
5.2. Secinājumi	50
Projekta koordinātoru, sadarbības partneru un atskaites sagatavotāju kontaktinformācija.....	51
Atsauces.....	51
Pielikums1. IT daļas detalizētais apraksts.....	52

Tekstā lietoto saīsinājumu tabula

CW	COWOW
LLU	Latvijas Lauksaimniecības Universitāte
LU CFI	Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts
LOSP	Lauksaimniecības organizāciju sadarbības padome
LAD	Lauku Atbalsta Dienests
ACP	Analogā signāla pārveidotājs
RF	Radio Frekvence
SŠS	Somatisko Šūnu Skaits
CMT/KMT	California mastitis tests/ Kalifornijas mastīta tests
k	koeficients

Projektā iesaistīto partneru uzdevumi un atbildības jomas

16.pasākuma "Sadarbība" 16.1.apakšpasākuma "Atbalsts Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba grupu projektu īstenošanai" ietvaros (turpmāk tekstā saukts – Projekts), partneri īstenoja projektu "Mākslīgajā intelektā balstītas sistēmas COWOW rūpnieciskais pētījums", katrs izpildījis sekojošas funkcijas:

SIA Vet Health Spektrum (Vadošais partneris):

- uzņēma kopējo projekta vadību, tai skaitā: projekta pieteikuma sagatavošanu un iesniegšanu LAD, projekta plānošanu, koordinēšanu, uzraudzību; gan projekta tehniskas izstrādes vadību;
- atbildēja par atskaišu un maksājumu pieprasījumu dokumentu savlaicīgu sagatavošanu un iesniegšanu LAD, kā arī par komunikāciju ar LAD;
- nodrošināja Partneru iekšējo un ārējo komunikāciju projektā noteiktā mērķa sasniegšanai – sistēmas CW izstrādei, demonstrēšanai, testēšanai un validēšanai reālos apstākļos gan bioloģiskās, gan intensīvās piena lopkopības saimniecībās;
- nodrošināja un organizēja projekta darba grupu sapulces, pētniecības materiālu un rezultātu regulāru apspriešanu;
- nodrošināja biznesa prasību definēšanu sistēmas CW tehniskās specifikācijas izstrādei, kā arī tehnoloģijas ieviešanu CW sistēmā un mākslīgajā intelektā balstītas programmatūras izstrādi;
- nodrošināja projekta publicitāti un piedalījās populārzinātniskā raksta un zinātniskā rakstu sagatavošanā.

Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, LLU šī projekta ietvaros nodrošināja zinātnisko un praktisko kompetenci veterinārijas nozarē sistēmas CW izstrādes laikā. Tāpat LLU norīkotie pētnieki nodrošināja projektā plānoto piena analīžu savākšanu, veica paraugu testēšanu un iegūto rezultātu datu apkopošanu, apstrādi un sniedz rezultātu izvērtējumu. Izmantojot projekta laikā uzkrāto informāciju un pētījuma analīžu rezultātu datus, piedalījās populārzinātniskā raksta un zinātniskā rakstu sagatavošanā.

Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts, LU CFI nodrošināja zinātnisko un praktisko kompetenci radioelektronikas sistēmu izstrādē, nodrošināja sistēmas CW tehniskās specifikācijas papildināšanu, CW sistēmas prototipa izstrādi, testēšanu un validāciju laboratorijā, kā arī nodrošina tehnisko atbalstu un uzraudzību CW sistēmas testēšanas un validācijas fāzē reālajos apstākļos projektā iesaistītajās piena saimniecībās, piedalījās zinātniskā raksta sagatavošanā.

Lauksaimniecības organizāciju sadarbības padome, LOSP nodrošināja projekta publicitāti ārpus EIP darba grupas.

SIA AGRO-KAĶENIEKI nodrošināja iespēju izmantot savas saimniecības teritoriju, fermas ēkas un attiecīgo govju skaitu uz projektā plānoto sistēmas demonstrēšanu, testēšanu un validāciju.

Z/S Zilūži nodrošināja iespēju izmantot savas saimniecības teritoriju, fermas ēkas un attiecīgo govju skaitu uz projektā plānoto sistēmas demonstrēšanu, testēšanu un validāciju.

IK „Bikstu Brīvzemnieki” nodrošināja iespēju izmantot savas saimniecības teritoriju, fermas ēkas un attiecīgo govju skaitu uz projektā plānoto sistēmas demonstrēšanu, testēšanu un validāciju.

1. Mastīta problēma piena lopkopībā

Piena lopkopība ir viena no Latvijas lauksaimniecības pamatnozarēm, kas saražoja pienu 23.7% apmērā no lauksaimniecības preču galaprodukcijas struktūras 2017. gadā saskaņā ar Agroresursu un ekonomikas institūta datiem. Pēdējos gados govju fermu skaits Latvijā samazinās, tomēr dzīvnieku skaits vidēji vienā uzņēmumā pieaug.

Nozīmīga problēma piena liellopu ganāmpulkos ir mastīts jeb tesmeņa iekaisums, ar kuru slimo vidēji 30% vienā laktācijas periodā, saskaņā ar Viskonsīnas Universitātes Veterinārmedicīnas skolas veikto pētījumu. Ekonomiskie zaudējumi, kas rodas no aizlieguma lietot pienu, ārstējot mastītu ar antibiotikām un noteiktu laiku pēc šī perioda, Latvijā nav aprēķināti. Taču, pasaules līmeņa pētījumos (Liang et al., 2016) ir norādīts, ka vidējās mastīta radītās izmaksas piena lauksaimniekiem vienam gadījumam ir 325 USD (~288 EUR). Šie dati sakrīt ar aptaujas datiem Latvijas piena lauksaimniekiem, kas veikti projekta priekšizpētē.

Saskaņā ar Latvijas Lauksaimniecības Datu centra informāciju, 2018.gada beigās Latvijā bija reģistrētas 127029 slaucamas govīs, kuru saražotais piens tika realizēts pārstrādei. Kopumā 2018.gadā tika pārstrādei saražoti 780645736 kilogrami piena, vidējā piena iepirkuma cena bija 0.2838 EUR par kilogramu. Ņemot vērā starptautiskos pētījumu datus, ka vidēji 30 % govju gadā saslimst ar mastītu, var pieņemt, ka 2018.gadā Latvijā ar mastītu ir slimojušas 38109 govīs (jeb 30% no 127029). Tas norāda, ka Latvijas tautsaimniecībai tikai 2018.gadā vien mastīts ir radījis zaudējumus EUR 10 975 392 apmērā.

1.1. Projekta apraksts un sasniedzamie mērķi

Projekta mērķis ir jaunradītas mākslīgajā intelektā balstītās mastīta diagnostikas sistēmas COWOW izstrāde, testēšana un validācija, lai veicinātu ražīguma efektivitāti piena lopkopības nozarē un sekmētu nozares attīstību kopumā, apvienojot pētnieku, lauksaimnieku un citu ieinteresēto personu pūliņus. COWOW sistēma tika balstīta uz zemu frekvenču elektomagnētisko viļņu analīzes pamata. Tā ir ekonomiski dzīvotspējīga, inovatīva un ilgtspējīga bezatlikuma tehnoloģija. Projekta ietvaros tika veikts rūpnieciskais pētījums ar nolūku uzlabot

ekonomiskos rādītājus piena primārajā ražošanā, piena produktu pārstrādē, lopkopībā un bioloģiskajās lauksaimniecībās, izmantojot ar COWOW sistēmu iegūtos specifiskos diagnostikas datus, kurus pielietot govju profilaksē un ārstēšanā.

1.2 Projekta tēmas aktualitāte

Turpmākajos gados pārtikas nodrošinājums būs viena no galvenajām problēmām pasaulē, jo prognozēts, ka pārtikas pieprasījums līdz 2050. gadam pieaugs par 70 % (FAO). The Dairy Research Network (IFCN) prognozē globālu piena un tā produktu pieprasījuma pieaugumu par 35 % uz 2030. gadu. Turklāt šo problēmu pavada lēnāks ražīguma pieaugums, kas lielā mērā skaidrojams ar to, ka samazinājies ieguldījums lauksaimniecības pētniecībā, kā arī pieaugoša slodze uz vidi un dabas resursiem. Tātad galvenā problēma lauksaimniecības jomā turpmāk būs ne tikai ražot vairāk, bet darīt to arī ilgtspējīgā veidā.

Mastīts ir viena no slimībām, kas piena lopkopībā nodara vislielākos ekonomiskos zaudējumus: samazina izslaukumu, pazemina piena kvalitāti, palielina izmaksas par veterināra pakalpojumiem, medikamentiem u.c.. Papildus tam mastīta ārstēšanai izmantotās antibiotikas būtiski ietekmē saslimušās govju pienesumu piena ražošanas procesā. Līdz ar to iepriekš minētās problēmas norāda uz nepieciešamību izstrādāt jaunus, inovatīvus risinājumus un tehnoloģijas piena lopkopības nozarē.

Projekta ietvaros tika izstrādāta mākslīgajā intelektā balstītās mastīta diagnostikas sistēma COWOW. Galvenā sistēmas iezīme ir neinvazīva diagnostika, neizmantojot piena paraugus. Tas ir jauns sasniegums veterinārmedicinā. Šī sasnieguma būtība ir balstīta uz zemu frekvenču elektromagnētisko viļņu diagnostikas analīzi. Projekta ietvaros izstrādātās sistēmas COWOW pielietošana var dot iespēju pārnest preventatīvo medicīnu veterinārijā jaunā līmenī, diagnosticējot mastītu pašā agrīnā stadijā, sniegt iespēju palielināt piena lopkopības saimniecību kopējos izslaukuma rādītājus, kā arī uzlabot piena kvalitāti, kā arī uzlabot ganāmpulka kopējo veselības stāvokli un labturību, uzlabojot piena lopkopības saimniecību kopējos produktivitātes rādītājus un samazinot mastīta radītos ekonomiskos zaudējumus.

Pašlaik tirgū ir jauni risinājumi, kas seko līdzīgi govju organisma temperatūras svārstībām, to atrašanās vietai, nosaka meklēšanās fāzi utt. Šo risinājumu pamatā tiek izmantoti tā saucamie kustību sensori, kā risinājumu piemērus var minēt: Cowlar, Ida no Connecterra, Silent Herdsman u.c. Ir arī inovatīvi risinājumi mastītu diagnostikai: Mastiline (automātiska, molekulārā, taču ne mikrobioloģiskā), Mamelle (produkts pašlaik tiek izstrādāts), Ramana spektroskopija (optiskā mērīšanas metode; manuālā, molekulārā, mikrobioloģija), Abingdona tests (produkts pašlaik tiek izstrādāts, izmantota sānu plūsmas tehnoloģija, norāda grampozitīvas vai gramnegatīvas baktērijas). COWOW sistēma piedāvā divas industrijai būtiskas konkurētspējas priekšrocības: automātisku subklīniskā/klīniskā mastīta diagnostiku un monitoringu 24/7 režīmā bez nepieciešamības ņemt un laboratorijā analizēt piena paraugus.

1.3. Potenciālie labuma guvēji

Potenciālie tiešie labuma guvēji ir piena ražotāji, netiešie - piena pārstrādātāji. Ar COWOW sistēmu iegūto specifisko diagnostikas datu izmantošana govju profilaksē un ārstēšanā sniegs labumu piena ražotājam, palielinot piena daudzumu, palielinot piena kvalitāti, samazinot ārstniecības izdevumus, samazinot antibiotiku lietošanu, tādējādi palielinot saimniecības rentabilitāti. Sistēma nodrošina govju monitoringu, lai savlaicīgi novērstu mastīta gadījumus savā ganāmpulkā, uzlabotu saimniecību produktivitāti un ganāmpulka kopējo veselības stāvokli un labturības nosacījumus. Savukārt, piena pārstrādātāji gūs labumu no pieaugošā piena piedāvājuma un piena kvalitātes uzlabošanās. Papildus jāmin arī visas sabiedrības ieguvums, kas saistīts ar veselības uzlabošanu, nelietojot pārtikā lauksaimniecības produktus, kas satur antibiotikas.

2. Metodoloģijas apraksts

Jebkurš dzīvs organisms, tostarp baktērijas, ir elektromagnētisko svārstību avots, un katram organismam ir sava stingra frekvence (Matsuhashi et al., 1998).

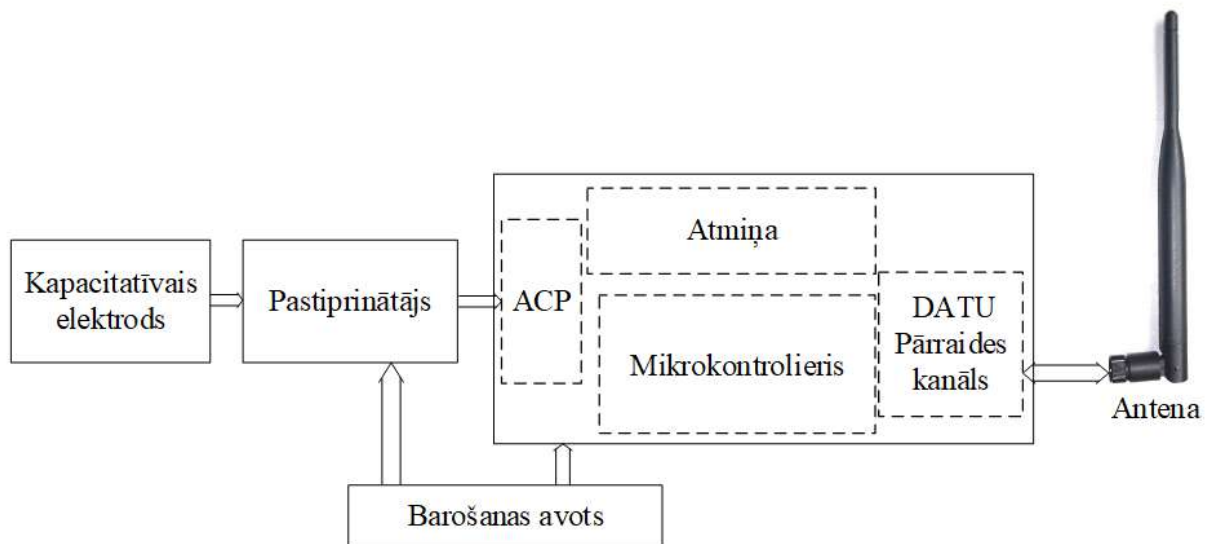
Pateicoties daudziem pētījumiem ir konstatēts, ka katra dzīvā šūna vienlaikus ir noteiktas frekvences elektromagnētisko viļņu emitētājs un uztvērējs. Svārstību frekvenču diapazons ir visai plašs no hercu daļām līdz optiskajam apgabalam. Veseliem organismiem un to daļām ir viena frekvence, slimiem – cita. Arī jebkurai vielai, kas iedarbojas uz organismu no ārpuses vai no iekšpuses (strādājošam datoram, mobilajam telefonam, vīrusam vai baktērijai, medikamentam utt.), ir raksturīgas savas frekvences. Tās vai nu nonāk rezonansē ar organismu vai tā daļām, veicinot orgānu un sistēmu darbības atjaunošanos, vai arī neiekļūst, izraisot orgānu desinhronizāciju un disfunkciju, kas izraisa dažādu slimību rašanos un attīstību.

Šīs metodikas izmantošana veterinārijā vel nav pietiekami pētīta un šis darbs ir mēģinājums izstrādāt biosignālu noņemšanas (jeb reģistrēšanas) tehnoloģiju un aparatūru, kā arī sākt veidot datu bāzi sistēmai veselu un slimu govju diagnostikai izmantojot jaunākos zinātniskos sasniegumus datu apstrādē tajā skaitā, mākslīgā intelekta tehnoloģiju sniegtās iespējas.

2.1. Biosignāla noņemšanas apraksts

Uzsākot jebkuru jaunu pētniecisko darbu nepieciešams iepazīties ar pasaules sasniegumiem šajā jomā izmantojot zinātnisko un tehnisko informāciju. Tas arī tika veikts. Tika konstatēts, ka elektromagnētiskā lauka viļņveida signāla parametrus pamatā reģistrē medicīnā (elektrokardiogrammu, encefalogrammu un citu signālu reģistrācija). Parasti izmanto divus reģistrācijas elektrodus un, kā likums, stacionāros apstākļos. Mobilajos apstākļos divu elektrodu reģistratori grūti pielietojami. Tāpēc izmanto ierīces ar vienu kapacitatīvo elektrodu un, pamatā, arī medicīnas vajadzībām. Gatavu risinājumu biosignālu nolasīšanai no govīm atrast neizdevās, tāpēc tas tika izstrādāts projekta laikā.

Biosignāla reģistratora blokshēma attēlota zemāk (Attēls1.)



Attēls.1. Biosignāla reģistratora blokshēma

Kā tas strādā?

Zemas frekvences signālu no liellopu ādas virsmas reģistrē, izmantojot vienelektroda kapacitatīvo sensoru, kurš pieslēgts pastiprinātājam. Pastiprinātāja izejas signāls nokļūst analogciparu pārveidotājā (ACP). Saciparotā informācija tālāk tiek ierakstīta atmiņā. Pēc tam šī informācija tiek nosūtīta uz datu uzkrāšanas moduli. Visas darbības vada mikrokontrolieris.

Pēc informācijas apkopošanas tika sastādīts tehniskā uzdevuma precizējums mezgliem, ņemot vērā ka

1. Ierīcei ilgstoši jādarbojas no autonoma barošanas avota (vēlams vienpolārs avots).
2. Ierīcei jābūt ar mazu strāvas patēriņu.
3. Jānodrošina attālināta datu apmaiņa.
4. Jādarbojas plašā temperatūras un mitruma diapazonā.

Pastiprinātājs:

1. Pastiprinātājam jābūt ar lielu ieejas pretestību, respektīvi, ar mazu ieejas strāvu (vēlams dažī pA).
2. Pastiprinātājam jānodrošina mazs paštrokšņu līmenis.
3. Pastiprinātājam jānodrošina nepieciešamais pastiprinājuma koeficients un ierobežota frekvenču josla.
4. Pastiprinātājam jādarbojas no vienpolāra barošanas avota ($\sim +3V$).
5. Pastiprinātājam jānodrošina mazs strāvas patēriņš.
- 6.

Analogā signāla pārveidotājam (ACP)

jāapmierina sekojošas prasības:

1. ACP kārtu skaits: 12 binārās kārtas.
2. ACP takts frekvence 22 kHz.
3. ACP ar datu virknes izvades formātu.
4. Mazs strāvas patēriņš.

Atmiņa

1. Datu apmaiņai jānotiek virknes formātā, nodrošinot nepieciešamo ieraksta/lasīšanas ātrumu.
2. Datu apjoms: 30 sekunžu ierakstam ~ 0,7 MB.
3. Mazs strāvas patēriņš.

Mikrokontrolieris

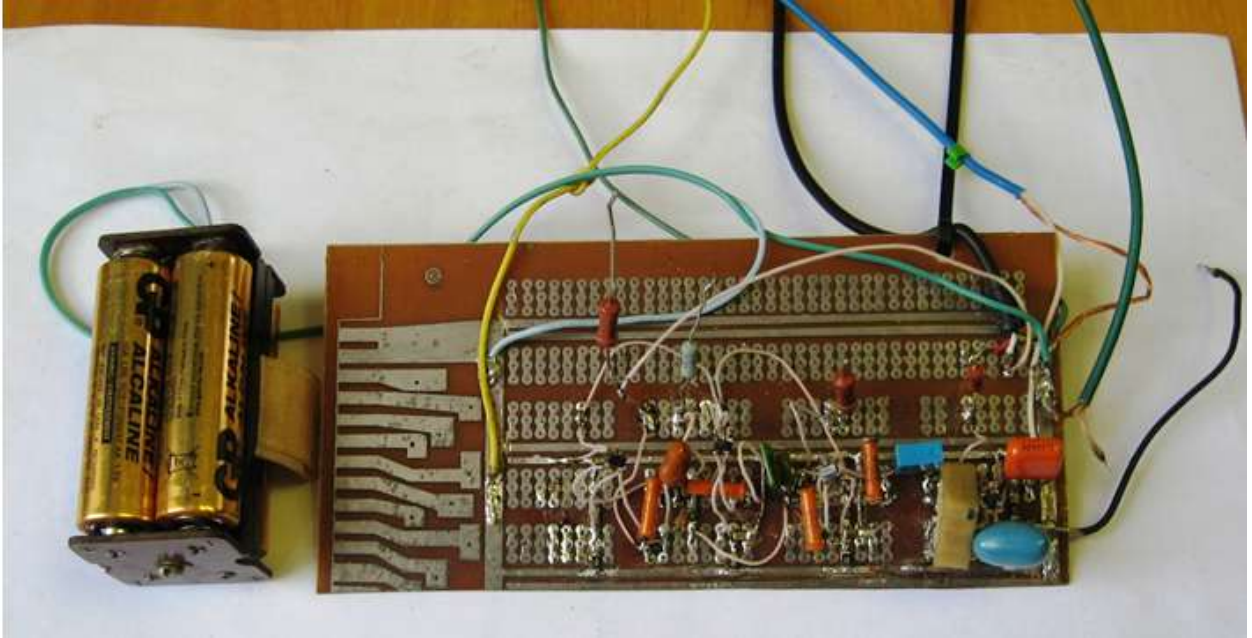
1. Mikrokontrolierim jānodrošina diagnostikas ierīces darbības algoritmu un visu nepieciešamo funkciju izpilde:
 - ierīces aktivizēšana;
 - mērījumu veikšana un mērījuma datu ieraksts ierīces atmiņā;
 - datu sagatavošana pārraidei un to pārraide pa bezvadu datu kanālu;
 - ierīces pārslēgšana miera (guļošā) režīmā, kas ļauj samazināt ierīces kopējo strāvas patēriņu
2. Mazs strāvas patēriņš ar iespēju pārslēgties enerģijas taupīšanas režīmā.

Datu pārraides kanāls

1. Nodrošina komunikāciju (diagnostikas mērījumu datu pārraidi, kā arī komandu uztveršanu) starp objektu ar diagnostikas ierīci un datu apkopes centru, izmantojot bezvadu pārraides iespējas.
2. Datu pārraides kanālam jābūt adresācijas iespējai, lai nodrošinātu datu savākšanu no vairākiem diagnosticējamiem objektiem.

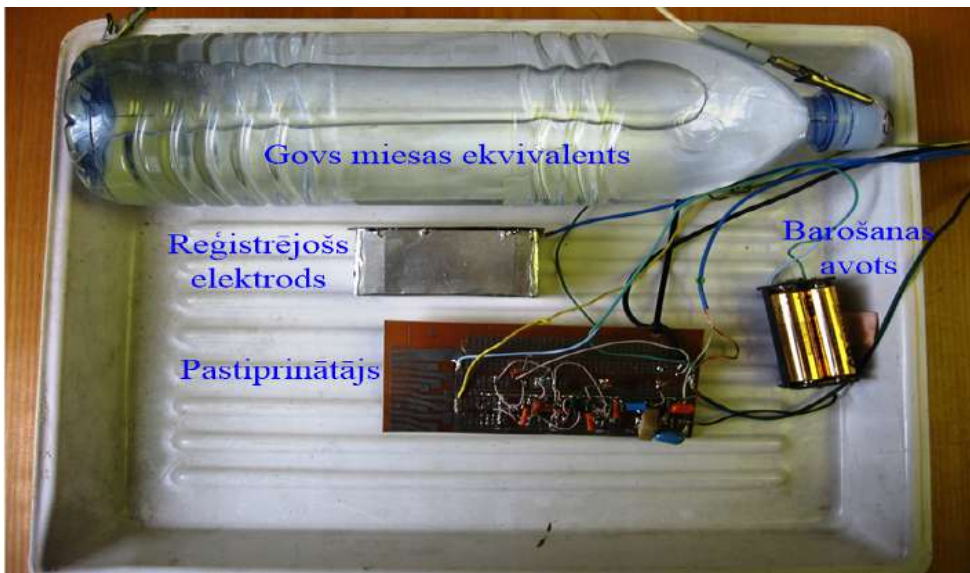
Nākošais solis darbā bija bioloģisko objektu elektromagnētiskā lauka viļņveida signāla parametru reģistrācijas aparatūras elektrisko principiālo shēmu izstrāde un elementu (pastiprinātāju, ACP, atmiņas, kontrolieru) izvēle un zvēlēto elementu iegāde.

Pēc komplektējošo elementu iegādes tika izveidots bioloģisko objektu elektromagnētiskā lauka viļņveida signāla parametru reģistrācijas moduļa mērošās daļas (pastiprinātāja) makets (skat.Attēls 2)



Attēls 2. Pastiprinātāja makets:

Pastiprinātāja makets kopā ar bioloģiskā objekta ekvivalentu, kuru ierosina no ārējā ģeneratora (Attēls 3.)

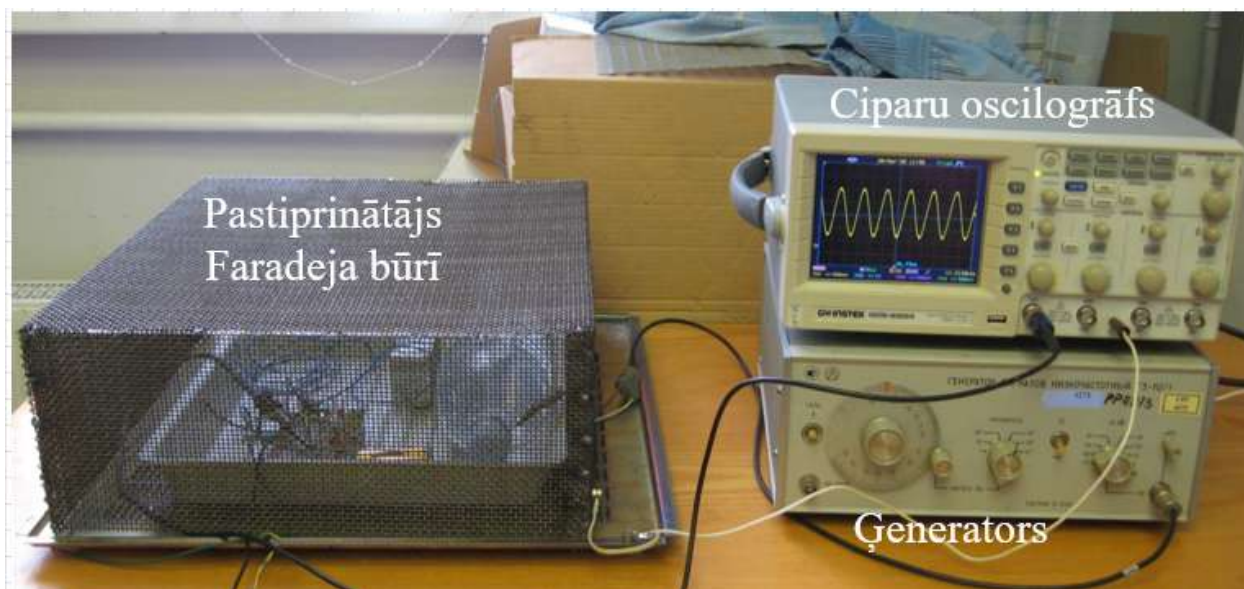


Attēls 3. Pastiprinātāja makets kopā ar bioloģiskā objekta ekvivalentu

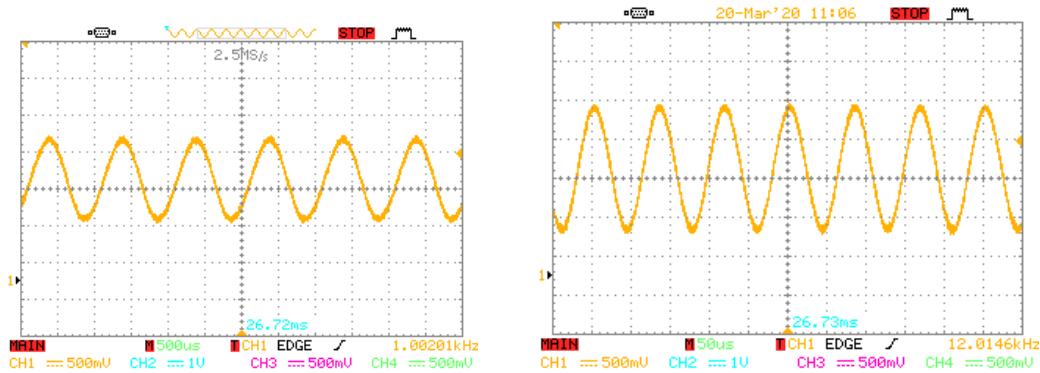
Pastiprinātāja maketam ar ģeneratoru nav galvaniskās saites. Visu konstrukciju ievietojam Faradeja būrī (lai izslēgtu apkārtējās vides elektromagnētiskos trokšņus).



Attēls 4. Konstrukcija Faradeja būrī

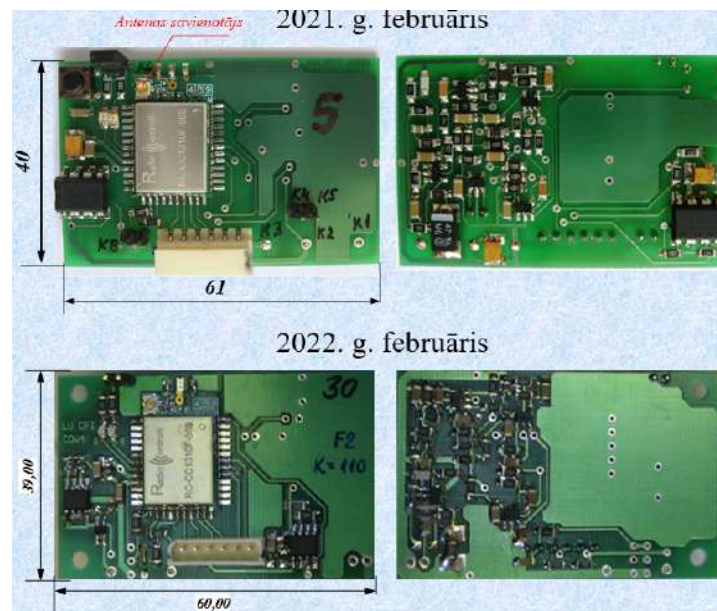


Attēls 5. Eksperimentālā reģistrācijas moduļa uztverošās daļas makets kopumā



Attēls 6. Iegūtie tipveida signāli uzdotajā frekvenču diapazonā:

Tālāk sekoja spiesto plašu izstrāde un izgatavošana. Reģistrācijas moduļa montāža, tā kontroliera programmas izstrāde. Datu pārraides kanāla izveide reģistrācijas moduļa sasaistei ar datu uzkrāšanas bloku. Informācijas apmaiņas protokola izstrāde un realizācija. Projekta pilnveides gaitā tika izstrādātas 4 spiesto plašu modifikācijas (Attēls.7.)



Attēls.7. Spiesto plašu modifikācijas

Ļoti darbietilpīga un vairākiem etapiem saistīta bija iepazīšanās ar firmas Texas Instruments savdabīgo CC1310 sērijas mikrokontroleri un tā programmēšanas īpatnībām, jo iepriekš ar šo kontroleri un tā programmēšanas “softu” (programmatūru) nebijām strādājuši un nācās soli pa solim apgūt tā specifiku.

Sākotnēji kontroliera vadības funkcijas un pāreja no viena darbības režīma uz nākošo tika veiktas manuāli ar pogu palīdzību. Piemēram, nospiežot pogu “Mērīšana”, sākas mērīšanas process ar secīgu datu ierakstu atmiņā. Pēc mērījuma laika beigām (dziest LED gaismas signāls), kontrolieris gaida nākošo komandu (pogas nospiešanu); nospiežot pogu “Pārraide”, sākas samērīto datu pārraide. Sākotnēji

datu pārraide notika pa virknes portu tieši datorā. Lai to veiktu bija nepieciešams reģistratoru tieši pieslēgt datora USB portam.

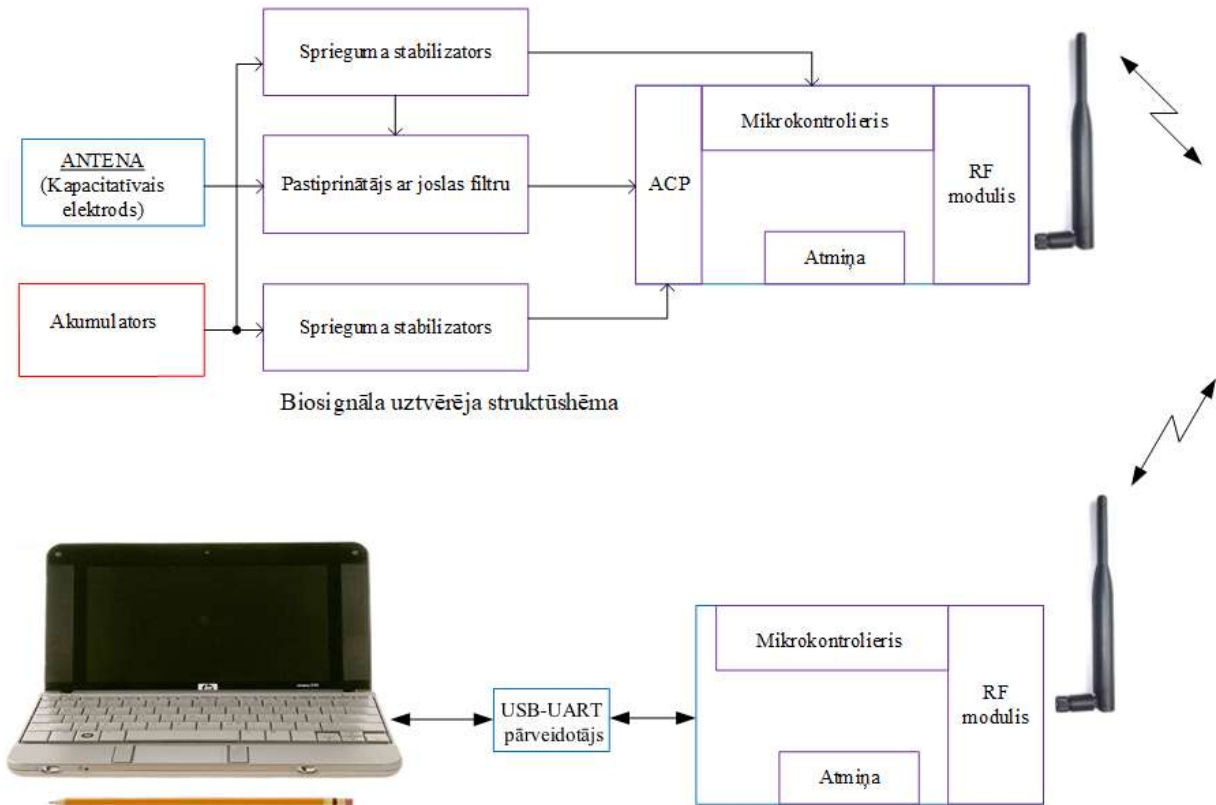
Pēc tam iemācījāties ieprogrammēt un izmantot mikrokontroliera RF (radio frekvenču) pārraides kanālu, kuru varēja pielietot gan vadības komandu, gan samērīto datu pārraidei. Tā kā datu apjoms ir samērā liels, tad būtiska nozīme ir datu pārraides kanāla ātrdarbībai.

Jāatzīmē, ka mikrokontrolieros bija nepieciešams izveidot vairākas programmas:

- adresēto komandu un darbības parametru uztveršanai,
- datu pārraidei pēc pieprasījuma;
- kontroliera stāvokļa pārraidei;
- datu uztveršanai bāzes stacijā;
- adresēto komandu un darbības parametru pārraidei.

Bez šīm attālinātās vadības, kontroles, datu uztveres un pārraides programmām mikrokontrolieros ieprogrammētas arī citas lokāli funkcionējošās darbības, kuras nodrošina izveidotā biosensora mērīšanas, sprieguma kontroles un vadības, kā arī mērdatu saglabāšanu atmiņā, bet “bāzes stacijas” mikrokontrolieris papildus formē datu apmaiņu protokolu ar datoru, izmantojot virknes portu.

Pakāpeniski tika veiktas bioloģisko signālu reģistratoru (“govs”) un bāzes stacijas kontrolieru programmatūras pilnveidošana. Paralēli tika radītas datorprogrammas reģistratora komplekta testēšanai, vadībai un “ekspres” biosignālu datu bāzes veidošanai. Datorā uzkrātā biosignālu datu bāze tika pārsūtīta uz datu apstrādes un analīzes serverī, kurā tika veidota mākslīgā intelektā balstīta programmatūra. Analīzes programmatūras izveidē būtiska loma bija LLU veterināra speciālistu bakteriālo analīžu rezultātiem un to salīdzināšana ar atbilstošās govju biosignāla datiem. Biosignālu datu bāzes radīšanai tika veiktas vairākas “ekspedīcijas” uz dažādām govju fermām *SIA AGRO-KAĶENIEKI, Z/S Zilūži un IK, „Bikstu Brīvēznieki”*, un veikti vairāk nekā 1000 biosignālu mērījumi. Koējā biosignāla uztvērēja un datu uzkrāšanas moduļa struktūrshēmas apskatāmas Attēlā 8.



Attēls.8. Biosignāla uztvērēja un datu uzkrāšanas moduļa struktūshēmas

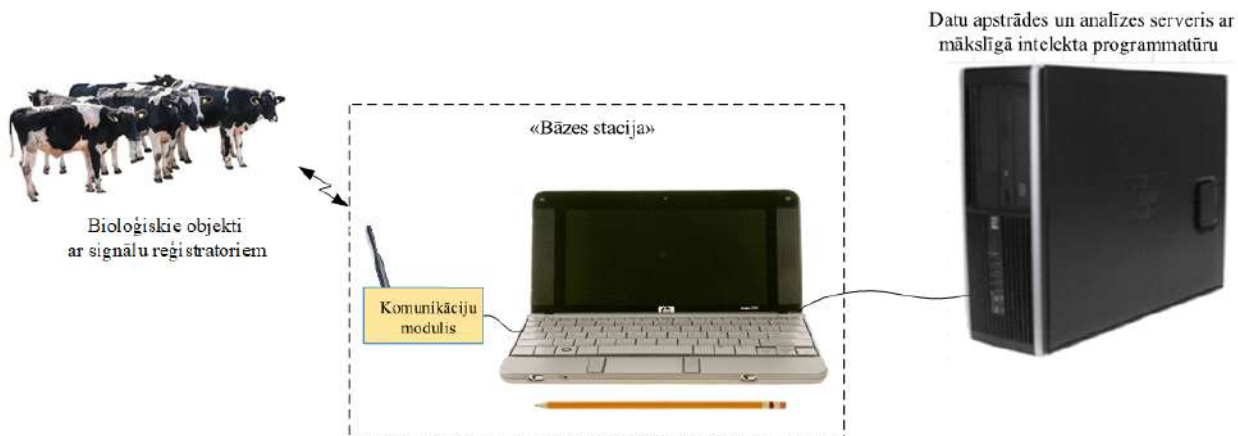
Izstādes laikā tika atklāts, ka firma “RadioControlli” (www.radiocontrolli.com) uz mūsu izvēlētā TI mikrokontroliera bāzes radījusi mikroshēmas moduli, kurš papildināts ar atmiņas mikroshēmu samērīto datu uzkrāšanai. Firmas “RadioControlli” mikroshēmas moduļi nodrošina komandu un datu apmaiņu pa radio kanālu starp bioloģisko objektu un bāzes staciju un būtībā mikrokontrolieri ar tajos ierakstīto LU CFI izstrādāto programmatūru ir visas ierīces “smadzenes”.

Jāatzīmē, ka bioloģisko objektu elektromagnētiskā lauka viļņveida signāls (skat attēlus zemāk) ir ļoti mazas amplitūdas un arī tā izmaiņas ir nelielas, pietam jāņem vērā apkārtējā “ētera” piesārņojums (elektrotīkla 50 Hz fons, dažādi traucējumi no sadzīves un industriālām ierīcēm), tādejādi to samērā grūti izdalīt no apkārtējā elektromagnētiskā lauka fona.

Bioloģiskā objekta elektromagnētiskā lauka reģistrācijas komplektu veido atsevišķi mezgli:

- o biosignāla uztveres ierīce, saukta arī par “reģistratoru” vai “biosensoru”;
- o kontroles, vadības un komunikācijas modulis, saukts par “bāzes staciju”, kuras pamatā ir dators ar savu speciāli izveidotu programmatūru;
- o datu uzkrāšanas, apstrādes un analīzes serveris ar mākslīgā intelekta programmatūru.

Serveris ir attālināts un darbojas mākoņserverī. Strukturāli to var attēlot sekojoši (skat. Attēls 9.)



Attēls 9. Sistēmas struktūra

Enerģijas taupīšanas nolūkā vadības mikrokontrolieris pastiprinātāju barošanas sprieguma stabilizatoru ieslēdz tikai uz biosignāla mērīšanas laiku.

Projekta ietvaros pētījām reģistratora kontroliera darbu mazas enerģijas patēriņa apstākļos ar īslaicīgu “aktīvo” režīmu, bet pamatā pats vadības mikrokontrolieris atrodas “miera” (“Idle”) stāvoklī, kurš periodiski mijas ar īslaicīgu “pamošanās-aktīvo” stāvokli, kuras laikā tiek kontrolēts vai nav adresēts pieprasījums no bāzes stacijas. Šāds “miera” režīms samazina barošanas avota enerģijas patēriņu.

Ja bāzes stacija pārraida adresētu pieprasījumu, tad reģistrators atkarībā no saņemtās komandas “aktīvajā” režīmā:

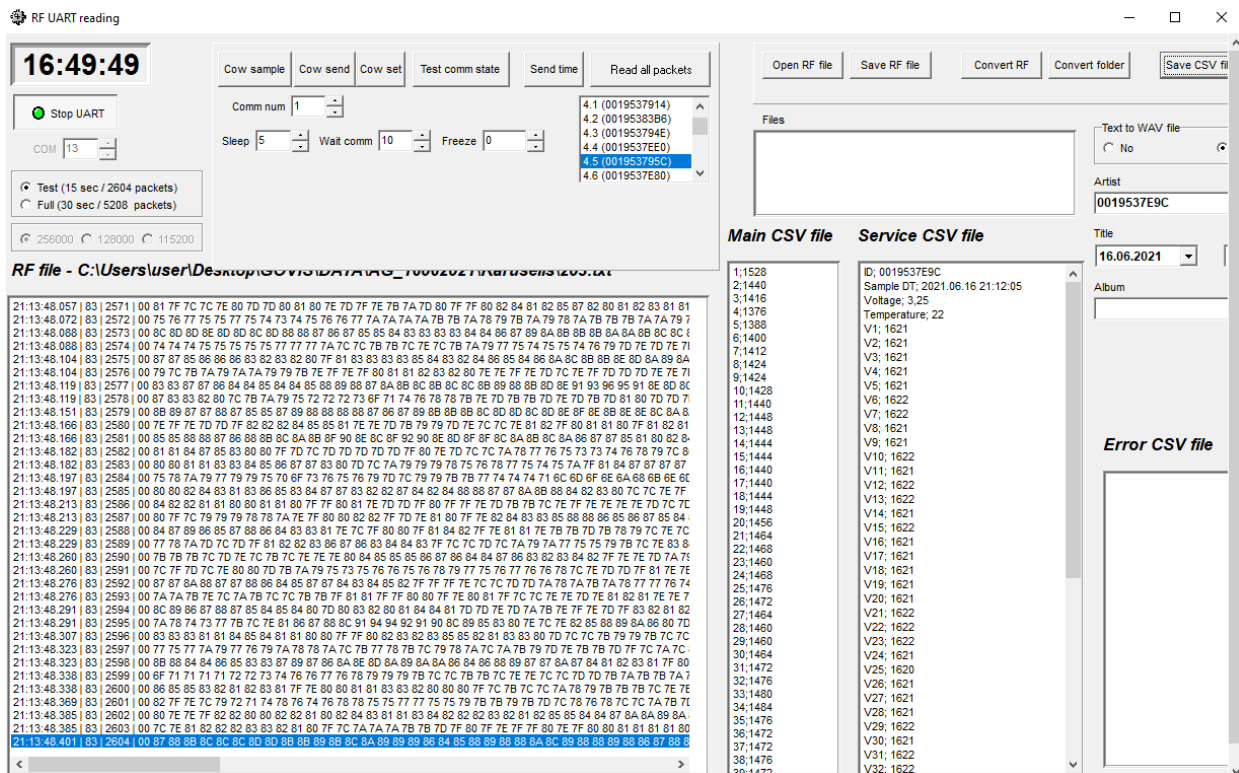
- izpilda nepieciešamās komandas : mērīšana; pārraide; parametru maiņa;
- maina (pārraksta) “aktīvā” laika režīma parametrus;
- piesaista reģistratoru reālā laika pulkstenim;
- pārraida savu adresi, reģistratoru reālā laika pulksteņa laiku (kontrolei), mērījumu datus.

Katram reģistratoram esam piesaistījuši unikālo kontroliera MAC 5 baitu adresi, kura tālāk tiek izmantota kā reģistratora adrese komunikācijā ar bāzes staciju. Strādājot sistēmā, šai adresei jābūt sasaistītai ar reālo bioloģisko objektu (govi un tās reģistrācijas numuru).

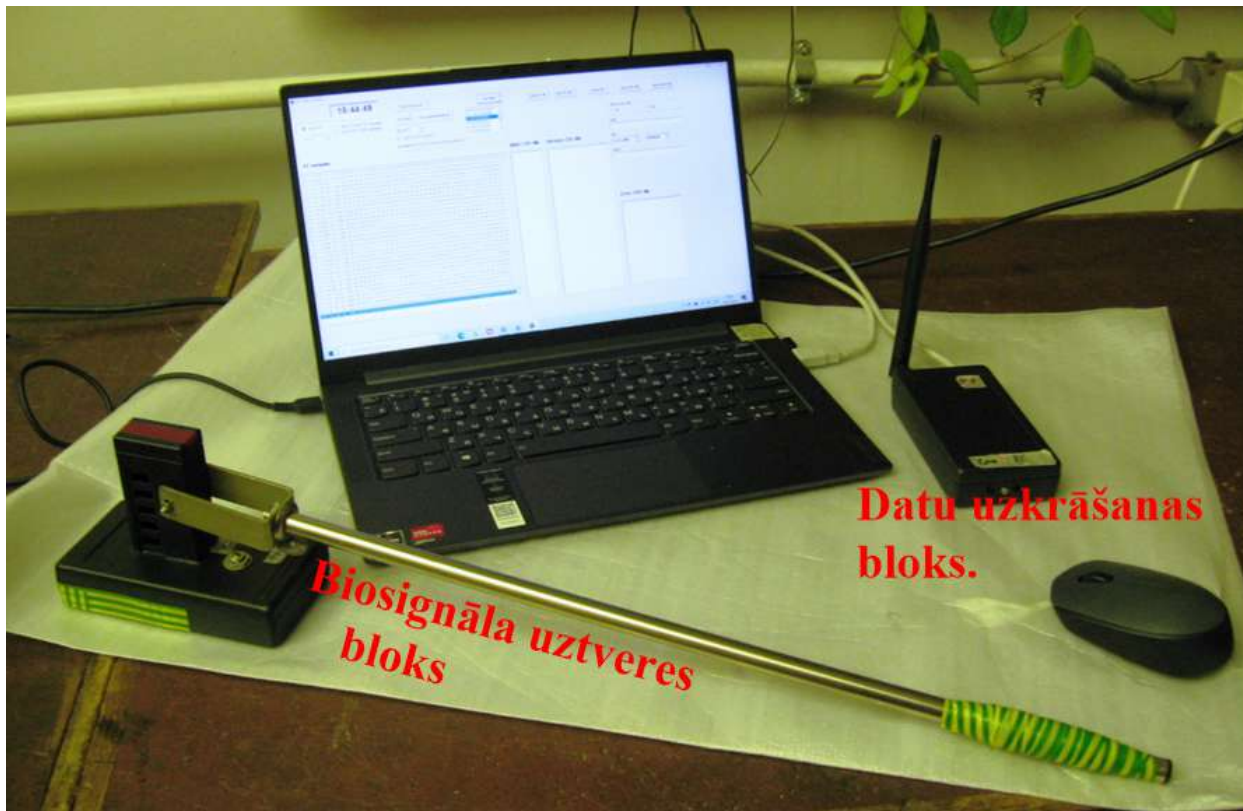
Programmu pilnveides rezultātā varam no datora “testa” programmas loga (skat Attēlu 10. zemāk) veikt:

- attālinātu biosignālu reģistratora parametru maiņu (aktīvais režīms; gaidīšanas režīms, gulēšanas laiks);

- nosūtīt komandu biosignāla reģistrācijai (veikt mērījumu);
- pieprasīt samērīto datu pārraidi uz bāzes stacijas kontrolieri;
- pārsūtīt bāzes stacijā uztvertos datus uz datoru un saglabāt txt formātā;
- konvertēt saglabātos datus csv un wav. formātos;
- kontrolēt pārraidīto komandu izpildes gaitu;
- varam veikt “ekspres” mērījumus, strādājot lokāli ar reģistrējošo ierīci.



Attēls 10. Programmas logs



Attēls 11. Ekspresdatu iegūšanas aprīkojums.



Attēls 12. Biosensoru korpusu izmēru attīstība



Attēls 13. Biosensoru elektronikas elementi tā iekšpusē

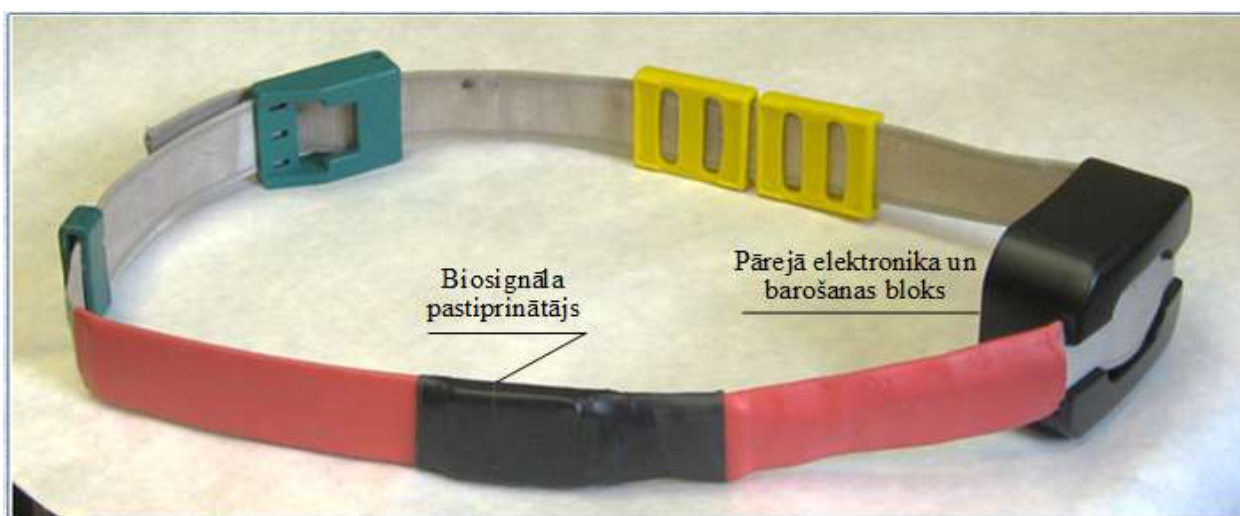
Pēc sākotnējās ieceres uz govju kakla esošās siksnas ar govju identifikācijas elementiem (govju numuri, RFID) papildus uzkarināt bioloģiskā signāla reģistratoru (sensoru). Biosignāls ir kvalitatīvāks, ja sensors labi pieguļ pie govju kakla. Praksē sensoram ir tendence ar visu siksnu pagriezties zemākajā stāvoklī. Lai siksnā ar sensoru atrastos vajadzīgajā vietā uz siksnas papildus nostiprinājām atsvaru. Bez tam izdevās samazināt sensora izmērus un svaru. Taču kā parādīja prakse, arī šāds risinājums ne vienmēr nodrošina labu reģistratora kontaktu ar govju kaklu.



Attēls 14. Biosensors ar atsvaru

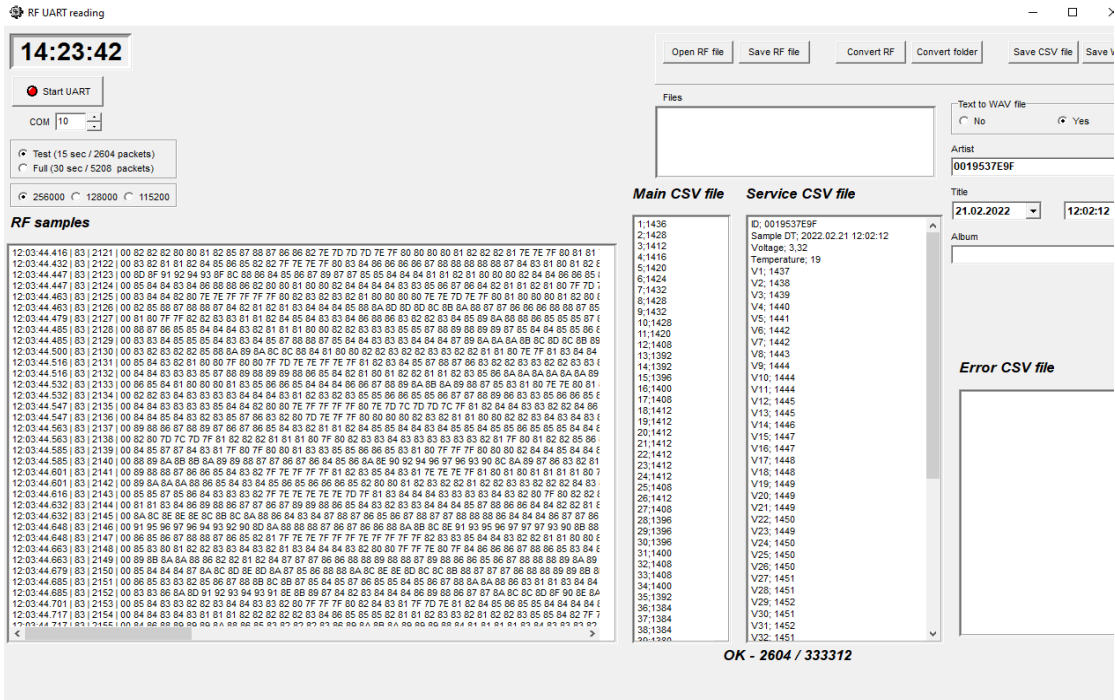


Attēls 15. Bisensora nostiprināšana ar atsvaru reālajā vidē - fermā

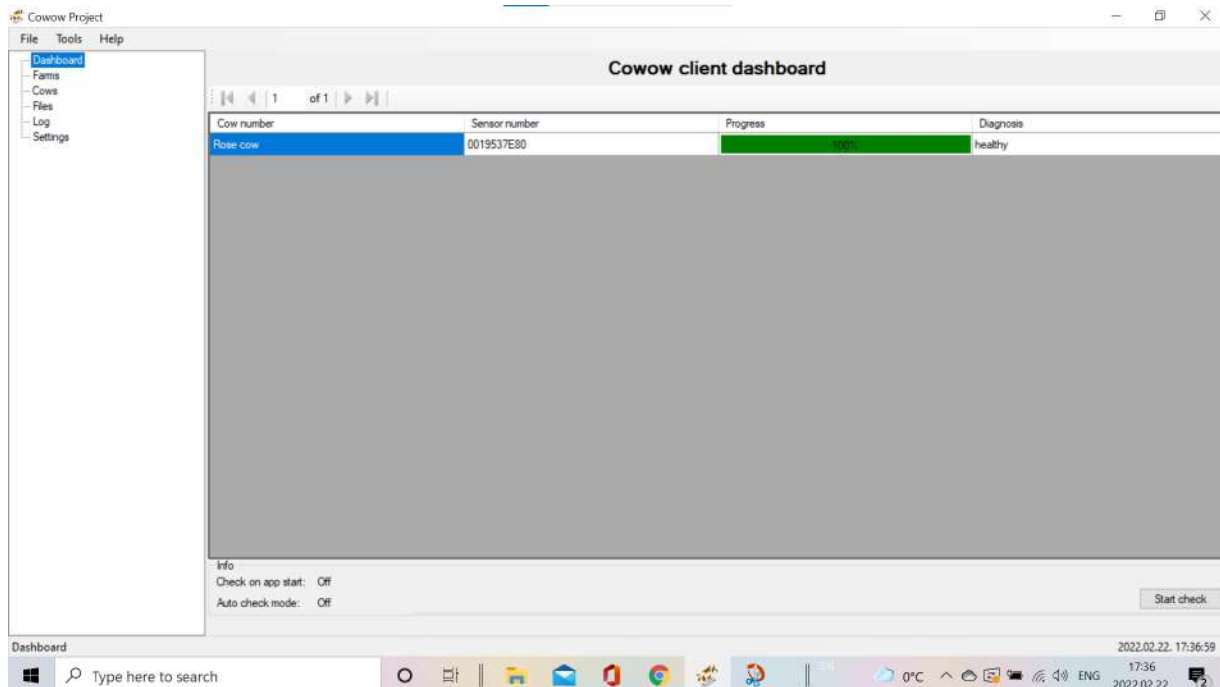


Attēls 16. Bisensora nostiprināšanas alternatīvais variants

Veicot “ekspres” biosignālu skenēšanu (govs biosignālu uztveršanu ar reģistratoru), radās nepieciešamība saīsināt kopējo viena biosignāla reģistrēšanas un saglabāšanas laiku. Sākotnēji bija nepieciešams 30 sekunžu laiks, kas ietver sevī 666666 mērījumus. Projekta gaitā tika uzlabota biosignāla datu analīzes programma (skat. Attēlus 17.& 18.) un analīzei pietiek ar īsāku biosignālu fiksēšanas laiku. Šobrīd kopējais laiks (mērīšana + pārsūtīšana pa radio kanālu + ievads un saglabāšana datorā) ilgst apmēram nepilnas 3 min., agrāko (5-6) min vietā un tas ir būtisks ieguvums ne tikai laika, datu apjoma, bet arī enerģijas ietaupījuma ziņā.



Attēls 17. Datorprogrammas logs Bāzes bloka kontroliera un datora saziņai pa UART.



Attēls 18. Administrēšanas un datu analīzes programmas parametru ievada logs

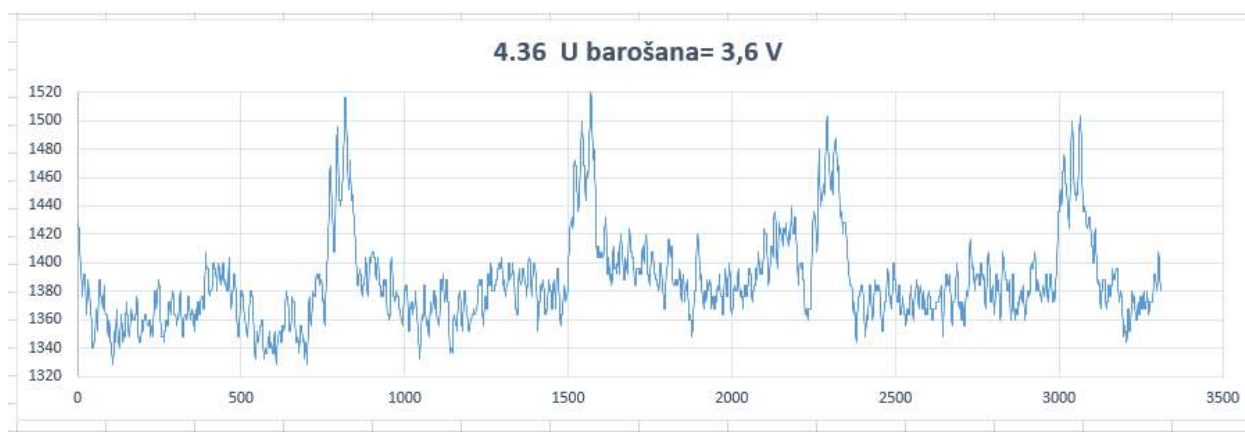
Kā minēts iepriekš, biosignāls ir nelielas amplitūdas un arī tā izmaiņas ir nelielas un reāli biosignāls tiek samērīts “komplektā ar apkārtējo fonu”.

Reģistratora kontrolierī iebūvēts 12 bināro kārtu ACP (analog-s cipars pārveidotājs), respektīvi, tas ietver 1,5 datu baitus (vērtības (0- 4095)). Būtībā tas nozīmē, ka reģistratora atmiņā jāsauglabā un pēc tam jāpārraida divi datu baiti katram mērījumam, kas rada 2x lielāku datu apjomu. Sašaurinot mērīšanas diapazonu, nobīdot to uz reālo biosignāla izmaiņas apgabalu un matemātiski pārrēķinot, panācām, ka katram mērījumam tiek izmantots viens datu baits. Tika sasniegta nedaudz labāka biosignālu reģistrēšanas izšķirtspēju un divas reizes samazināta pārsūtāmo datu plūsmu.

Izmēru ziņā lielākā un smagākā komponente ir barošanas avots: sākotnējā variantā ietilpīgs litija-jonu akumulators ar vairākkārtēju uzlādes iespēju, bet vēlāk, samazinot reģistratora izmērus, litija baterija.

Pāreja no akumulatora uz bateriju radījušas papildus problēmas: baterijas spriegums ir nedaudz mazāks $\sim 0,5$ V, bet baterijas iekšējā pretestība nedaudz lielāka, līdz ar to mainīgas slodzes apstākļos (pie dažādiem reģistratora darbības režīmiem) mainās kopējais kontroliera barošanas spriegums, kas atstāj ietekmi uz ACP signālu.

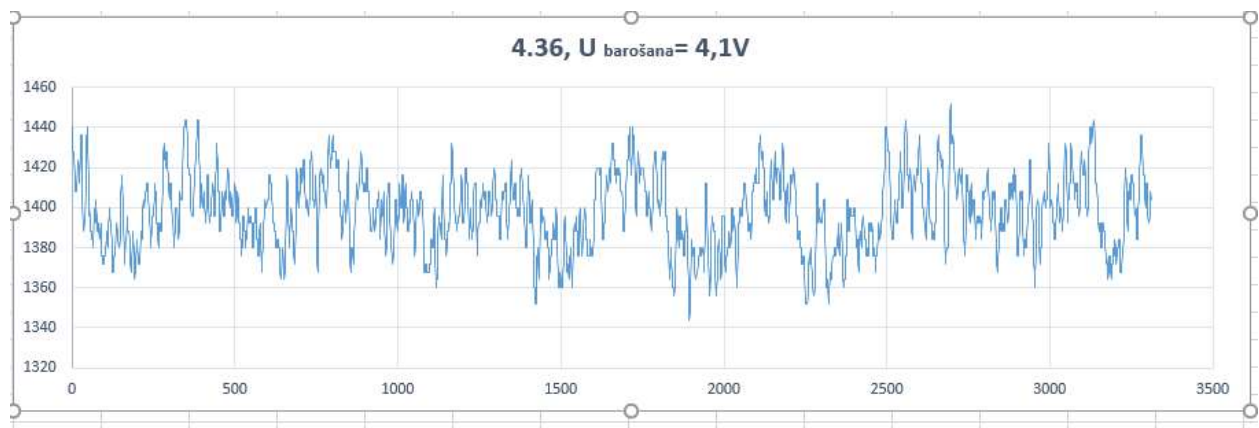
Zemāk esošie grafiki (Attēls 19.) parāda atšķirību samērīto signālu formās, barojot reģistratoru no akumulatora un no baterijas.



Attēls 19. Atšķirība samērīto signālu formās (a)

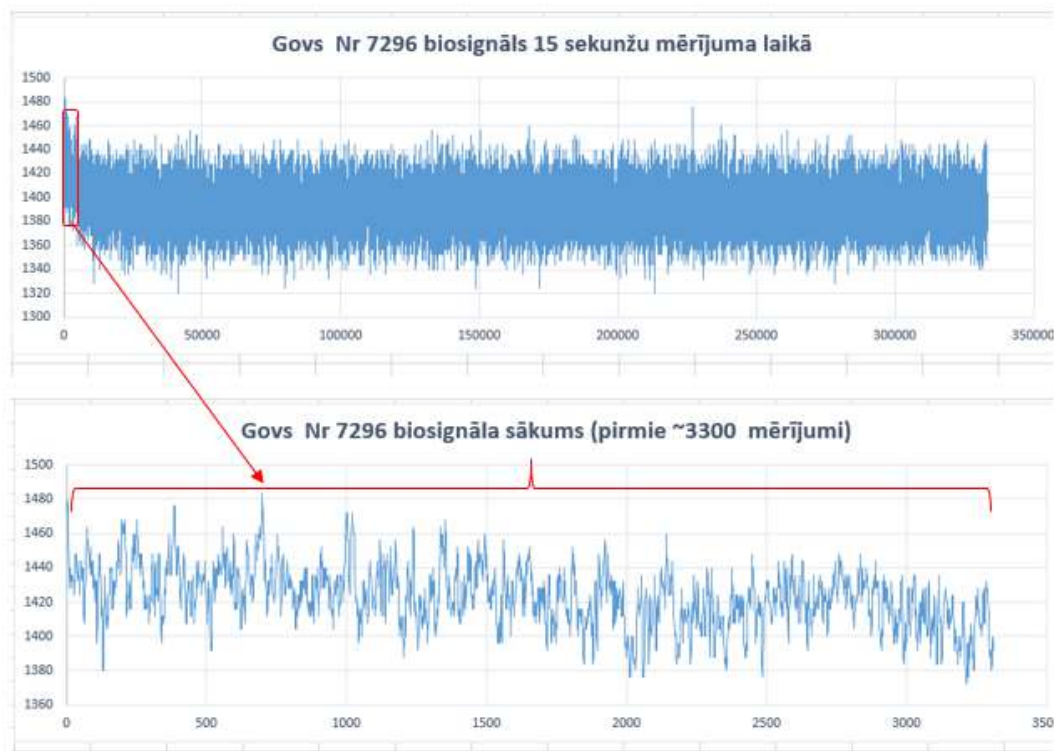
Baterijas lietošanas gadījumā paralēli baterijai jāliek kondensators, kura kapacitāte ir ar kārtu 0,1F. Tas būtiski samazina avota rezultējošo iekšējo pretestību. Kondensātoram jābūt ar ļoti mazām noplūdēm.

Piemērotu akumulatoru ar baterijai ekvivalentiem izmēriem atrast neizdevās.



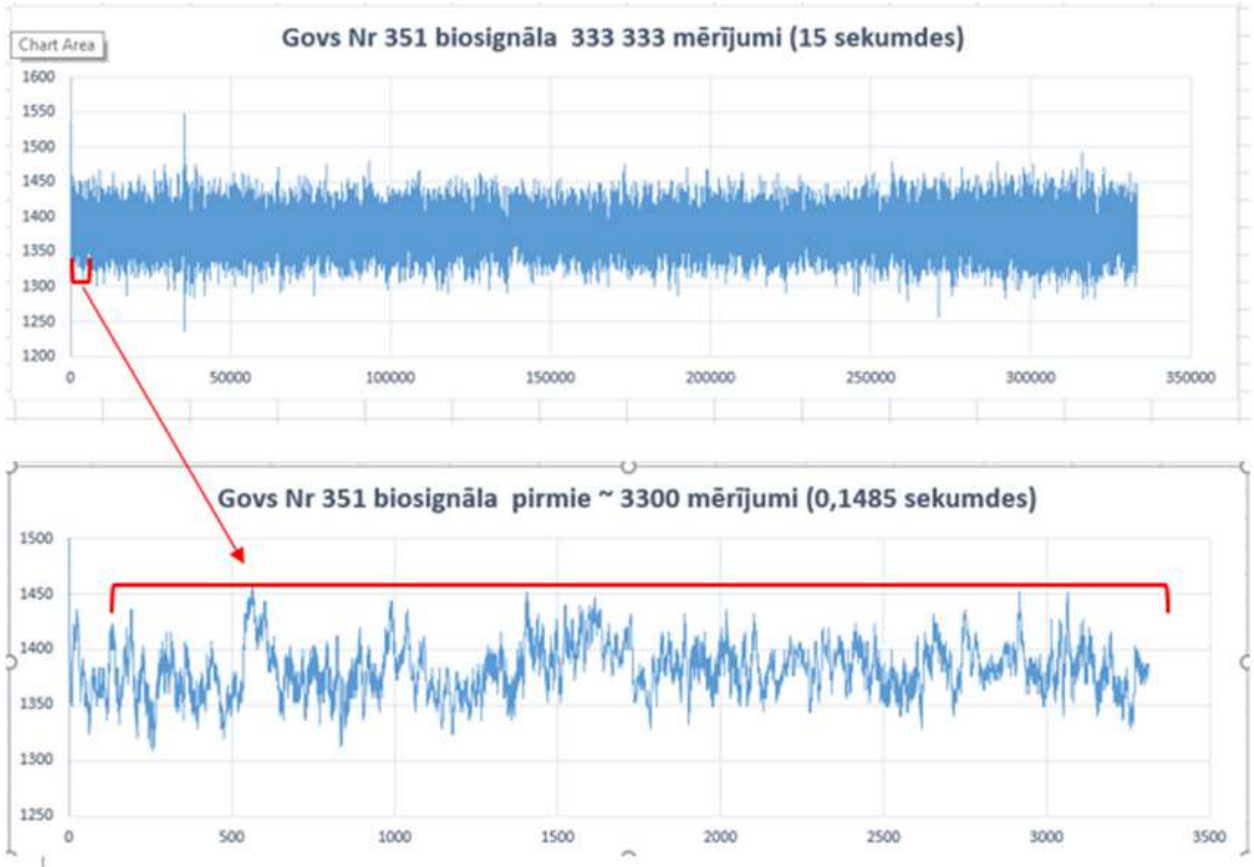
Attēls 19. Atšķirība samērīto signālu formās (b)

Ņemot vērā ka fermas apstākļos elektromagnētiskie traucējumi ir krietni lielāki nekā jebkurā laboratorijā, tādejādi var iegūt kvalitatīvākus mērījumus. Daži piemēri (Skat. Attēlus 20. (a); 20. (b); 20. (c)) Bioloģiskā objekta (7296) biosignāls (15 sekunžu mērījums: 333 333 mērījumi ar takts frekveci 22kHz).

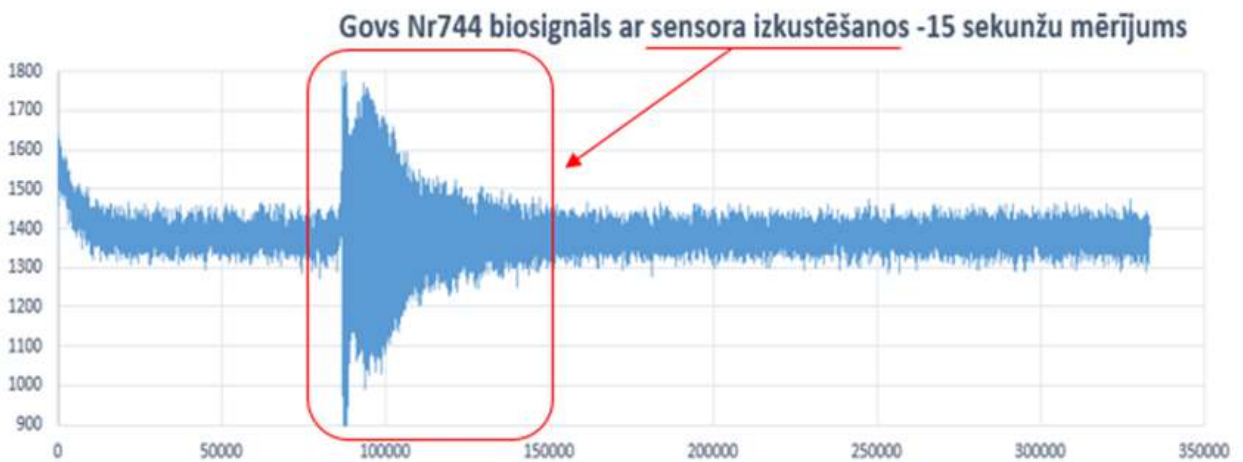


Attēls

Attēls 20.(a) Bioloģiskā objekta (gov 7296) biosignāla piemērs



Attēls 20.(b) Bioloģiskā objekta (gov 7296) biosignāla piemērs



Attēls 20.(c) Bioloģiskā objekta (gov 7296) biosignāla piemērs

3. Datu apstrāde

Tika sagatavots datu kopums, lai apmācītu mašīnmācības modeli. Izmantojot izstrādāto sensoru, tika savākti signāli ar ilgumu 15 sekundes. Datu kopums tika iedalīts trīs klasēs: veselās govīs, preklīniskais mastīts un mastīts. Kopumā tika aprēķināti dati par vairāk nekā 600 govīm. Lielākais izaicinājums bija apmācīt mašīnmācīšanās modeli, lai sensora rezultātus korelētu ar vienu no trim klasēm. Modeļa apmācības process sastāv no trim galvenajiem posmiem:

- Datu apstrāde
- Iezīmju izvilksana
- Modeļa apmācība par iepriekš apstrādātiem datiem.

Šajā posmā tika atrisināti šādi uzdevumi:

- a) signālu nulles pārbaude (signāla pazušanas vietu meklēšana) un signālu atgūšana gadījumos, kad tika konstatēts datu zudums;
- b) signālu normalizācija un standartizācija.

Datu zudumu signālā nosaka fakts, ka maksimālā vērtība ir 0 vai 4095. Datu novērtējums ir parādījis, ka ir signāli ar zaudētiem datiem. Datu analīzē ir vairākas pieejas, lai atrisinātu nulles vērtību iegūšanas problēmu. Visbiežāk tiek dzēsts gadījums ar nulli vai līdzeklis, kas dažādos piemēros izmanto nulles vērtības, tiek dzēsts. Runājot par datiem ar signāliem, tika nolemts atgūt zaudētos datus. Tā kā katras datu paketes garums signālā ir 128, tika nolemts, ka, lai atgūtu zaudētos datus, visi signāli tiks sadalīti daļās ar garumu 128. Lai apmācītu modeli zaudēto datu atgūšanai signālā, tika darīts sekojošais. Tika sagatavota datu kopa, no signāliem ekstrahējot 128 punktu daļas saskaņā ar šādu algoritmu. Pieņemsim, ka X ir signālu masīvs ar 128 punktu garumu, y ir etiķešu masīvs, vērtības, kuras signāls izvēlas pirmajā punktā pēc masīva no X . Turklāt visiem signāliem no galvenās datu kopas tiek piemērots šāds algoritms.

Pieņemsim, ka X ir signālu masīvs ar 128 punktu garumu, y ir etiķešu masīvs, vērtības, kuras signāls izvēlas pirmajā punktā pēc masīva no X . Turklāt visiem signāliem no galvenās datu kopas tiek piemērots šāds algoritms:

$i = 0$

k - pirmo 128 punktu vērtību masīvs, v = pirmā punkta vērtība pēc masīva k

Ja neesam sasnieguši signāla beigas un k un v nesatur nulles vērtības, tad $X[i] = k$, $y[i] = v$, pārejiet uz 6. darbību.

Ja k vai v ir tukšas vērtības, pārejiet uz 7. darbību

Ja esam sasnieguši signāla beigas, tad apstājieties.

$i = i + 1$

k - signāla 128 maksimumu vērtība ar nobīdi par soli, kas vienāda ar 1

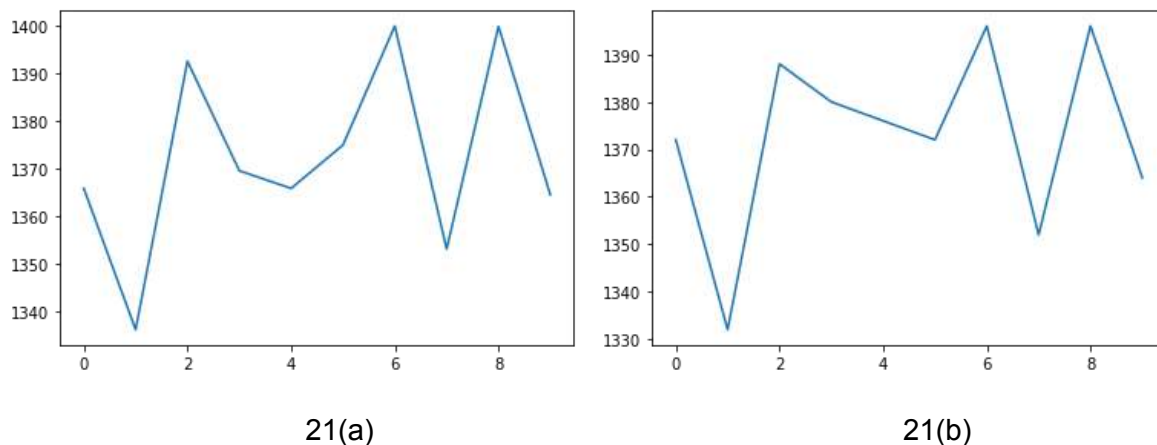
v = pirmā punkta vērtība pēc masīva k

pārejiet uz 3. darbību.

Apskatīsim piemēru. Pieņemsim, ka mums ir signāls, kas satur šādas vērtības [1, 2, 4, 6, 8, 12, 34, 12, 13, 14]. Mums no tā jā sastāda 3 garu signālu datu kopa, ko var izmantot zaudēto vērtību atgūšanai. Algoritma piemērošanas rezultātā mēs iegūsim šādas X un Y masīvu vērtības:

[1, 2, 4] -> [6]
[2, 4, 6] -> [8]
[4, 6, 8] -> [12]
[6, 8, 12] -> [34]
[8, 12, 34] -> [12]
[12, 34, 12] -> [13]
[34, 12, 13] -> [14]

Neironu tīkls tika apmācīts, lai atgūtu signālā zaudētās vērtības. Attēlā 21.(a) un (b) ir parādīti atgūtā signāla (21.(a)) un oriģināla (21.(b)) fragmenti. Atšķirība starp tām ir minimāla.



Attēls 21. Biosignāla atjaunošanas piemērs

Pēc zaudēto signāla vērtību atgūšanas MinMaxScaler modelis no scipy bibliotēkas tika apmācīts, lai normalizētu signālu.

3.1. Iezīmju izvilšana

Pēc tam, kad signāli tika normalizēti, tika apmācīts konvolucionālais neironu tīkls (CNN). Pirms apmācības procedūras turpināšanas tika veiktas darbības, lai iegūtu funkcijas. Šim nolūkam tika izmantota galveno komponentu analīze un tās ieviešana Python.

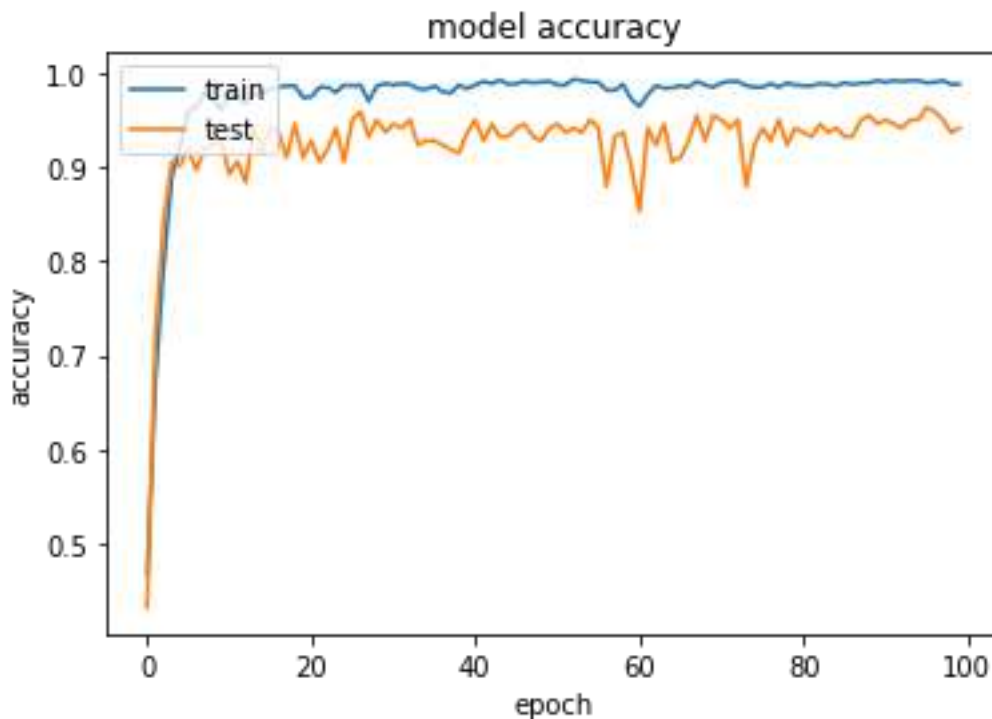
Punktu kopas galvenās sastāvdaļas reālā koordinātu telpā ir p vienību vektoru secība, kur i-tais vektors ir līnijas virziens, kas vislabāk atbilst datiem, vienlaikus esot ortogonāls pirmajiem i-1 vektoriem. Šeit vislabāk atbilstošā līnija tiek definēta kā tāda, kas samazina vidējo kvadrātveida attālumu no punktiem līdz līnijai. Šie virzieni veido ortonormālu pamatu, kurā dažādas datu individuālās dimensijas ir lineāri nekorelētas. Principal component analysis (PCA) (*Abdi & Williams, 2010*) ir galveno komponentu aprēķināšanas process un to izmantošana, lai veiktu

datu bāzes maiņu, dažreiz izmantojot tikai dažus pirmos galvenos komponentus un ignorējot pārējos. PCA tiek izmantots izpētes datu analīzē un prognozēšanas modeļu veidošanā. To parasti izmanto izmēru samazināšanai, projicējot katru datu punktu tikai uz dažiem pirmajiem galvenajiem komponentiem, lai iegūtu zemākas dimensijas datus, vienlaikus saglabājot pēc iespējas vairāk datu variāciju. Pirmo galveno komponentu var līdzvērtīgi definēt kā virzienu, kas maksimāli palielina projicējamo datu dispersiju. I-to galveno komponentu var uzskatīt par virzienu, kas ir ortogonāls pirmajam i-1 galvenajam komponentam, kas maksimāli palielina projicējamo datu dispersiju.

3.2. Modeļu apmācība par iepriekš apstrādātiem datiem

Visi signāli tika pārveidoti par vektoriem, kuru garums ir vienāds ar 300. Konvolūcijas neironu tīkls (CNN) (Albawi et al., 2017) tika uzbūvēts un apmācīts. Tīklam ir 3 konvolūcijas slāņi ar maksimālo aptauju, 5 pilnībā savienoti slāņi ar 3 klasēm CNN izejā. Tika izmantoti 100 periodus, lai tie atbilstu CNN modelim.

22. attēlā redzams, kā pielāgošanas procesa laikā mainās precizitātes vērtība. Zilā līnija atbilst CNN modeļa novērtējumam apmācību datu kopā, oranžā līnija atbilst CNN modeļa novērtējumam testa datu kopā izmantojot savstarpējās validācijas metodi (Schaffer, 1993)



Attēls 22. Precizitātes vērtības atspoguļojums

Pētījuma beigās izdevās iegūt precizitāti 93%.

Atsevišķi tika veikti eksperimenti ar govīm, kurām tika veikti testi, lai identificētu baktērijas, kas ir mastīta pazīmes. Kopējais govju skaits ir 34. Apmācībai tika izmantoti šādi klasifikācijas algoritmi: Random Forest (Van Essen et al., 2012) Logistic Regression (Liao et al., 2005) un

Support Vector Machine (SVM) (Huang et al., 2013). Neironu tīkli netika izmantoti mazā datu apjoma dēļ. Labākais klasifikācijas modelis tika izvēlēts, izmantojot krusteniskās validācijas algoritmu (Schaffer, 1993). Lai to realizētu, datu kopums tika sadalīts trīs daļās. Tabulā parādīti augstāk minēto klasifikācijas algoritmu darba rezultāti. Novērtējums tika veikts, izmantojot F1 punktu skaitu un precizitāti.

Metode	F1 rezultāts	Precizitāte
Random forest	0.67	0.77
Logistic regression	0.92	0.96
Support Vector Machine -SVM	0.75	0.84

4. Govju atlases kritēriju sastādīšana

Viena no nozīmīgākajām problēmām piena liellopu ganāmpulkos ir mastīts, ar kuru slimo vairāk nekā 20% govju (Maréchal et al., 2011), pie tam vislielākos ekonomiskos zaudējumus rada kontagiozie mastītu ierosinātāji (Streptococcus agalactiae, Staphylococcus aureus, Mycoplasma bovis) un pret antibiotikām rezistentu mikroorganismu klātbūtne. Lai pētījuma laikā iegūtu datus par subklīniskā mastīta ierosinātāju fona un kontagiozo slimības ierosinātāju izplatību piena ražošanas saimniecībās, SIA „Agro-Kaķenieki” tika atlasītas govīs ar paaugstinātu somatisku šūnu skaitu (subklīniska mastīta ainu). Pētījums tika organizēts lielā piena ražošanas saimniecībā ar 960 slaucamām govīm, kur govju slaukšana notiek karuseļa tipa slaukšanas iekārtā. Izveidota un testēta 30 govju grupa atbilstoši šādiem iekļaušanas un noraidīšanas kritērijiem:

1. Pētījuma grupā iekļauj tikai 2., 3. un 4. laktācijas govīs;
2. Pētījumā neiekļauj govīs, kurām ir pēdējais laktācijas mēnesis;
3. Pētījumā neiekļauj govīs, kurām uzsākta mastīta vai citu slimību ārstēšana.

Piena paraugu iegūšanas principi:

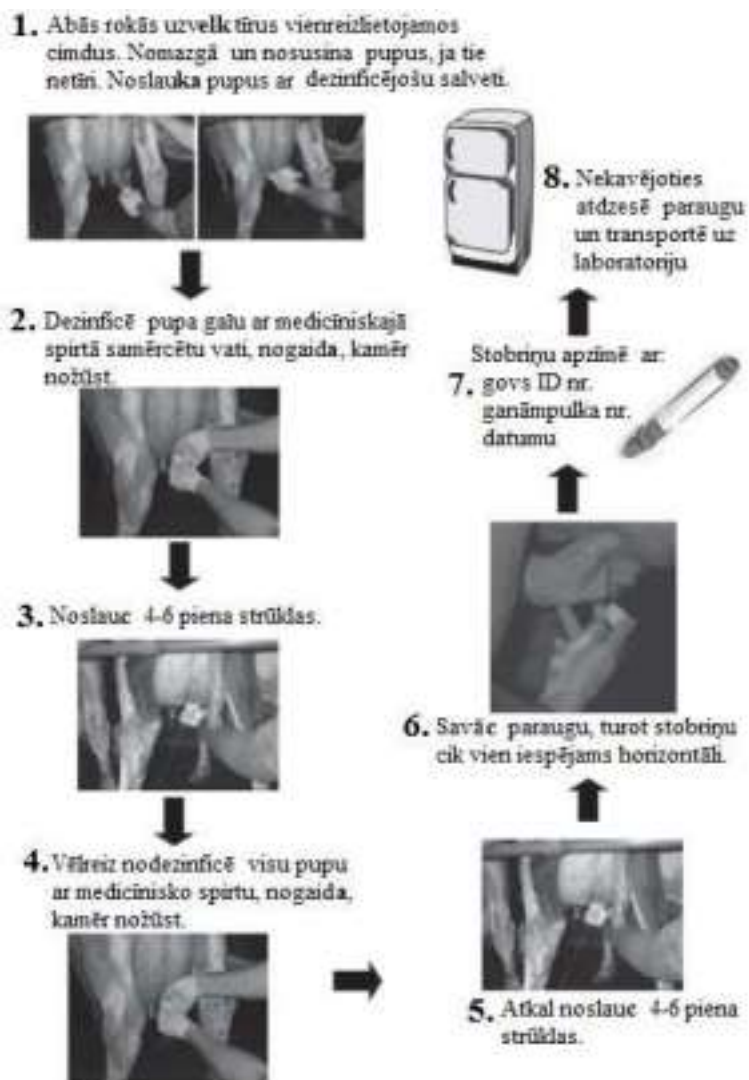
- Desmit dzīvniekus izvēlējāties no govīm bez aizdomām uz subklīnisku mastītu, t.i., somatisko šūnu skaits mazāks par 200 000 š./ml (skat. 5.tabulu);
- Desmit dzīvniekus izvēlējāties no govīm ar iespējamu subklīnisku mastītu, jo somatisko šūnu skaits pienā ir no 250 000 līdz 400 000 š./ml (skat. 6.tabulu);
- Desmit dzīvniekus izvēlējāties no govīm ar augstu subklīniska mastīta iespējamību, kurām somatisko šūnu skaits virs 400 000 š./ml (skat. 7.tabulu).

Ar subklīnisku mastītu slimu govju piena paraugu aseptiska iegūšana, ierosinātāju kā biomarkieru izolēšana, identifikācija, antibiotiku rezistences noteikšana

Tādējādi - 2020. gada sākumā piena ražošanas saimniecībā kopumā ņemti un izmeklēti 30 slaucamo govju (10 veselu un 20 ar subklīnisku mastītu aizdomīgu) ceturkšņu piena paraugi (kopumā 117 paraugi).

Izmantotā metodika:

Piena paraugi iegūti pēc zemāk 23. attēlā demonstrētās aseptikas metodes:



Attēls 23. Piena paraugu ņemšanas tehnika (pēc Bradley, 2012)

Katrs transport-stobriņā ņemtais piena paraugs LLU Biotehnoloģiju zinātniskās laboratorijas (LLU BZL) Molekulārās bioloģijas un Mikrobioloģijas nodaļas (MBMN) laboratorijā tālākai bakterioloģiskai izmeklēšanai vispirms tika aseptiski uzņemti uz sekojošām barotnēm: asins agara (Blood agar), Baird Parker agara (Baird Parker agar), kristālvioletā - neitrālsarkanā - žults - glikozes agara (Violet Red Bile Glucose agar), MacConkey agara, Tryptona žults glikurona jeb TBX agaru (Tryptone Bile X-glucuronide medium (Oxoid, Lielbritānija), t.i., Petri platē (ø 90 mm) uzņemto kultūru vienmērīgi izklāja pa visu barotnes virsmu tā, lai nepieskartos plates sānu malām. Tad sagatavotās plates tika ievietotas termostatā inkubēties $37 \pm 1^\circ\text{C}$ temperatūrā $24 - 48 \pm 2$ h.

Paralēli visiem piena paraugiem tika arī veikta CMT (Kalifornijas mastīta tests) reakcijas pārbaude. Pēc inkubācijas perioda uzsētajām platēm tika novērtēta baktēriju kultūru augšana. Jauktas audzes gadījumā iegūtās baktēriju kultūras tika vēlreiz pārsētas uz iepriekš minētajām barotnēm (Gram(+)) koki arī uz žults eskulīna agara) un veikta atkārtota inkubācija 37 ± 1 °C temperatūrā $24 - 48 \pm 2$ h.

Ja uz asins agara platēm pārsējot izolējām mazāk nekā 3 sugu mikroorganismus, veicām visu baktēriju izolātu identifikāciju, bet, ja uz platēm bija vairāk nekā 3 sugu mikroorganismi, novērtējām, vai kādi no tiem pieder pie galvenajiem patogēnajiem mastītu ierosinātājiem: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. un *Trueperella pyogenes*. Ja kāda no uzskaitītajām mikroorganismu sugām tika identificēta, tad paraugs tika atzīts par pozitīvu uz iepriekš minētajiem galvenajiem nosacīti patogēnajiem mikroorganismiem, bet pārējās mikroorganismu kultūras reģistrējām kā pamatfloru. Ja no parauga tika izolētas 3 vai vairāk dažādu mikroorganismu kolonijas un neviena no tām nepiederēja pie nosauktajām mastītu patogēnu sugām, tad paraugs, saskaņā ar autoru Hawkins un Cooper ieteikumiem, tika atzīts par kontaminētu (Hawkins & Cooper, 2014).

Iegūto baktēriju tīrkultūru tālākai identifikācijai tika izmantots – uztriepju sagatavošana un krāsošana pēc Grama metodes; oksidāzes tests, katalāzes tests, indola tests, stafilokokiem – koagulāzes tests.

Iegūto baktēriju izolātu identifikācija līdz sugas līmenim tika veikta, izmantojot identifikācijas iekārtas MALDI - TOF MS un VITEK 2 (bioMérieux, Francija).

Antibiotiku jutības noteikšana baktēriju izolātiem tika veikta, izmantojot Kirby-Bauer disku difūzijas metodi un rezultāti novērtēti, saskaņā ar CLSI standarta (CLSI, 2010) prasībām un antibiotiku disku ražotāja rekomendācijām. Baktēriju izolātiem jutība tika noteikta pret sekojošām antibiotikām – amoksicilīnu (AML; 25 µg), ampicilīnu (AMP; 10 µg), cefotaksīmu (CTX; 30 µg), oksitetraciklīnu (OT; 30 µg), penicilīnu G (P; 10 µg); trimetoprim-sulfa ((Co-trimoxazole) (SXT; 25µg)). Jutības noteikšanai in vitro izmantojām Oxoid™ (Thermo Scientific) firmas antibiotiku diskus.

4.1. Iegūtie bakterioloģiskās testēšanas rezultāti

No govīm ar dažādu SŠS, bakterioloģiskās testēšanas rezultāti rāda (skat. 5., 6. un 7.tabulu), ka ~ 90% gadījumos prevalējošā mikroflora pienā ir koagulāzes negatīvo stafilokoku (KNS) pārstāvji un tikai nelielā daļā gadījumos – mastīta ierosinātāji *Streptococcus uberis*, *Streptococcus Dysgalactiae*. Izvērtējot no piena izolēto mikroorganismu antibiotiku rezistenci, iegūtie rezultāti redzami 8., 9. un 10. Tabulā. Tā kā bakterioloģiskie rezultāti neapstiprina paaugstinātā somatisko šūnu skaita ciešo korelāciju ar mastīta ierosinātāju klātbūtni pienā, tad papildus tika veikta atlasītajām govīm ceturkšņupiena paraugu bakterioloģiska izmeklēšana dinamiskā (1., 7. un 14.dienā), vienlaicīgi nosakot tajā pašā dienā ņemtajam pienam SŠS (tādējādi pārraudzības dati kalpo tikai kā govju atlases indikators). Iegūtie piena paraugu bakterioloģiskie rezultāti redzami 11. Tabulā. Paralēli tika veikta arī no piena paraugiem izolēto baktēriju antibiotiku rezistences noteikšana.

5. tabula

No govīm ar SŠS mazāk nekā 200 tūkst.šūnas/ml (par kurām nav aizdomu uz mastītu) atlasītas 10 govīs mastīta diagnostikai

Dzīvnieka numurs	Vārds	Laktācija	Šķirne	Slaukš. dienas	SŠS	nr. ausī	Bakterioloģiski izolētie ierosinātāji				Mastīts
							1.ceturksnis	2.ceturksnis	3.ceturksnis	4.ceturksnis	
LV012359516183	SAULRIETA	2	HM	83	123	6183	negatīvs	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	negatīvs	nav
LV012359516126	OMA	2	HM	35	9	6126	negatīvs	negatīvs	KNS	KNS	nav
NL680957797	JETH, MARIE 218	3	HM	29	2	5779	negatīvs	KNS	Aerococcus viridans; Bacillus spp	negatīvs	nav
LV012359516125	LIEPA	2	HM	36	7	6125	Staphylococcus sciuri	negatīvs	negatīvs	negatīvs	nav
LV044651415774	LAMIJA	2	HS	25	27	5774	negatīvs	negatīvs	negatīvs	negatīvs	nav
LV012359516223	REINA	2	HM	35	30	6223	negatīvs	Aerococcus viridans	Proteus mirabilis	negatīvs	nav
LV012359515993	TEIKSMA	2	HM	79	194	5993	negatīvs	KNS	Staphylococcus chromogenes	E. coli	nav
LV012359516090	PAPARDE	2	HM	26	20	6090	negatīvs	negatīvs	Aerococcus viridans	Staphylococcus chromogenes	nav
LV012359516099	PAIPALA	2	HM	38	8	6099	negatīvs	negatīvs	negatīvs	neg	nav
LV012359515022	DOLE	3	HM	379	124	5022	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	nav

6. tabula

No govīm ar SŠS no 250 līdz 400 tūkst.šūnas/ml atlasītas 10 govīs mastīta diagnostikai

Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Šķirne	Slaukš. dienas	SŠS	nr. ausī	Bakterioloģiski izolētie ierosinātāji				mastīts
							1.ceturksnis	2.ceturksnis	3.ceturksnis	4.ceturksnis	
NL744220049	DINA 298	2	XP	459	372	2004	negatīvs	negatīvs	Corynebacterium bovis	Corynebacterium bovis	subklīnisk
LV012359515965	GĀRSA	2	HM	191	294	5965	KNS	Staphylococcus sciuri; Providentia stuartii	Staphylococcus haemolyticus	negatīvs	subklīnisk
NL655857013	MARLY 362	3	HM	201	280	5701	Aerococcus viridans	Bacillus spp.	KNS	KNS; Aerococcus viridans	nav
LV012359515699	FANTA	2	HM	407	316	5699	Aerococcus viridans	negatīvs	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	nav
NL644137997	ADA 78	2	HM	424	258	3799	Staphylococcus haemolyticus	X	negatīvs	Staphylococcus haemolyticus	subklīnisk
NL668885717	RIEK 62	2	HS	354	312	8571	negatīvs	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	negatīvs	nav
NL948234167	TRESA 628	2	HM	611	333	3416	Bacillus spp.	KNS	KNS; Aerococcus viridans	KNS; Corynebacterium bovis	subklīnisk
NL918628284	MACA 68	2	HM	344	326	2828	negatīvs	Streptococcus uberis	negatīvs	negatīvs	subklīnisk
LV012359514843	GAUJA	4	HM	163	284	4843	X	KNS	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	nav
LV012359515833	TORPĒDA	2	HM	277	292	5833	Aerococcus viridans	KNS	Corynebacterium bovis	KNS	nav

No govīm ar SŠS virs 400 tūkst.šūnas/ml atlasītas 10 govīs mastīta diagnostikai

Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Šķirne	Slaukš. dienas	SŠS	nr. ausī	Bakterioloģiski izolētie ierosinātie				mastīts
							1.ceturksnis	2.ceturksnis	3.ceturksnis	4.ceturksnis	
LV012359515148	SIETLA	3	HM	179	6506	5148	Staphyl. chromogenes	Staphylococ. chromogenes	Corynebacterium bovis	KNS	subklīnisk s
NL687128251	HENNY 58	2	HM	325	767	2825	KNS	Staphylococcus sciuri	Staphylococcus chromogenes; Bacillus spp	KNS	subklīnisk s
NL948234282	TOOSJE 127	3	HS	217	448	3428	negatīvs	Staphylococ. hromogenes	Staphylococcus chromogenes; Streptococcus uberis	negatīvs	subklīnisk s
LV012359515791	JŪRA	2	HM	367	430	5791	Enterococcus spp.; Psychrobacter faecalis	Bacillus spp.	Streptococcus uberis	KNS	subklīnisk s
LV006155019544	GOLDE	2	XP	287	468	9544	neg	negatīvs	negatīvs	negatīvs	nav
LV012359516035	VOLGA	2	HM	194	857	6035	Staphylococ. hromogenes	negatīvs	Staphylococcus chromogenes	Streptococcus dysgalactiae	subklīnisk s
LV012359515118	VARAVĪKSNĒ	3	HM	411	669	5118	Staphylococ. hromogenes; Escherichia coli	Streptococcus uberis	Streptococcus uberis; Escherichia coli	negatīvs	subklīnisk s
LV012359514804	MĪKLA	2	HM	469	403	4804	KNS	negatīvs	negatīvs	negatīvs	nav
LV012359515317	GEIŠA	3	HM	179	518	5317	negatīvs	negatīvs	negatīvs	Staphylococ. hyicus	subklīnisk s
LV012359514333	VIKTORĪNA	4	HM	164	1904	4333	negatīvs	X	Staphylococcus sciuri	negatīvs	subklīnisk s

No piena izolēto baktēriju antibiotiku rezistence - govīm ar SŠS mazāk nekā 200 tūkst.šūnas/ml

Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Šķirne	Slaukš. dienas	SŠS	nr. ausī	izolāts	AML	AMP	CTX	OT	P	SXT
LV012359516183	SAULRIETA	2	HM	83	123	6183	Staphylococcus chromogenes	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359516126	OMA	2	HM	35	9	6126	KNS	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL680957797	JETH. MARIE 218	3	HM	29	2	5779	Aerococcus viridans	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359516125	LIEPA	2	HM	36	7	6125	Staphylococcus sciuri	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359516223	REĪNA	2	HM	35	30	6223	Proteus mirabilis	jutīgs	rezistents	rezistents	rezistents	rezistents	jutīgs
LV012359515993	TEIKSMA	2	HM	79	194	5993	Staphylococcus chromogenes	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
							Escherichia coli	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs
LV012359516090	PAPARDE	2	HM	26	20	6090	Staphylococcus chromogenes	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359515022	DOLE	3	HM	379	124	5022	Staphylococcus chromogenes	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs

9. tabula

No piena izolēto baktēriju antibiotiku rezistence - govīm ar SŠS no 250 līdz 400 tūkst.šūnas/ml

Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Šķirne	Slaukš. dienas	SŠS	nr. ausī	izolāts	AML	AMP	CTX	OT	P	SXT
NL744220049	DINA 298	2	XP	459	372	2004	<i>Corynebacterium bovis</i>	rezistents	rezistents	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs
LV012359515965	GĀRSA	2	HM	191	294	5965	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	jutīgs	rezistents	rezistents	jutīgs	rezistents	jutīgs
							<i>Providentia stuartii</i>	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL655857013	MARLY 362	3	HM	201	280	5701	<i>Aerococcus viridans</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	videji jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359515699	FANTA	2	HM	407	316	5699	<i>Staphylococcus chromogenes</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL644137997	ADA 78	2	HM	424	258	3799	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL668885717	RIEK 62	2	HS	354	312	8571	<i>Staphylococcus chromogenes</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL948234167	TRESA 628	2	HM	611	333	3416	<i>Aerococcus viridans</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL918628284	MACA 68	2	HM	344	326	2828	<i>Streptococcus uberis</i>	rezistents	rezistents	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs
LV012359514843	GAUJA	4	HM	163	284	4843	<i>Staphylococcus chromogenes</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359515833	TORPĒDA	2	HM	277	292	5833	<i>Corynebacterium bovis</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs

10. tabula

No piena izolēto baktēriju antibiotiku rezistence - govīm ar SŠS virs 400 tūkst.šūnas/ml

Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Šķirne	Slaukš. dienas	SŠS	nr. ausī	izolāts	AML	AMP	CTX	OT	P	SXT
LV012359515148	SIETLA	3	HM	179	6506	5148	<i>Staphylococcus chromogenes</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
							<i>Corynebacterium bovis</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents
NL687128251	HENNY 58	2	HM	325	767	2825	<i>Staphyl. sciuri</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
NL948234282	TOOSJE 127	3	HS	217	448	3428	<i>Staphylococcus chromogenes</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
							<i>Streptococcus uberis</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359515791	JŪRA	2	HM	367	430	5791	<i>Enterococcus faecalis</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
							<i>Streptoc. uberis</i>	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359516035	VOLGA	2	HM	194	857	6035	<i>Staphylococcus chromogenes</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
							<i>Streptococcus dysgalactiae</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs	jutīgs
LV012359515118	VARAVĪKSNE	3	HM	411	669	5118	<i>Escherichia coli</i>	jutīgs	videji jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs
							<i>Streptoc. uberis</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs	jutīgs
LV012359514804	MĪKLA	2	HM	469	403	4804	<i>KNS</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs
LV012359515317	GEIŠA	3	HM	179	518	5317	<i>Staphyl. hyicus</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs
LV012359514333	VIKTORĪNA	4	HM	164	1904	4333	<i>Staphyl. sciuri</i>	jutīgs	jutīgs	jutīgs	rezistents	jutīgs	jutīgs

Atkārtoto piena paraugu bakterioloģiskie rezultāti

Daruma/ augstums	Stambūras režiss	Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Slārne	Slauk. dienas	PIENS	SOMS	Grupa 1_2_3	CMT_1	Bakt_1	CMT_2	Bakt_2	CMT_3	Bakt_3	CMT_4	Bakt_4	Govju maasts IR vai NAV
6	3	LV006110 411110	AMATA	4	H	119	44	2910	3	0	Staphylococcus chromogenes	0	Nav audze	3	Streptococcus uberis	3	nav audze	1
6	2	LV012359 514717	GLORIJA	4	H	331	26,7	931	3	1	nav audze	3	Enterococcus faecium	2	Staphylococcus xylosum	1	Corynebacterium bovis	1
6	3	LV012359 515122	CIEDRA	4	H	214	28,5	351	2	3	nav audze	X	X	0	nav audze	1	nav audze	0
6	2	LV012359 515141	VIRZA	3	XP	230	35,4	162	1	1	nav audze	3	nav audze	1	nav audze	0	Staphylococcus haemolyticus	0
6	3	LV012359 515148	SIETLA	4	H	71	42,2	254	2	3	nav audze	0	Nav audze	0	nav audze	2	Staphylococcus chromogenes	1
6	2	LV012359 515284	LAIVA	3	M	215	44,8	200	1	0	nav audze	0	Corynebacterium amycolatum	1	nav audze	1	nav audze	0
6	3	LV012359 515676	AINAVA	3	XP	154	44,3	255	2	0	nav audze	0	Corynebacterium bovis	1	nav audze	2	nav audze	1
6	3	LV012359 515711	VATE	3	H	73	58,2	101	1	0	nav audze	0	Corynebacterium amycolatum	2	nav audze	1	Nav audze	0
6	3	LV012359 515825	TURDA	3	H	59	53,8	105	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
6	3	LV012359 515885	MINTA VA	3	H	33	45,2	2022	3	0	Staphylococcus chromogenes	3	Streptococcus uberis	3	nav audze	0	nav audze	1
6	3	LV012359 515936	LAIMA	3	H	34	36,5	87	1	0	nav audze	0	Nav audze	0	nav audze	0	Nav audze	0
6	2	LV012359 515997	DALAS A	2	H	250	36,5	2839	3	0	nav audze	0	nav audze	0	Nav audze	1	Nav audze	0
6	2	LV012359 516018	DOME	2	M	260	31	2525	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
6	3	LV012359 516253	JURTA	2	H	118	59,4	7	1	0	nav audze	0	nav audze	0	Bacillus licheniformis, Staphylococcus chromogenes	0	nav audze	0
6	3	LV012359 516263	TILDE	2	M	42	63,5	301	2	2	Corynebacterium bovis	0	Nav audze	0	Corynebacterium amycolatum	0	Nav audze	1

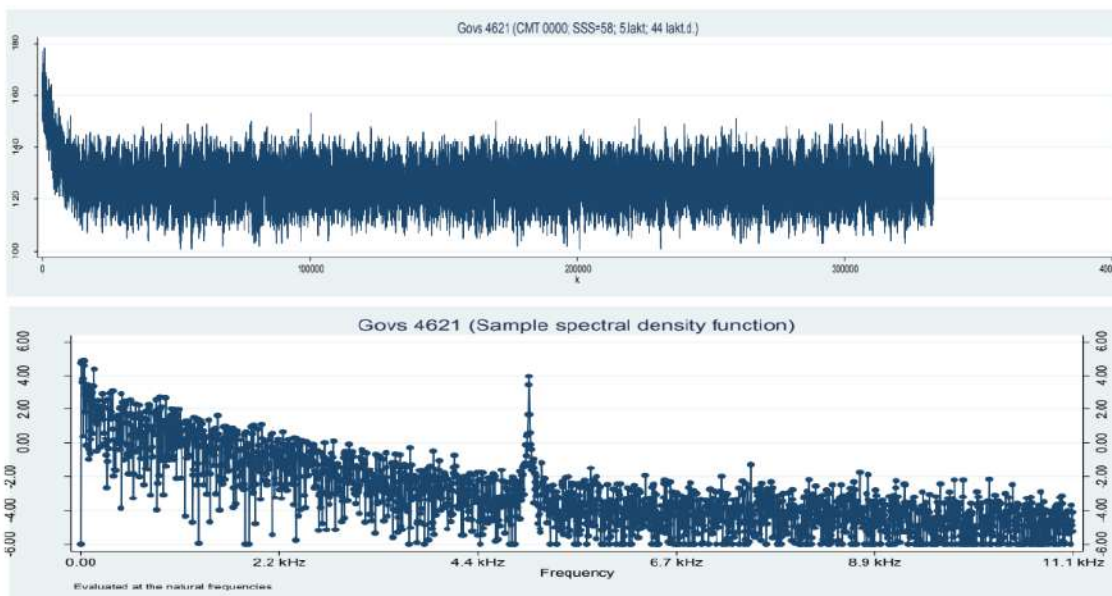
1	3	2	LV012359 515141	VIRZA	3	XP	230	35,4	162	1	0	Corynebacterium bovis	2	Corynebacterium bovis	0	nav audze	0	nav audze	1
1	3	3	LV012359 515148	SIETLA	4	H	71	42,2	254	2	3+	nav audze	0	Staphylococcus epidermidis	0	nav audze	2	Staphylococcus chromogenes	1
1	3	2	LV012359 515284	LAIVA	3	M	215	44,8	200	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	2	nav audze	0
1	3	3	LV012359 515676	AINAVA	3	XP	154	44,3	255	2	0	nav audze	3	Corynebacterium bovis	0	Nav audze	2	nav audze	1
1	3	3	LV012359 515711	VATE	3	M	73	58,2	101	1	0	Nav audze	0	Corynebacterium amycolatum	0	Corynebacterium bovis	0	Corynebacterium bovis	0
1	3	3	LV012359 515825	TURDA	3	M	59	53,8	105	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
1	3	3	LV012359 515885	MINTA VA	3	M	33	45,2	2022	3	1	Corynebacterium bovis	3 plus	Streptococcus uberis	kl tn	nav ID	0	Nav audze	1
1	3	3	LV012359 515936	LAIMA	3	M	34	36,5	87	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
1	3	2	LV012359 515997	DALAS A	2	M	250	36,5	2839	3	0	corynebacterium bovis	0	nav audze	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis	0
1	3	2	LV012359 516018	DOME	2	M	260	31	2525	3	0	corynebacterium bovis	0	nav audze	2	corynebacterium bovis	0	Actinomyces	1
1	3	3	LV012359 516253	JURTA	2	M	118	59,4	7	1	0	nav audze	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis; Streptococcus parasanguinis	0	nav audze	0
1	3	3	LV012359 516263	TILDE	2	M	42	63,5	301	2	2	nav audze	0	Staphylococcus epidermidis	0	Corynebacterium amycolatum	0	Corynebacterium bovis	0
1	3	3	LV012359 516306	SLOKA	2	M	32	41,2	79	1	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis	0
1	3	3	LV012359 516495	ROGA	2	M	80	50,3	1461	3	0	nav audze	3	Streptococcus spp	0	nav audze	0	nav audze	1
1	3	3	LV012359 516508	TUNDR A	2	M	31	24,4	335	2	2	Staphylococcus chromogenes	0	nav audze	3	Staphylococcus aureus	0	nav audze	1
1	3	3	LV012359 516577	EIKALI PTA	2	M	199	33,3	2289	3	3	Corynebacterium bovis	3	nav audze	3	Staphylococcus haemolyticus	0	Corynebacterium bovis	1
1	3	2	LV012810 513727	RUBIN A	2	M	367	32	151	1	0	Enterococcus faecalis	0	nav audze	0	nav audze	1	Staphylococcus chromogenes	1
1	3	3	LV012810 513739	SNIGA	3	M	207	43,8	294	2	0	Corynebacterium bovis	3	Streptococcus uberis	0	nav audze	0	Streptococcus uberis	1
1	3	2	LV044650 315703	LAIME	2	M	240	48,9	887	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	3	Enterococcus faecium	1

1	3	3	LV044650 315738	PÓČE	2	HS	45	40.1	349	2	3+	streptococcus uberis	1	staphylococcus scuri	0	nav audze	0	nav audze	1
1	3	2	LV060247 010220	DŪDA	3	H M	224	44.4	196	1	1	Enterococcus faecium	0	nav audze	0	Corynebacterium bovis	0	nav audze	0
1	3	2	NL644138 053	TERESA 72	3	H M	259	35.2	197	1	0	nav audze	0	Corynebacterium bovis	0	nav audze	3	Staphylococcus haemolyticus	1
1	3	3	NL657461 171	-	4	H M	143	47.6	3405	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	corynebacterium bovis	0
1	3	2	NL671028 541	HEKE 747	2	H M	362	28.3	1727	3	0	Corynebacterium bovis	1	Enterococcus faecium	3	Corynebacterium bovis	0	Nav audze	1
1	3	3	NL840316 817	CORRIE 89	3	HS	49	54.9	86	1	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis	1	Staphylococcus chromogenes	0	Staphylococcus sciuri	1
1	3	3	NL866756 743	JOHAN NA.347	3	H M	100	53.6	259	2	0	nav audze	0	nav audze	1	nav audze	0	nav audze	0
1	3	3	NL877083 063	MIRAN DA.375	4	HS	51	48.1	326	2	0	corynebacterium bovis	0	corynebacterium bovis	3	Enterococcus spp.	1	corynebacterium bovis	1
2	0	3	LV006110 411110	AMATA	4	HS	119	44	2910	3	1	Streptococcus plurimifalium	0	nav audze	3	Streptococcus uberis	3 plus	Streptococcus uberis	1
2	0	2	LV012359 514717	GLORIJA A	4	H M	331	26.7	931	3	0	nav audze	3 plus	Enterococcus faecium	0	nav audze	0	nav audze	1
2	0	3	LV012359 515122	CIEDRA	4	H M	214	28.5	351	2	2	Streptococcus dysgalactiae	x	X	0	nav audze	0	nav audze	1
2	0	2	LV012359 515141	VIRZA	3	XP	230	35.4	162	1	0	nav audze	1	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
2	0	2	LV012359 515284	LAIVA	3	H M	215	44.8	200	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	1	nav audze	0
2	0	3	LV012359 515676	AINAV A	3	XP	154	44.3	255	2	0	nav audze	2	Streptococcus mitis	0	Streptococcus mitis	1	nav audze	1
2	0	3	LV012359 515711	VATE	3	H M	73	58.2	101	1	0	nav audze	0	Corynebacterium amycolatum	3	nav audze	1	nav audze	0
2	0	3	LV012359 515825	TURAJD A	3	H M	59	53.8	105	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
2	0	3	LV012359 515885	MINTA VA	3	H M	33	45.2	2022	3	3	Staphylococcus chromogenes	2	Staphylococcus chromogenes	3 +	Streptococcus uberis	0	nav audze	1
2	0	3	LV012359 515936	LAIMA	3	H M	34	36.5	87	1	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	strep mitis	0
2	0	2	LV012359 515997	DALAS A	2	H M	250	36.5	2839	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
2	0	2	LV012359 516018	DOME	2	H M	260	31	2525	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0

2	0	3	LV012359 516253	JURTA	2	H M	118	59.4	7	1	0	nav audze	0	Streptococcus epidermidis	0	nav audze	0	nav audze	0
2	0	3	LV012359 516263	TILDE	2	H M	42	63.5	301	2	1	nav audze	0	nav audze	1	Corynebacterium amycolatum	0	nav audze	0
2	0	3	LV012359 516396	SLOKA	2	H M	32	41.2	79	1	0	nav audze	0	nav audze	0	Acinetobacter juni; Aeromonas veronii	0	nav audze	0
2	0	3	LV012359 516495	ROGA	2	H M	80	50.3	1461	3	0	nav audze	3 plus	Streptococcus uberis	0	nav audze	0	nav audze	1
2	0	3	LV012359 516508	TUNDR A	2	H M	31	24.4	335	2	3	Staphylococcus chromogenes	0	nav audze	3	Staphylococcus aureus	1	nav audze	1
2	0	3	LV012359 516577	EIKALI PTA	2	H M	190	33.3	2289	3	3	coryn bovis	3	nav audze	0	Corynebacterium bovis	0	nav audze	1
2	0	2	LV012810 513227	RUBIN A	2	H M	367	32	151	1	0	Enterococcus faecalis	0	nav audze	0	nav audze	1	Staphylococcus chromogenes	1
2	0	3	LV012810 513739	SNIGA	3	H M	207	43.8	294	2	1	nav audze	3 plus	Streptococcus uberis	0	nav audze	0	nav audze	1
2	0	2	LV044650 315703	LAIMĒ	2	H M	240	48.9	887	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	3 plus	Enterococcus faecium	1
2	0	3	LV044650 315738	PÓČE	2	HS	45	40.1	349	2	3	Streptococcus uberis	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	1
2	0	2	LV060247 010220	DŪDA	3	H M	224	44.4	196	1	2	Corynebacterium bovis	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	1
2	0	2	NL644138 053	TERESA 72	3	H M	259	35.2	197	1	0	nav audze	0	nav audze	1	nav audze	2	Staphylococcus haemolyticus	1
2	0	3	NL657461 171	-	4	H M	143	47.6	3405	3	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0	nav audze	0
2	0	2	NL671028 541	HEKE 747	2	H M	362	28.3	1727	3	1	nav audze	2	nav audze	3	Inguilinus limosus	1	nav audze	1
2	0	3	NL840316 817	CORRIE 89	3	HS	49	54.9	86	1	0	nav audze	0	nav audze	0	Staphylococcus chromogenes	0	nav audze	0
2	0	3	NL866756 743	JOHAN NA.347	3	H M	100	53.6	259	2	3	nav audze	0	nav audze	1	nav audze	0	nav audze	0
2	0	3	NL877083 063	MIRAN DA.375	4	HS	51	48.1	326	2	1	nav audze	0	nav audze	3	Enterococcus faecalis	0	nav audze	1

4.2. Govju skenēšanas ar biosignāla sensoru un datu failu izmantošana salīdzinājumu veikšanai

Skenēšanas laikā operators vispirms identificēja govī un piešķir signāla failam nosaukumu Mazā saimniecībā "Brīvzemnieki" skenēšanas datu faila nosaukumam izmantots govju krotālijas numurs (beidzamie cipari). Krotāliju numuri ir unikāli katrai govij, jo tos piešķir Lauksaimniecības Datu centrs. Maza izmēra saimniecībā dzīvnieku saraksts ir viegli pārskatāms un informācija par SŠS apstrādes vajadzībām ievadīta manuāli. Lielā piena ražošanas saimniecībā (SIA "Agro-Kaķenieki) ar 854 govīm un 665 telēm manuāla dzīvnieku sarakstu salīdzināšana nav efektīva, tāpēc veikta apstrāde datorprogrammās MS Excel un STATA. Govīm ir divkārtā identifikācija, jo bez Lauksaimniecības Datu centra piešķirtā numura, vēl ir kakla siksnas respondera numurs. Kakla siksnas numurs ir automātiski lasāms ganāmpulka menedžmenta operācijās. Siksnas numura nolasīšana ir ērtāka, jo krotālijas numurs nav paredzēts automātiskai lasīšanai. Situāciju ar datu failu nosaukumu piešķiršanu sarežģīja vēl tas, ka ganāmpulkā ir importētās govīs, kurām krotālijas numurs nāk no citas valsts (Nīderlandes) un numura ciparu struktūra atšķiras no Latvijas govju numuriem, līdz ar to identifikācijas numura pēdējie četri cipari var atkārtoties. Problēmu atrisina kakla siksnas numuru piešķiršana. Pēc datu iegūšanas saimniecībā ir veikta visu datu avotu (Piena ražošanas saimniecības govju saraksts. Saimniecības pārskats par govju ražības un SŠS testēšanu kārtējā mēnesī. Datu mākonis ar teksta formāta datu failiem.) salīdzināšana un izveidots apvienojošs failu katalogs. Tālāk failu katalogs tika nosūtīts partneriem, lai ar mākslīgā intelekta metodēm analizētu datu mākonī glabātos sensora signālu failus un ģenerētu vērtējumu, ko tālāk salīdzināt ar katras govju SŠS rādītāju. Biosignāla sensora dati katrai govij ir reģistrēti atsevišķā failā. Datu grafiskais attēlojums, kā piemērs vienai govij, parādīts 24. Attēlā.



Attēls 24. Sensora nolasījumi no vienas govju (dzīvnieks LV012359514621 ar kakla siksnu 4621) ir attēlojami grafiski kā uz laika skalas (augšējais att.), tā arī uz frekvenču skals (apakšējais att.)

Pēc biosensora prototipa izstrādes un testēšanas trijās piena ieguves saimniecībās ir veikti nozīmīgi sistēmas precizitātes un efektivitātes uzlabojumi, lai paātrinātu signāla mērītāja iegūto datu pirmapstrādi, pārraidi, uzkrāšanu un analīzi. Sākotnēji biosignāla biosensoru sistēmas datu salīdzināšanai un interpretācijai tiek izmantots katras govju somatisko šūnu skaita (SŠS) rādītājs pienā (pieejams praktiski visām iesaistīto saimniecību govīm), bet turpinājumā arī mastīta ierosinātāju laboratoriska noteikšana tesmeņa sekrēta paraugos (rezultāts pieejams tikai pētījuma atlases grupas govīm). Pētījuma govju grupā ir atlasītas 36 govīs (12. tabula), no kurām 6 govīm ar biosignāla sensora palīdzību jau iepriekš ir konstatēts pozitīvs mastīta signāls. Grupā iekļautas arī 20 govīs ar SŠS > 400 tūkst. Šūnas ml-1, kurām sensors mastītu nav uzrādījis, un 10 veselas govīs bez tesmeņa veselības traucējumiem ar SŠS < 150 tūkst. šūnas ml-1. Projekta darbības laikā, analizējot ierosinātāja saistību ar SŠS, sešām govīm (13.tabula) laboratoriskās izmeklēšanas laikā ceturkšņu piena paraugos ierosinātāja audzi nekonstatē (Ierosinātāja nozīmīgums = "0"). Lai gan jūnija mēnesī visām sešām govīm SŠS pārsniedz 200 tūkst. šūnas ml-1, jau mēnesi vēlāk SŠS krasi samazinās un piecām tas ir jau <200 tūkst. šūnas ml-1. Secināms, ka piena dziedzeris, kas brīvs no mastīta ierosinātājiem, viena mēneša laikā spēj uzrādīt SŠS kritumu no vairākiem miljoniem uz 100 tūkst. šūnām. Divpadsmit govīm (14.tabula), kurām laboratoriski konstatē maznozīmīgu audzi un rezultātu apsver kā negatīvu (Ierosinātāja nozīmīgums = "1"), SŠS tomēr ir ļoti variabls. Atšķirībā no vērtējuma "0", šajā grupā tikai vienai govij SŠS mēneša laikā krasi samazinās uz līmeni SŠS<200 tūkst. šūnas ml-1. Četrām govīm SŠS samazinājums ir pakāpenisks, bet divām govīm novērots pat SŠS pieaugums. Trīspadsmit govīm (15.tabula), kurām laboratoriski konstatē nozīmīgu ierosinātāja audzi un rezultātu apsver kā pozitīvu (Ierosinātāja nozīmīgums = "2"), kaut arī izolētie ierosinātāji netiek uzskatīti par galvenajiem mastīta izraisītājiem, SŠS ir ļoti variabls. Līdzīgi kā pie vērtējuma "1" arī šajā grupā tikai vienai govij SŠS mēneša laikā krasi samazinās uz līmeni SŠS<200 tūkst. šūnas ml-1. Trijām govīm SŠS samazinājums ir pakāpenisks, bet citām trijām govīm novērots pat SŠS pieaugums. Piecām govīm (16.tabula), kurām pienā laboratoriski konstatēts majorpatogēns mastīta ierosinātājs (angl. major mastitis pathogen) (Ierosinātāja nozīmīgums = "3"), visām SŠS>400 tūkst. šūnas ml-1. Nevienai no šīm govīm mēneša laikā nenovēro SŠS samazināšanos. Apkopojot SŠS līmeņa rādītājus pa ierosinātāju nozīmīguma grupām, redzams (17.tabula), ka govīm ar majorpatogēna mastīta ierosinātāja klātbūtni pienā ir visaugstākais SŠS ($7.33 \pm 0.48 \log(2)$ vienības). SŠS izvērtējums tesmeņa ceturkšņu līmenī (18.tabula) ir veikts ar CMT testu tajā pašā dienā, kad laboratoriski identificēti mastīta ierosinātāki. CMT rezultāti govju līmenī apkopotī kā maksimālā vērtība un parāda, ka viszemākais vidējais SŠS ir govīm ar CMT=0 vērtējumu ($4.08 \pm 1.59 \log(2)$ vienības), bet visaugstākais tām govīm, kurām kaut viens no piena dziedzeriem uzrāda CMT=3 vērtību ($6.50 \pm 1.25 \log(2)$ vienības). Paraugi, kuros vērojamas klīniskam mastītam raksturīgas piena pārmaiņas, iegūti no govīm, kurām kārtējā mēneša pārraudzībā SŠS bija visai līdzīgs ($5.80 \pm 1.39 \log(2)$ vienības) kā tām, kurām maksimālais CMT=3. Šīs divas pēdējās grupas SŠS līmeņa interpretācijā, iespējams, nav jānošķir viena no otras. Interesanti, ka apkopojot sekojošā mēneša SŠS rādītājus pa ierosinātāju nozīmīguma grupām (19.tabula), govīm bez infekcijas piena dziedzerī vidējais SŠS rezultējas robežās no 50 līdz 100 tūkst. šūnas ml-1 ($2.13 \pm 0.76 \log(2)$ vienības). Turpretī govīm ar majorpatogēna mastīta ierosinātāja klātbūtni pienā vidējais SŠS ir robežās no 1.6 līdz 3.2 milj. Šūnas ml-1 ($7.36 \pm 0.44 \log(2)$ vienības).

Secinājums: Turpmākā periodā, pārbaudot biosignāla sensoru sistēmas diagnostisko precizitāti, viens no galvenajiem uzdevumiem ir izanalizēt sistēmas rādījumus pie galējiem mastīta ierosinātāju nozīmīguma stāvokļiem "0" un "4", jo iegūtie dati skaidri parāda to, ka abi šie stāvokļi turpmākā mēneša gaitā izšķiroši ietekmē govju SŠS attīstības virzienu. Ja sistēma spētu izšķirt šos govju stāvokļus, tās pielietojumam būtu neatsverama loma mastītu ierobežošanā slaucamo govju ganāmpulkos.

12. tabula

Pētījuma govju grupa biosignāla sensoru sistēmas efektivitātes testēšanai

Dzīvnieka numurs	Vārds	Lakt.	Šķirne	Slaukš. dienas	PIENS	TAUKI	OLBV	SŠS	COWWOW*
LV012359516795	GRUZIJA	2	HM	243	13	3.39	3.64	4119	0
LV012359517095	MALA	2	HM	170	48.8	4.42	3.81	2196	0
LV012359517167	HORSTA	2	HM	131	48.2	3.41	3.16	1194	0
LV012359516995	AIZPUTE	2	HM	161	48.3	2.93	3.2	1044	0
LV012359516770	DRUVA	2	HM	365	13.8	2.36	2.8	690	0
LV012359516846	SMĀRDE	2	HM	219	32.4	4.12	3.61	673	0
LV012359516483	SAVVAĻA	2	HM	202	45.8	4.02	3.51	586	0
LV012359516971	MIRTE	2	HM	214	26.8	4.04	3.25	560	0
LV012359516306	SLOKA	2	HM	365	26.5	3.17	2.91	125	0
LV012359516597	JŪRA	2	HM	479	14.3	4.22	3.59	103	0
LV012359516551	GIDE	2	HM	219	38.1	3.9	3.94	91	0
LV012359516711	BURDA	2	HM	220	44.5	3.69	3.33	3889	2
LV012359516956	TAIVĀNA	2	HM	166	25	4.2	3.76	419	2
LV012359517103	ĪLE	2	HM	211	44.5	3.64	3.09	232	2
LV012359515786	SIJA	3	HM	206	40.7	3.82	2.93	7065	0
DE1405212140	-	3	HM	239	30.7	3.04	2.81	2827	0
LV012359516151	SIENA	3	HM	169	45	3.87	3.26	2283	0
LV012359515937	SĪGA	3	HM	174	40.7	3.2	3.14	1019	0
DE0122260773	-	3	HM	332	35.9	2.81	3.07	421	0
LV012359515926	ČIEPA	3	HS	304	21.2	4.27	3.56	134	0

LV012359516131	HOLIVUDA	3	HM	269	27.3	4.32	3.54	122	0
LV012359516030	JAPĀNA	3	HM	282	30	3.78	3.37	112	0
LV012359515127	TAIGA	3	HM	482	8.8	3.36	3.36	503	2
LV012810513869	SKUJAINĒ	3	HM	295	17.8	3.88	2.84	352	2
LV012359515448	JŪRMALA	3	HM	332	17.8	3.22	3.21	324	2
LV012359515829	PALMA	4	HM	140	37.8	3.06	3.24	2099	0
LV012946117957	VEICE	4	LB	132	32.7	3.24	2.97	1029	0
LV012359515102	TEIKA	4	HM	303	33.3	3.74	3.06	709	0
NL877082868	ROOS 599	4	HM	424	27	3.71	3.32	609	0
NL655856933	ANNA 624	4	HM	221	42.1	3.52	3.06	563	0
LV012359515473	LAIVA	4	HM	185	42.2	4.33	2.83	119	0
LV006110411174	RĒZIJA	4	LB	242	35.1	3.26	3.29	78	0
LV012359514885	BRISELE	5	HM	428	20.9	3.64	3.29	1028	0
LV012359515122	CIEDRA	5	HM	69	43.6	4	3.46	526	0
LV012359514621	SIJA	5	HS	44	42.1	4.49	2.87	58	0
LV012359514542	PAIPALA	5	XP	276	21.8	3.84	3.49	44	0

*COWWOW sensora signāls - "0"vesela; "1"subklīniskais mastīts; "2"klīniskais mastīts.

Govs, kurām laboratoriski ierosinātāja audzi nekonstatē (Ierosinātāja nozīmīgums = "0")

Govs id	Laktācijas nr.	Dienas no atnesmās	2021.g. jūnijs			2021.g. jūlijs			Piena dziedzeris			
			Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Kr.pr.	L.pr.	K.pa.	L.pa.
NL655856933	4	221	42.1	563	5.5	38.8	85	2.8	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido
LV012359516956	2	166	25	419	5.1	22.2	353	4.8	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido
LV012359515122	5	69	43.6	526	5.4	38.2	50	2.0	audzi neveido	X	audzi neveido	audzi neveido
LV012359517103	2	211	44.5	232	4.2	43.6	1	0.1	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido
LV012359515937	3	174	40.7	1019	6.3	37.9	9	0.1	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido
LV012359516711	2	220	44.5	3889	8.3	39.7	107	3.1	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido

Govs, kurām laboratoriski konstatē maznozīmīgu audzi un rezultātu apsver kā negatīvu (Ierosinātāja nozīmīgums = "1")

Govs id	Laktācijas nr.	Dienas no atnesmās	2021.g. jūnijs			2021.g. jūlijs			Piena dziedzeris			
			Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Kr.pr.	L.pr.	K.pa.	L.pa.
LV012359516131	3	269	27.3	122	3.3	...	...	...	Staph.chromogenes	Staph.chromogenes	Staph.chromogenes	Staph.chromogenes
DE0122260773	3	332	35.9	421	5.1	32.3	295	4.6	audzi neveido	Corynebact.bovis	audzi neveido	Corynebact.bovis
LV012946117957	4	132	32.7	1029	6.4	43.2	74	2.6	Corynebact.bovis	jaukta audze	Corynebact.bovis	jaukta audze
LV012359515102	4	303	33.3	709	5.8	26.2	345	4.8	Strept.mitis/oralis	jaukta audze	Corynebact.bovis	audzi neveido
LV012359516770	2	365	13.8	690	5.8	...	...	...	Corynebact.bovis	audzi neveido	Staph.sciuri	jaukta audze
LV012359515786	3	206	40.7	7065	9.1	31.7	1723	7.1	jaukta audze	audzi neveido	Staph.hominis	Staph.epidermidis
LV012359515473	4	185	42.2	119	3.3	37.5	2191	7.5	Corynebact.bovis	Staph.simulans	audzi neveido	audzi neveido
LV012359514542	5	276	21.8	44	1.8	19.4	141	3.5	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	audzi neveido	audzi neveido
LV012359516306	2	365	26.5	125	3.3	18.4	60	2.3	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis

NL877082868	4	424	27	609	5.6	27.5	586	5.6	Corynebact.bovis	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido
LV012359517167	2	131	48.2	1194	6.6	45.2	3762	8.2	audzi neveido	audzi neveido	Koccuria varians	audzi neveido
LV006110411174	4	242	35.1	78	2.6	32	198	4.0	audzi neveido	audzi neveido	Staph.chromogenes	audzi neveido

15. tabula

Govis, kurām laboratoriski konstatē nozīmīgu ierosinātāja audzi un rezultātu apsver kā pozitīvu (Ierosinātāja nozīmīgums = "2")

Govs id	Laktācijas nr.	Dienas no atnesšanās	2021.g. jūnijs			2021.g. jūlijs			Piena dziedzeris			
			Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Kr.pr.	L.pr.	K.pa.	L.pa.
LV012359516995	2	161	48.3	1044	6.4	44.8	151	3.6	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	Staph.haemolyticus	Corynebact.bovis
LV012359516597	2	479	14.3	103	3.0	15.8	92	2.9	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis
LV012359517095	2	170	48.8	2196	7.5	47.4	221	4.1	audzi neveido	Bordetella bronchiseptica	audzi neveido	Corynebact.bovis; Staph.xylosum
LV012359516971	2	214	26.8	560	5.5	24.4	317	4.7	Corynebact.bovis	audzi neveido	Staph.haemolyticus	audzi neveido
LV012810513869	3	295	17.8	352	4.8	16.2	324	4.7	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	Corynebact.amycolatum	Corynebact.bovis
LV012359516551	2	219	38.1	91	2.9	33.1	13	0.1	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido	Staph.haemolyticus
LV012359514621	5	44	42.1	58	2.2	43.4	53	2.1	audzi neveido	audzi neveido	Corynebact.bovis	audzi neveido
LV012359514885	5	428	20.9	1028	6.4	21.8	2780	7.8	Corynebact.bovis	audzi neveido	audzi neveido	audzi neveido
LV012359515127	3	482	8.8	503	5.3	...	...	...	X	audzi neveido	Enterococcus hirae	audzi neveido

LV012359515926	3	304	21.2	134	3.4	21.9	75	2.6	Strep.equinus	audzi neveido	Koccuria varians	Corynebact.bovis
LV012359516030	3	282	30	112	3.2	...	...	...	Corynebact.bovis	Corynebact.bovis	audzi neveido	Corynebact.bovis
LV012359516846	2	219	32.4	673	5.8	27.4	1804	7.2	audzi neveido	audzi neveido	Enterococcus saccharolyticus	audzi neveido
LV012359515448	3	332	17.8	324	4.7	14.6	2803	7.8	Corynebact.bovis	audzi neveido	audzi neveido	Corynebact.bovis

16. tabula

Govis, kurām pienā laboratoriski konstatēts mastīta ierosinātājs (Ierosinātāja nozīmīgums = "3")

Govs id	Laktācijas nr.	Dienas no atnesšanās	2021.g. jūnijs			2021.g. jūlijs			Piena dziedzeris			
			Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Izslaukums, kg	SSS	Log(2)SSS	Kr.pr.	L.pr.	K.pa.	L.pa.
LV012359516795	2	243	13	4119	8.4	...	...	...	audzi neveido	Staph.haemolyticus	Corynebact.bovis	Streptoc.uberis
DE1405212140	3	239	30.7	2827	7.8	29.3	3334	8.1	audzi neveido	Staph.aureus	Escherichia coli	audzi neveido
LV012359515829	4	140	37.8	2099	7.4	35.5	2649	7.7	Staph.simulans	Staph.simulans	Enterococcus faecalis; Streptoc.uberis	Streptoc.uberis
LV012359516151	3	169	45	2283	7.5	39.7	2375	7.6	audzi neveido	audzi neveido	Streptoc.dysgalactiae	audzi neveido
LV012359516483	2	202	45.8	586	5.6	42.3	853	6.1	audzi neveido	audzi neveido	Staph.xylosum	Enterococcus faecium

SŠS govju pienā pētījuma grupas komplektēšanas laikā, SŠS izteikts Log(2) vienībās.

Ierosinātāja nozīmīgums	Govju skaits	Vidējais	SD ^a	SEM ^b	Min ^c	Max ^d
“0”	6	5.80	1.40	0.57	4.21	8.28
“1”	12	4.89	2.08	0.60	1.82	9.14
“2”	13	4.69	1.62	0.45	2.21	7.46
“3”	5	7.33	1.06	0.48	5.55	8.36
Kopā	36	5.31	1.87	0.31	1.82	9.14

^a standartnovirze; ^b vidējās aritmētiskās vērtības standartklūda; ^c minimālā vērtība; ^d maksimālā vērtība.

Govs SŠS līmeņa izvērtējums tesmeņa ceturkšņu līmenī ar Kalifornijas mastītu testu (CMT) un nosakot klīniskam mastītam raksturīgas izmaiņas pienā, SŠS izteikts Log(2) vienībās.

CMT _{max} vai klīniskais mastīts	Govju skaits	Vidējais	SD ^a	SEM ^b	Min ^c	Max ^d
0	6	4.08	1.59	0.65	2.21	6.35
1	5	4.20	1.73	0.78	2.64	6.36
2	6	4.41	2.42	0.99	1.82	8.28
3	13	6.50	1.25	0.35	5.07	9.14
Klīniskais	6	5.80	1.39	0.57	4.70	8.36
Kopā	36	5.31	1.87	0.31	1.82	9.14

^a standartnovirze; ^b vidējās aritmētiskās vērtības standartklūda; ^c minimālā vērtība; ^d maksimālā vērtība.

Somatisko šūnu skaits sekojošā mēnesī pēc piena paraugu testēšanas uz mastīta ierosinātāju, SŠS izteikts Log(2) vienībās.

Ierosinātāja nozīmīgums	Govju skaits	Vidējais	SD ^a	SEM ^b	Min ^c	Max ^d
“0”	6	2.13	1.86	0.76	0.05	4.82
“1”	10	5.00	2.06	0.65	2.26	8.23
“2”	11	4.32	2.48	0.75	0.06	7.81
“3”	4	7.36	0.87	0.44	6.09	8.06
Kopā	31	4.51	2.51	0.45	0.05	8.23

^a standartnovirze; ^b vidējās aritmētiskās vērtības standartklūda; ^c minimālā vērtība; ^d maksimālā vērtība.

4.3. Biosignāla sensoru sistēmas vērtējumu sakritība ar kārtējā mēneša SŠS līmeni

Skenējot govīs pirms kārtējās slaukšanas, tika iegūti nolasījumi no 301 govīm. Biosignāla reģistrācijas failu apstrādes laikā nebija iespējams izgūt vērtējumu 3 govīm (6730; 6992; 8381) un 32 govīm nebija pieejama informācija par ražības pārraudzību. Kopskaitā 266 govīm bija iespējams analizēt biosignāla sensoru sistēmas vērtējumu, kas iegūts ar mašīnmācīšanās algoritmu, (COWOW_klase) sakritību ar kārtējā mēneša SŠS līmeni. (Dati: Agro Kaķenieki, 2021. gada 17. septembris). "Vērtējums 0" nozīmē "zems mastīta risks" atbilstoši SŠS ir < 200 tūkst šūnas/ml; "vērtējums 1" nozīmē "augsts mastīta risks" atbilstoši SŠS ir 200 < 400 tūkst. šūnas/ml; "vērtējums 2" nozīmē "mastīts" atbilstoši SŠS ir > 400 tūkst.šūnas/ml. 20. Tabulā parādīts vidējais SŠS visās vērtējumu grupās. Somatisko šūnu skaits biosignāla sensoru sistēmas izdalītajās govju grupās ir līdzīgs, t.i. statistiski nozīmīgas vidējā rādītāja atšķirības starp grupām nekonstatē (vienfaktora ANOVA tests, P=0.616).

20. tabula

Somatisko šūnu skaits govju pienā govīm atkarībā no biosignāla sensoru sistēmas vērtējuma, SŠS izteikts Log(2) vienībās.

Sensora sistēmas vērtējums	Govju skaits	Vidējais	SD ^a	SEM
"Vērtējums 0"	83	2.83	1.99	0.22
"Vērtējums 1"	49	2.52	1.75	0.25
"Vērtējums 2"	134	2.68	1.94	0.17
Kopā	266	2.70	1.92	0.12

Veicot detalizētu vērtējumu salīdzināšanu (21. tabula) ar SŠS gradācijām "<200", "200 < 400", "≥400" ir noskaidrots, ka biosignāla sensoru sistēmas vērtējumiem "0", "1", "2" atbilstošs vērtējums ir iegūts tikai 32.3% govju, kas ir tuvu gadījuma rakstura sakritībai (kopējās rezultātu sakritības koeficients kappa = - 0.01±0.04 un nav pamata uzskatīt, ka tas atšķirās no κ=0 ; P=0.633).

21. tabula

Biosignāla sensoru sistēmas vērtējumu atbilstība govju SŠS gradācijām

SŠS, tūkst. šūnas/ml	Biosignāla sensoru sistēma			Kopā
	"Vērtējums 0"	"Vērtējums 1"	"Vērtējums 2"	
< 200	60	37	94	191
200 < 400	5	5	19	29
≥ 400	18	7	21	46
Kopā	83	49	134	266

Biosignāla sensoru sistēmas vērtējumu nevar ieteikt kārtējā mēneša SŠS līmeņa noteikšanai, ja SŠS līmenis ir vienīgā klasifikācijas pazīme mašīnmācīšanās algoritma izstrādes procesā. Tas skaidrojams ar vispārzināmu faktu, ka govīm ar augstu SŠS (≥ 400) tikai pusei (šajā pētījuma etapā 47.8% (11 govīm no 23) konstatē mastīta ierosinātāja klātbūtni pienā. Viens pats SŠS kā rādītājs bez citiem mastīta esamību precizējošiem parametriem nav tālāk pielietojams mašīnmācīšanās algoritma attīstīšanai. Algoritma trenēšanā ir jāiekļauj govīs, kurām ir veikta bakterioālo mastīta ierosinātāju laboratoriskā noteikšana.

4.4. Mastīta ierosinātāju – biomarkķieru atlase un sagatavošana skenēšanai

Pārbaudot biosignāla sensora diagnostisko precizitāti, viens no galvenajiem uzdevumiem bija izanalizēt sistēmas rādījumus pie galējiem mastīta ierosinātāju nozīmīguma stāvokļiem “0” un “3”, jo iepriekšējos periodos iegūtie dati skaidri parādīja, ka abi šie stāvokļi izšķiroši ietekmē govs SŠS attīstības virzienu. Tādējādi no visā projekta laikā izolētajiem mastīta ierosinātājiem tika sagatavoti 15 mastīta izolāti kā biomarkķieri un veikta to skenēšana ar biosignāla sensoru (23 tabula). Izolātiem bija noteikts atšķirīgs antibiotiku rezistences spektrs (24. tabula). Visu no tesmeņa ceturkšņu piena paraugiem izdalīto izolātu tīrkultūras tika pārsētas sterilās speciālās plastmasas un stikla Petri platēs uz barojošā agara, lai tālāk projekta sadarbības partneri varētu veikt to skenēšanu.

Mastīta ierosinātāju izolātu piederība grupām un tipiem, veicot tīrkultūru biosignāla skenējumus³

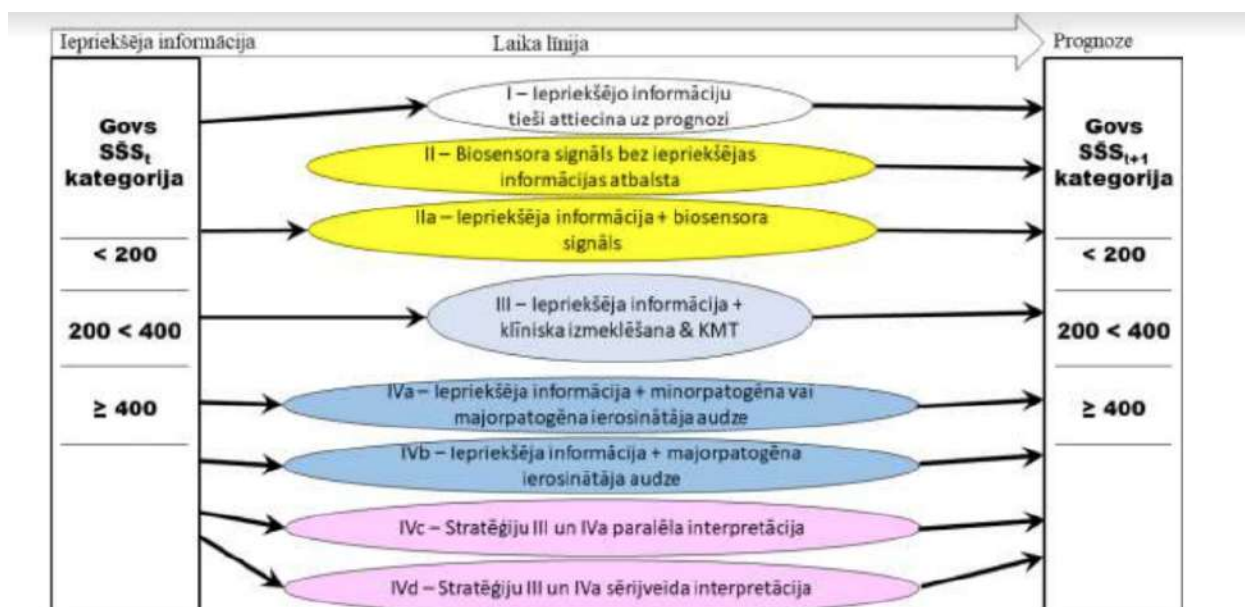
Fails	Mastīta patogēnu grupa	Ierosinātāja tips
streptococcus agalactiae 2.txt* ²	<i>Streptococcus agalactiae</i>	Majorpatogēni mastīta ierosinātājs
streptococcus agalactiae 3.txt* ³		
streptococcus dysgalactiae 2.txt	<i>Streptococcus dysgalactiae</i>	
streptococcus dysgalactiae 3.txt		
streptococcus oralis mitis 2.txt	<i>Streptococcus spp.</i>	
Streptococcus oralis mitis 3.txt		
streptococcus uberis 2.txt	<i>Streptococcus uberis</i>	
streptococcus uberis 3.txt		
trueperella pyogenes 2AA.txt	<i>Trueperella pyogenes</i>	
trueperella pyogenes 3AA.txt		
enterococcus faecalis 2.txt	<i>Enterococcus spp.</i>	
Enterococcus faecalis 3.txt		
enterococcus faecium 2.txt		
enterococcus faecium 3.txt		
enterococcus hirae 2.txt		
enterococcus hirae 3.txt		
Escherichia coli 2.txt	<i>Escherichia coli</i>	
Escherichia coli 3.txt		
staphylococcus aureus 2.txt	<i>Staphylococcus aureus</i>	
staphylococcus aureus 3.txt		
aerococcus viridans 2.txt	<i>Streptococcus spp.</i>	
Aerococcus viridans 3.txt		
staphylococcus chromogenes 2.txt	KNS	Minorpatogēni mastīta ierosinātājs
staphylococcus chromogenes 3.txt		
staphylococcus heamoliticus 2.txt	<i>Staphylococcus haemolyticus</i> (KNS)	
staphylococcus heamoliticus 3.txt		
corynebacterium amycollatum 2AA.txt	<i>Corynebacterium spp.</i>	
Corynebacterium amycollatum 3AA.txt		
corynebacterium bovis 2AA.txt		
corynebacterium bovis 3AA.txt		
PLASTMASAS PLATE TUKSHA.txt	Tukša plate, plastmasa	...
STIKLA PLATE TUKSHA.txt	Tukša plate, stikls	
AA AGAR 2.txt	Tukša plate	
AA AGAR 3.txt		
TSA AGAR 2.txt		
TSA AGAR 3.txt		

**2" – nolasījums no aizvērtas Petri plates

**3" – nolasījums no vaļējas Petri plates

4.5. Biosignāla sensoru sistēmas izmantošana SŠS līmeņa izmaiņu prognozēšanai un alternatīvu stratēģiju salīdzināšana

Vienlaikus ar biosignāla reģistrāciju tika veikta govju klīniskā izmeklēšana un tesmeņa ceturkšņu piena paraugu iegūšana un laboratoriska pārbaude, lai noteiktu, vai tajos nav bakteriāli mastīta ierosinātāji. Vēlāk, kad bija pieejami nākamās piena pārraudzības dati par somatisko šūnu skaitu pienā, prognozētā kategorija tika salīdzināta ar reāli novēroto kategoriju. 5. attēlā ir attēlots laiks starp divām ikmēneša izmeklēšanas reizēm, kurās nosaka somatisko šūnu skaitu (SŠS) govju pienā. SŠS līmenis sadalīts trīs kategorijā, izvēloties kategoriju robežvērtības 200 tūkst. šūnas/ml un 400 tūkst. šūnas/ml. Starplaikā starp divām pārraudzības reizēm atlasē grupas dzīvniekiem tika ierakstīti biosensora signāli, veikta ierakstu apstrāde un pamatojoties uz pilnveidotu SVM (support vector machine) mašīnmācīšanās algoritmu, izstrādāta prognoze tam kāds ir subklīniska mastīta risks tuvākajā laikā, respektīvi, vai ir prognozējamas krasas SŠS līmeņa izmaiņas nākamās piena ražības pārraudzības laikā. Prognozētā SŠS kategorija tika salīdzināta ar reāli novēroto SŠS kategoriju, un atbilstība tika izteikta ar svērto Koena kappa koeficientu un tā standartkļūdu atsevišķi katrai SŠS līmeņa prognozēšanas stratēģijai (22. tabula).



Attēls 25. Atsoņas stratēģijas, kas ģenerē prognozi par piens SŠS līmeni (kategoriju) tuvākajā laikā, integrējot biosensora signālu, iepriekšējo informāciju un klīniskās, kā arī laboratoriskās izmeklēšanas rezultātus.

SŠS līmeņa prognozēšanas stratēģiju salīdzināšanas rezultāti. Tika salīdzinātas astoņas iepriekš definētās SŠS līmeņa prognozēšanas stratēģijas. Tās raksturo biosensora pielietojuma diagnostiko efektivitāti sarežģītā situācijā saimniecībā uz vietas, kurā tika pārbaudīta 36 govju grupa. Diviem dzīvniekiem ierakstītais biosignāls apstrādes laikā tika novērtēts kā tehniskās

kvalitātes prasībām neatbilstošs, turpretī, piecām govīm nebija pieejami atkārtoti piena pārraudzības rezultāti. Tā rezultātā salīdzinājumos iekļauto govju skaits bija 29 govīs un 31 govīs.

Vispirms tiek apskatīta stratēģija I, kas iepriekšējo informāciju par SŠS līmeni tiešā veidā attiecina uz prognozi, tas ir, prognozētā vērtība izriet no pieņēmuma, ka visām govīm, kurām iepriekšējās piena ražības pārraudzības laikā SŠS nepārsniedza 200 tūkst. šūnas/ml, arī nākamajā mēnesī netiks pārsniegts 200 tūkst. šūnas/ml sliekšnis, kā arī abās pārējās SŠS kategorijās govīs saglabās atbilstību iepriekšējai kategorijas vērtībai. Sakritības koeficients (3.1. tabula) šādā veidā ģenerētai prognozei un reāli novērotai SŠS kategorijai ir tikai 0.30. Atbilstoši vispārpieņemtajiem kritērijiem (Landis et al, 1979) sakritības koeficients, kas ir robežās no 0.21 līdz 0.40 interpretējams kā apmierinoša sakritība, kas ievērojami pārsniedz nejaušu sakritību līmeni, bet tomēr ir zemāka par viduvēju sakritību.

Stratēģija II ģenerētā prognoze, kas balstīta tikai uz biosensora reģistrētiem signāliem un to pēcapstrādi ar SVM, bija līdzīgā, bet nedaudz zemākā līmenī (0.25) kā stratēģijai I. Kombinējot stratēģiju I ar stratēģiju II, tas ir, izmantojot ar biosensora palīdzību iegūto vērtējumu, lai aktualizētu iepriekšējo informāciju, stratēģijai IIa sakritības koeficients pieaug līdz vērtībai 0.32, kas tomēr nesasniedz vidējas sakritības līmeni. Nedaudz labāk iepriekšējās informācijas koriģē govīs klīniska izmeklēšana, kuras ietvaros izdara ceturkšņu piena paraugu vizuālu novērtēšanu un pārbaudi ar Kalifornijas mastīta testu (KMT). Ar klīnisko mastītu saistītas izmaiņas slaukšanas sākuma piena paraugos vai KMT reakcija ≥ 2 kādā no ceturkšņiem tiek interpretētas kā mastīta brīdinājuma signāls, kas attiecīgi paaugstina prognozēto SŠS kategoriju nākamajā ražības pārraudzības reizē, salīdzinot ar iepriekšējā mēneša pārraudzību jeb sākotnējo informāciju.

Apvienojot klīniskos un CMT reitingus ar SCC kategoriju iepriekšējā mēnesī, stratēģijai III kapa koeficients pieaug līdz vērtībai 0.45, kas vērtējama jau kā viduvēja sakritība.


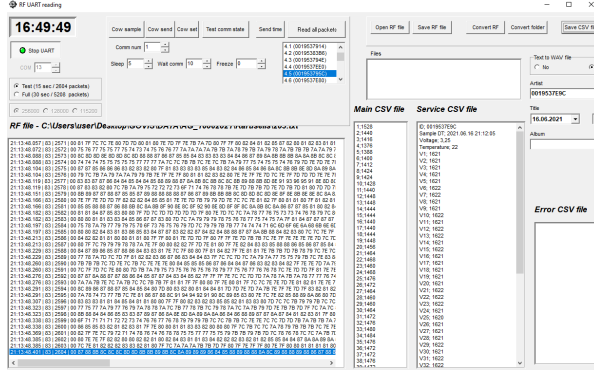
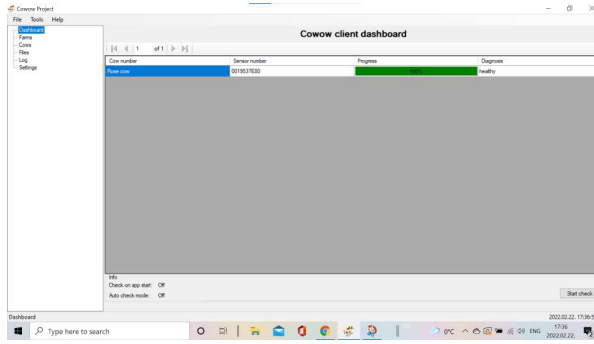
Turpmākās stratēģijas IVa un IVb ir resursu ietilpīgas, jo sākotnējās informācijas aktualizācijai ir nepieciešama ceturkšņu piena paraugu aseptiska iegūšana un izmeklēšana bakterioloģijas laboratorijā, izmantojot gan vienkāršas klasiskās metodes, gan ierosinātāju sugu apstiprināšanu ar modernākajām instrumentālo analīžu metodēm. Jāņem vērā, ka šo stratēģiju ģenerētā SŠS līmeņa prognoze ir atkarīga gan no mastīta ierosinātāju veida, gan to audzes nozīmīguma. Stratēģija IVa balstās iepriekšējo informāciju par govīs SŠS kategoriju, kura tiek aktualizēta atbilstoši bakteriālu mastīta ierosinātāju audzes esamībai un nozīmīgumam savstarpēji nošķirot minorpatogēnos ierosinātājus (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Streptococcus spp.*, *Enterococcus spp.*, *Escherichia coli*, *Trueperella pyogenes*) no majorpatogēniem ierosinātājiem (korinebaktērijas un koagulāzi neradoši stafilokoki). Stratēģija IVa sniedz mazāk precīzu novērtējumu (0.40). Modificējot bakterioloģiskās testēšanas rezultātu interpretācijas sliekšni un pieņemot, ka vienīgi majorpatogēnu mastīta ierosinātāju klātbūtne (stratēģija IVb). piena dziedzerī ir saistīta ar audu aizsardzības procesiem un SŠS paaugstināšanos vai saglabāšanos augstākā līmenī, iegūst līdzīgu, kaut arī nedaudz augstāku, kapa koeficientu (0.45). Tātad, ja KMT rezultāti un klīniskie

parametri netiek ņemti vērā, sākotnējās informācijas par SŠS kategoriju aktualizācija spēj ģenerēt prognozi, kuras sakritība ar turpmāk novēroto SŠS līmeni ir tikai viduvēja.

Rezultātu interpretācija, apvienojot iepriekšējo informāciju, bakterioloģiskās testēšanas rezultātus un klīnisko, kā arī KMT izmeklējumu rezultātus parāda, ka sakritības koeficients var svārstīties plašā amplitūdā. Ja III un IVa stratēģiju interpretē paralēli, sakritības koeficients patsamazinās (0.39). Tas ir visai saprotami, jo pieaug kļūdaini pozitīvo vērtējumu skaits un tajā pašā laikā krītas diagnostiskais specifiskums. Piemēram, gadījumos, kad augstāku SŠS neapstiprina mastīta ierosinātāja klātbūtnes bakterioloģiska atradne, pēc būtības nav iemesla prognozēt turpmāku SŠS līmeņa paaugstināšanos, vai augsta SŠS līmeņa ilgstošu saglabāšanos virs 400 tūkst. šūnas/ml. Augstu sakritību ($\kappa > 0.80$) starp prognozēto SŠS kategoriju un reāli nākamajā ražības pārraudzības reizē konstatēto SŠS līmeni var novērot, ja III un IVa stratēģijas interpretē sērijveidā, t.i., ja pozitīvu bakterioloģisko atradni un KMT vai klīniskā izmeklēšana indicē mastītu vienos un tajos pašos tesmeņu

ceturkšņos. Kombinētajai stratēģijai IVd Koena kappa ir visaugstākais (0.89) no visām stratēģijām, tas ir, no 31 govīm, kurai ir pieejami dati par SŠS salīdzināšanu divās ražības pārraudzības reizēs, 27 govīm tika iegūta pareiza SŠS kategorijas prognoze, un tikai 4 dzīvniekiem pašreizējā pētījumā bija pieļauta kļūdaini pozitīva prognoze par vienu kategorijas vienību, tas ir, divām govīm SŠS tika prognozēts robežās no 200 līdz 400 tūkst. š./ml, bet faktiski bija <200 tūkst. š./ml, turpretī divām citām govīm tika prognozēts SŠS>400 tūkst. š./ml, bet faktiski viņām SŠS novēroja robežās no 200 tūkst. š./ml līdz 400 tūkst. š. ml. Nevienu kļūdaini negatīvu vērtējumu nenovēroja. Iespējams sakarā ar ierobežoto dzīvnieku skaitu. Kopējā svērtā sakritība starp prognozēto SŠS kategoriju un novēroto kategoriju bija 94,8%.

5. Projekta tiešie rezultāti

<p>100 biosensori un 5 bāzes stacijas</p>	
<p>1 datu pārraides programma</p>	
<p>1 lietotāja programma ar izmantošanas iespēju gan lokāli, gan attālināti</p>	
<p>1 publikācija žurnālā SAIMNIEKS</p>	<p>https://www.saimnieks.lv/raksts/cowow-mastitu-diagnostice-maksligais-intelekt</p>
<p>1 publikācija portālā Labs of Latvia</p>	<p>https://labsflatvia.com/aktuali/risina-problemu-piena-lopkopiba</p>
<p>1 populārzinātniskā publikācija LLU vietnē</p>	<p>https://www.llu.lv/lv/raksts/2022-03-21/attista-</p>

	biosensorus-govju-mastita-diagnostikai
1 publikācija LOSP facebook lapā	https://www.facebook.com/104382154310611/posts/412472436834913/?_rdr
2 prezentācijas LU CFI konferencēs: <i>23.02.2021. Kustīgu bioloģisko objektu elektromagnētiskā lauka viļņveida signāla reģistrēšanas ierīce.</i> Irina Gvardina, Alberts Kristiņš, Jānis Melderis, Juris Veinbergs, A. Drebotē, V. Stūre (Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts, SIA "Vet Health Spektrum") <i>24.02.2022. Bioloģisko objektu elektromagnētiskā lauka viļņveida signāla uztveres problēmas un risinājumi.</i> I. Gvardina, S. Gvozdevs, A. Kristiņš, J. Melderis, J. Veinbergs, A. Drebotē, V. Stūre (Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts, SIA "Vet Health Spektrum")	https://www.cfi.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/cfi/CFI_konferences/2021/Tezu_gramata-FINAL.pdf https://www.cfi.lu.lv/notikumi/konferences/gadskarteja-lu-cfi-konference/ieprieksejas-lu-cfi-konferences/2022-gads/
1 prezentācija: <i>Online workshop "Strength in numbers - network to innovate"</i> Organizators: Igaunų Valsts Lauku tīkls	https://maainfo.ee/index.php?id=7414&page=3333& 
1 publikācija mājas lapā	https://www.turbocow.ai/turbocow-completes-the-development-of-mastitis-diagnostics-system-with-promising-results/
1 LinkedIn vebinārs 19.04.2022 <i>How to boost up milk production and quality in the dairy industry in 2022?</i>	https://www.linkedin.com/events/howtoboostupmilkproductionandqu6897854362572722176/about/
1 publikācija LinkedIn lapā	https://www.linkedin.com/company/turbocow/

5.1. Izstrādātās sistēmas pielietošanas potenciāls

Projekta ietvaros izstrādātās sistēmas pielietošana:

1) COWOW veicinā ekonomiski dzīvotspējīgu lauksaimniecības ražošanas sistēmu attīstību, ievērojot ilgtspējas principus. Tiek palielināta piena ražošana un tādējādi piena saimniecību produktivitāte, jo izmantojot COWOW diagnostiku, piena ražotāji varēs minimizēt klīniskā mastīta gadījumus saimniecībās. Tiek uzlabota ūdens kvalitāte, samazinot antibiotiķu lietošanu.

2) Tehnoloģija, uz kuras pamata tika izveidota COWOW diagnostika, ir precīza un bezatlikuma, jo tajā netiek izmantoti nekādi reaģenti.

3) COWOW veicinā pilna cikla ražošanas nodrošināšanu no primārā lauksaimniecības produktu ražotāja līdz gatavās produkcijas pārstrādātājam, sadarbībā radot kompleksu ilgtspējīgu risinājumu, kas skar gan primāro ražotāju, gan pārstrādātāju. Izmantojot COWOW diagnostiku profilaktiskajā ārstēšanā primārais ražotājs palielinās piena ražošanu un tā kvalitāti (antibiotiķu lietošana tiks samazināta). Savukārt, pārstrādātājs, nopērkot pienu ar augstu kvalitāti no tāda ražotāja, ražo kvalitatīvu piena produkciju un tādējādi tiek paaugstināta pārstrādātāja konkurētspēja vietējā un eksporta tirgos.

4) COWOW rada pievienoto vērtību piena produkcijai, jo tiks izmantots vietējās izcelsmes piens. Pievienotā vērtība šajā gadījumā ir paaugstinātā piena kvalitāte, jo tiks samazināta antibiotiķu izmantošana, t.i. , pateicoties COWOW diagnostikai, fermeris identificē subklīnisko mastītu pašā agrīnajā stadijā, tādējādi iespēja pielietot citus ārstniecības protokolus, nevis ar antibiotikas.

5) COWOW diagnostikas iespējas uzlabos ekonomiskos rādītājus piena saimniecībās, palielinot piena ražošanu un tā kvalitāti. Klīniskā un subklīniskā mastīta un tādējādi neiegūtā piena dēļ, piena lauksaimnieki cieš ikgadējus zaudējumus, par kuriem Latvijas mērogā nav veikti konkrēti aprēķini, it īpaši, ja skatās uz subklīniskā mastīta ietekmi uz ekonomiskajiem rādītājiem. Subklīniskais mastīts nav vizuāli identificējams, tā identificēšanai Latvijā tiek veikti ikmēneša piena pārraudzības datu uzkrāšana, taču tas ir par maz, lai pilnvērtīgi uzraudzītu šo procesu un veiktu attiecīgās darbības tā novēršanai. Ir novērota somatisko šūnu daudzuma kolerācija ar izslaukuma kvantitāti un kvalitāti, kas norāda uz projekta ietvaros izstrādājamās COWOW sistēmas ieguldījumu piena saimniecību ekonomisko rādītāju uzlabošanā.

5.2. Secinājumi

1. Ņemot vērā pilottestu laikā iegūtos secinājumus un optimizējot visas reģistrācijas sistēmas sastāvdaļas, izdevās samazināt mērīšanas laiku, optimizēt kopējo datu plūsmu un palielināt datu pārraides ātrumu.
2. Eksperimentāli tika noskaidrots, ka iegūtā biosignāla analīzei signāla garumu var samazināt no sākotnējām 30 sekundēm līdz 15 sekundēm. Sākotnēji viena mērījuma ilgums rokas režīmā kopā ar informācijas ievadi bāzes stacijas datorā sastādīja 5 minūtes, tagad 1÷1,5 minūtes.
3. Biosensoru uzlabotā versija tika izmantota arī vairākos lielapjomu datu savākšanas testos piena ražošanas saimniecībās, lai papildinātu mākslīgajā intelektā balstītās programmatūras datu bāzi. Vairāk nekā 10 izbraukuma sesijās pavisam tika iegūti biosignālu spektri no vairāk nekā 1000 govīm tālākai datu analīzei.
4. Piena dziedzeris, kas ir brīvs no mastīta ierosinātājiem, viena mēneša laikā spēj uzrādīt somatisko šūnu skaita (SŠS) kritumu no vairākiem miljoniem uz 100 tūkstošiem.
5. Attiecībā uz biosignālu sensoru sistēmas pielietojumu mastīta agrīnajā diagnostikā, galvenais ir panākt to, lai uzlabotu spēju prognozēt somatisko šūnu skaita izmaiņas konkrētas govys pienā. Šajā izstrādes stadijā ģenerētai prognozei, kas balstīta uz biosignāla sensoru apstrādi ar mašīnmācīšanas algoritmu SVM un iepriekšējā mēneša informāciju par govys SŠS, tika konstatēta zināma sakritība ar reāli novēroto SŠS ($\kappa=0.32$), tomēr tā nerasniedz vidējas sakritības līmeni ($\kappa > 0.40$).
6. Pārbaudot biosignāla sensora diagnostisko precizitāti, viens no galvenajiem uzdevumiem ir izanalizēt sistēmas rādījumus pie galējiem mastīta ierosinātāju nozīmīguma stāvokļiem "0" un "3", jo šajā periodā iegūtie dati skaidri parāda to, ka abi šie stāvokļi turpmākā mēneša gaitā izšķiroši ietekmē govys SŠS attīstības virzienu.
7. Ar augstu precizitāti ($\kappa = 0.89$) somatisko šūnu skaita līmeņa kategoriju ir iespējams prognozēt, ja laikā starp divām govju ražības pārraudzības reizēm veic tesmeņa ceturkšņu piena paraugu izmeklēšanu uz mastīta ierosinātāja klātbūtni un iegūto rezultātu sērijveidā interpretē ar Kalifornijas mastīta testa rezultātu un dzīvnieka klīniskās izmeklēšanas rādītājiem.
8. Projekta laikā izstrādātā konvolucionālā neironu tīkla (CNN) modeļa novērtējuma laikā uz testa datu kopas, pielietojot krusteniskās validācijas algoritma metodi, tika sasniegta 93% precizitāte, kas norāda uz augstu mākslīgā intelekta tehnoloģiju izmantošanas potenciālu lauksaimniecības nozares inovāciju attīstībā.

Projekta koordinātoru, sadarbības partneru un atskaites sagatavotāju kontaktinformācija

- Vadošā partnera SIA Vet Health Spektrum kontaktpersonas un noslēguma atskaites sagatavotājas: Vita Stūre (e-pasts: vita.sture@gmail.com Tālrunis 27807588) un Anastasija Drebotē (e-pasts: anastacia.drebot@gmail.com Tālrunis 26074137) sadarbībā ar LLU un LU CFI);
- LLU kontaktpersona: Anda Valdovska (e-pasts: anda.valdovska@llu.lv);
- LU CFI: Anta Gailiņa (e-pasts: anta.gailisa@cfi.lu.lv)
- SIA Agrokaņinieki kontaktpersona: Aiva Gailuma (e-pasts: gailumaaiva@gmail.com);
- Z/S Zilūži Valts Grasbergs (e-pasts: info@grasbergs.lv)
- IK "Bikstu Brīvzemnieki": Uldis Kuzmickis (e-pasts: bikstubrīvzemnieki@inbox.lv)
- LOSP kontaktpersona: Edgars Treibergs (e-pasts: losp@losp.lv).

Atsauces

- Abdi, H., & Williams, L.J. 2010. Principal component analysis. Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics 2(4), 433-459, doi.org/10.1002/wics.101
- Huang, X., Shi, L., & Suykens, J.A. 2013. Support vector machine classifier with pinball loss. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 36(5), pp.984-997. DOI: 10.1109/TPAMI.2013.178
- Liao, X., Xue, Y., & Carin, L. 2005. Logistic regression with an auxiliary data source. In: Proceedings of the 22nd international conference on Machine learning, Bonn Germany August 7 - 11, 2005 pp. 505-512
- Schaffer, C. 1993. Selecting a classification method by cross-validation. Machine Learning, 13: 135-143; <https://doi.org/10.1023/A:1022639714137>
- Van Essen, B., Macaraeg, C., Gokhale, M., & Prenger, R. 2012. Accelerating a random forest classifier: Multi-core, GP-GPU, or FPGA?. In: 2012 IEEE 20th International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines, Toronto, Canada, April 29, 2012, through May 1, 2012, pp. 232-239.

Pielikums 1

IT daļas detalizētais apraksts

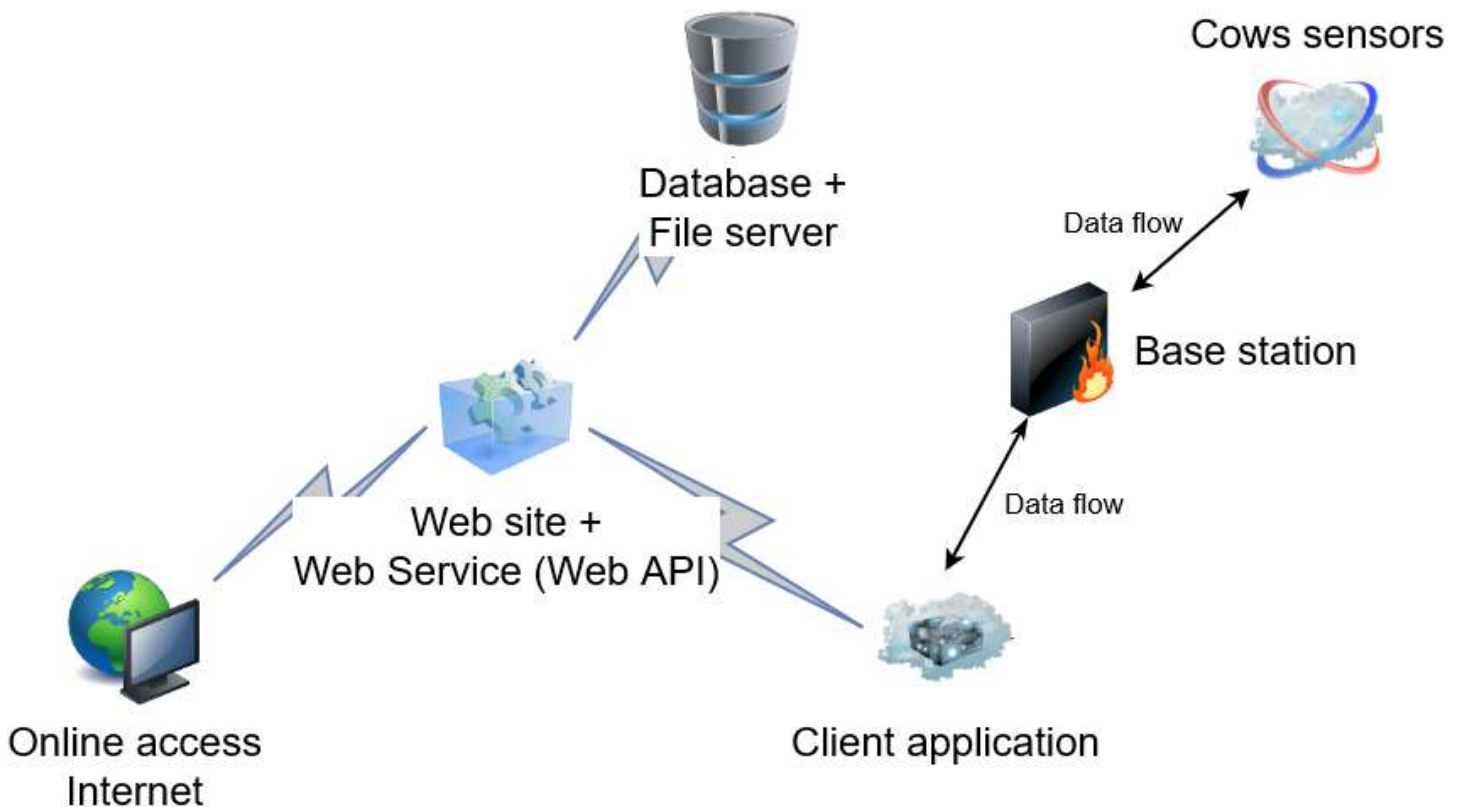
Saturs

1. Projekta struktūrdaļas	2
1.1. IT daļas	2
1.2. Izstrādes tehnoloģijas	3
2. Bāzes stacijas protokols	3
2.1. UART protokola realizācija	4
3. Klienta lietotne	6
3.1. Lietotnes mijiedarbība ar lietotāju un tīmekļa serveri	7
4. Tīmekļa lietotnes daļa	10
4.1. Tīmekļa lietotnes funkcionālās daļas	10
4.1.1. Lietotāja daļa	11
4.1.2. REST daļa	13
5. Paveikto IT darbu saraksts	14
6. Biosensora un bāzes stācījas elektronikas komponentu sastāvs	15

1. Projekta struktūrdaļas

Projekta ietvaros ir izveidota struktūra (sk. 1.1. att.), kas paredz:

- klienta lietotni, kas nodrošina mijiedarbību ar bāzes staciju, kurai ir pieslēgti dzīvnieku sensori;
- web serveri (var tikt iedarbināts arī lokāli), kas nodrošina klientam iespēju piekļūt datiem attālināti;
- datu bāzes serveri (var tikt iedarbināts arī lokāli), kas nodrošina datu apstrādi.



1.1. att. Projekta struktūrshēma

1.1. IT daļas

1. Client application – windows lietotne, kas nolasa dzīvnieku mērījumu datus un nodrošina pamata funkcionalitāti:

- 1.1. Darbības ar fermu datiem;
- 1.2. Darbības ar dzīvnieku datiem fermās;
- 1.3. Dzīvnieku datu iegūšana un saglabāšana datu bāzē.

2. Web Site + Web service – tīmekļa vietne, kas nodrošina piekļuvi dzīvnieku datiem un nosaka veselības statusu (diagnoze).

1.2. Izstrādes tehnoloģijas

Izstrādes vide: Microsoft Visual Studio

Tīmekļa daļas: ASP.NET MVC, Web API

Tīmekļa serveris: Windows

Bāzes dati + datņu serveris: MS SQL Server Express, MS SQL FileTable

2. Bāzes stacijas protokols

Projekta ietvaros dll bibliotēkas veidā ir realizēts UART protokols, kas nodrošina klienta lietotnes mijiedarbību ar bāzes staciju. Klienta aplikācija darbojas pēc noteiktā algoritma (scenārija):

N.p.k.	Komanda	Komandas apraksts
1.	UART_SET_TIME_COMM	Uzstādīt tekošo laiku
2.	UART_COW_SAMPLE_COMM	Nosūtīt bāzes stacijai pieprasījumu sagatavoties datu mērījumam
3.	UART_TEST_COMM_STATE_COMM	Pārbaudīt bāzes stacijas gatavību
4.		Uzgaidīt 30 sekundes
5.	UART_COW_SET_COMM	Nosūtīt bāzes stacijai pieprasījumu dzīvnieka parametru testēšanai
6.	UART_TEST_COMM_STATE_COMM	Pārbaudīt bāzes stacijas gatavību
7.	UART_COW_SEND_COMM	Nosūtīt bāzes stacijai pieprasījumu saņemt dzīvnieka mērījumu datus
8.	UART_TEST_COMM_STATE_COMM	Pārbaudīt bāzes stacijas gatavību
9.		Uzgaidīt 55 sekundes
10.	UART_SEND_PACKET_COMM	Nosūtīt bāzes stacijai pieprasījumu pārsūtīt mērījuma datus

2.1. UART protokola realizācija (1 datu pārraides programma)

Lai nodrošinātu lietotnei iespēju mijiedarboties ar bāzes staciju, tika realizēta komponente (*dll* bibliotēka), kas ir spējīga “komunicēt” ar bāzes staciju ar UART protokola palīdzību – *CowowSerialLib.dll*. Sistēmas kods:

Bibliotēkas inicializācija

```
public SerialLib(int baudRate = 256000, int dataBits = 8, Parity parity = Parity.None, StopBits stopBits = StopBits.One,
Handshake handshake = Handshake.None)
{
    m_sourcePort = new SerialPortStream();
    m_sourcePort.DataReceived += dataReceived;
    m_sourcePort.BaudRate = baudRate;
    m_sourcePort.DataBits = dataBits;
    m_sourcePort.Parity = parity;
    m_sourcePort.StopBits = stopBits;
    m_sourcePort.Handshake = handshake;
}
```

Pieprasījuma nosūtīšana un atbildes sagaidīšana

```
/// <summary>
/// send and wait the answer
/// </summary>
/// <typeparam name="T"></typeparam>
/// <param name="cowowRequest"></param>
/// <param name="cancellationToken"></param>
/// <returns></returns>
private async Task<CowowResponse<T>> MakeRequestAsync<T>(CowowRequest cowowRequest, CancellationTokn
cancellationToken)
{
    CowowResponse<T> res = null;
    try
    {
        var waiter = this.CreateWaiter<T>(cowowRequest.Id);
        sendData(cowowRequest.Request);
        await waiter.WaitAsync(cancellationToken);
        res = waiter.GetResponse<T>();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Debug.WriteLine(ex.ToString());
        res = null;
    }
    finally
    {
        this.waitersCache.Remove(cowonRequest.Id);
    }
    return res;
}
```

Bāzes stacijas atbildes atpazīšana

```
public void TryParseResponse(byte[] data)
{
    try
    {
        this.response = new CowowResponse<T>();
        this.response.Response = data;

        UARTSCommands curCommand = UARTSCommands.UART_UNKNOWN;
        if (this.response.Response.Length > 0)
        {
            switch (this.response.Response[0])
            {
                case 0x13:
                {
                    curCommand = UARTSCommands.UART_SET_TIME_COMM;
                    var tmp = m_parser.ParseTimeData(response.Response);
                    T result;
                    if (tmp.TryCast(out result))
                    {
                        Debug.WriteLine(result);
                        this.response.Result = result;
                    }
                    break;
                }
                case 0x57:
                {
                    curCommand = UARTSCommands.UART_COW_SAMPLE_COMM;
                    var tmp = m_parser.ParseCowSample(response.Response);
                    T result;
                    if (tmp.TryCast(out result))
                    {
                        Debug.WriteLine(result);
                        this.response.Result = result;
                    }
                    break;
                }
                case 0x1D:
                {
                    curCommand = UARTSCommands.UART_TEST_COMM_STATE_COMM;
                    var tmp = m_parser.ParseTestCommState(response.Response);
                    T result;
                    if (tmp.TryCast(out result))
                    {
                        Debug.WriteLine(result);
                        this.response.Result = result;
                    }
                    break;
                }
                case 0x85:
                {
                    curCommand = UARTSCommands.UART_SEND_PACKET_COMM;
                    var tmp = m_parser.ParseSendPacket(response.Response);
                    T result;
                    if (tmp.TryCast(out result))
                    {
                        this.response.Result = result;
                    }
                    break;
                }
                case 0x49:
                {
                    curCommand = UARTSCommands.UART_COW_SEND_COMM;
                    var tmp = m_parser.ParseCowSend(response.Response);
```

```

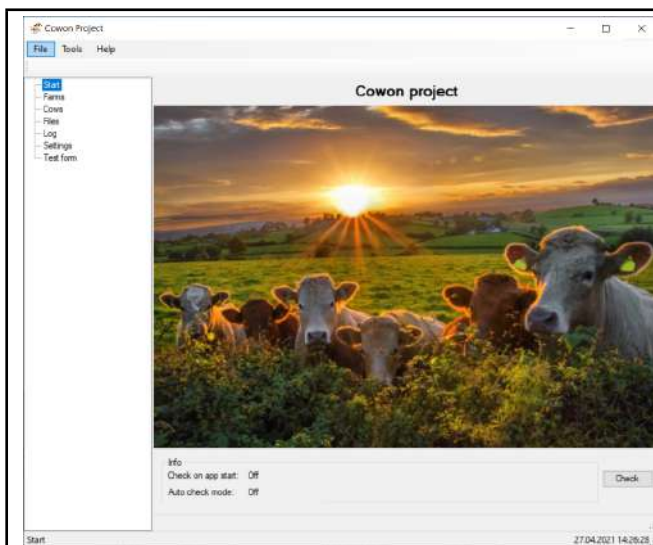
T result;
if (tmp.TryCast(out result))
{
    Debug.WriteLine(result);
    this.response.Result = result;
}
break;
}
}
case 0x38:
{
    curCommand = UARTSCommands.UART_COW_SET_COMM;
    var tmp = m_parser.ParseCowSet(response.Response);
    T result;
    if (tmp.TryCast(out result))
    {
        Debug.WriteLine(result);
        this.response.Result = result;
    }
    break;
}
default: break;
}
}
}
}
catch (Exception ex)
{
    this.parseException = ex;
}
finally
{
    this.Abort();
}
}
}

```

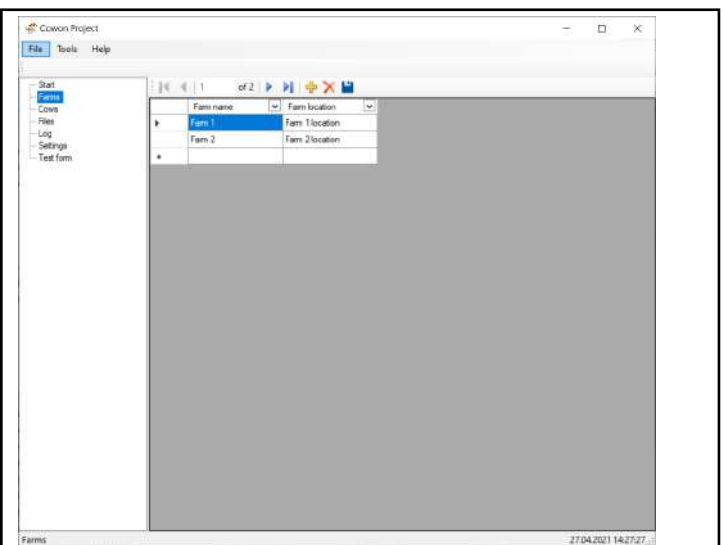
3. Klienta lietotne

Projekta ietvaros ir izstrādāta klienta lietotne, kas nodrošina pamata funkcionalitāti:

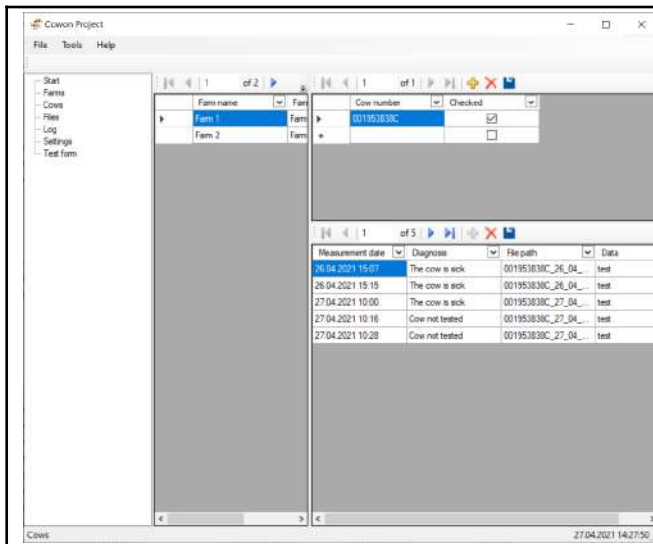
- Darbības ar fermu datiem;
- Darbības ar dzīvnieku datiem fermās;
- Dzīvnieku datu iegūšana un saglabāšana datu bāzē.



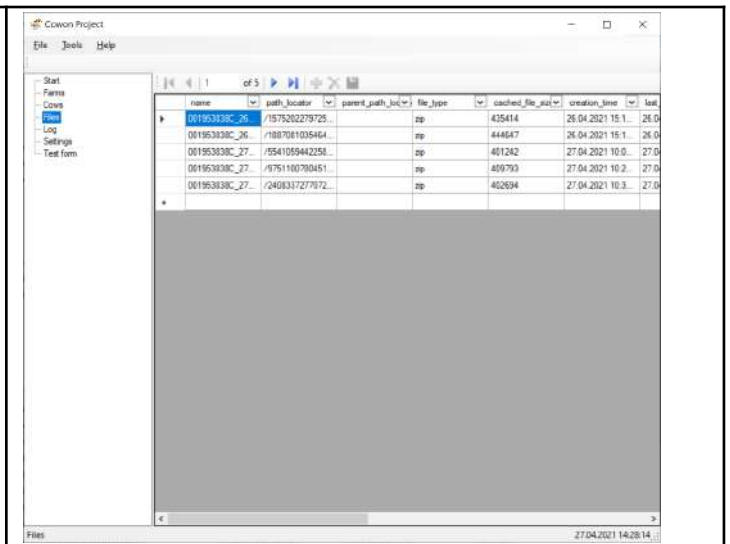
Pamata ekrāns



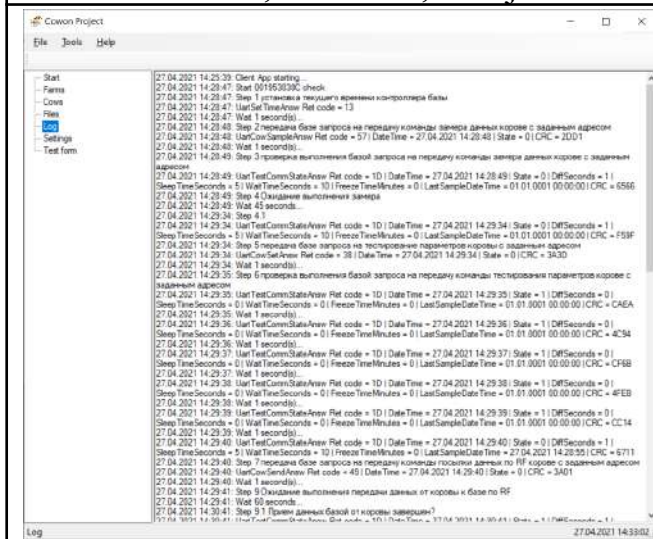
Fermu saraksts



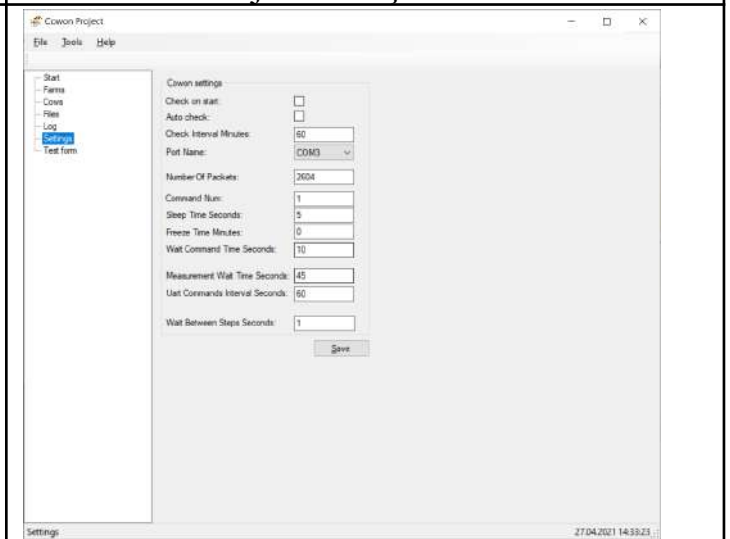
Fermas, dzīvnieki, mērījumi



Mērījumu datņu saraksts



Žurnāls



Iestatījumi

3.1. Lietotnes mijiedarbība ar lietotāju un tīmekļa serveri (1 lietotāja programma)

Tehniski lietotne ir izveidota *Visual Studio* vidē un nodrošina gan lietotāja mijiedarbību ar bāzes staciju (ar *CowonSerialLib.dll*), kurai ir pieslēgti dzīvnieku sensori, gan darbības, kas ir saistītas ar datu apstrādi. Sistēmas kods:

Interfeiss, kas apraksta tīmekļa vietnes atbalstāmos REST pieprasījumus

```
public interface ICowowApi
{
    [Header("Authorization")]
    AuthenticationHeaderValue Authorization { get; set; }

    [Post("CheckUser")]
    Task<bool> CheckUser([Body] UserModel user);
    [Post("GetUser")]
    Task<UserModel> GetUserData([Body] UserModel user);
    [Post("GetFarms")]
    Task<List<EF.Farms>> GetFarms([Body] UserModel user);
    [Post("GetFarmsOnly")]

```

```

Task<List<EF.Farms>> GetFarmsOnly([Body] UserModel user);
[Post("AddOrUpdateFarms")]
Task<int> AddOrUpdateFarms([Body] RestBase farms);
[Post("DeleteFarms")]
Task<int> DeleteFarms([Body] RestBase farms);
[Post("GetCows")]
Task<List<EF.Cows>> GetCows([Body] UserModel user);
[Post("AddOrUpdateCows")]
Task<int> AddOrUpdateCows([Body] RestBase cows);
[Post("DeleteCows")]
Task<int> DeleteCows([Body] RestBase cows);
[Post("GetMeasurements")]
Task<List<EF.Measurements>> GetMeasurements([Body] UserModel user);
[Post("AddOrUpdateMeasurements")]
Task<int> AddOrUpdateMeasurements([Body] RestBase measurements);
[Post("DeleteMeasurements")]
Task<int> DeleteMeasurements([Body] RestBase measurements);
[Post("GetDocumentsInfo")]
Task<List<EF.vDocumentInfo>> GetDocumentsInfo([Body] UserModel user);
[Post("GetFile")]
Task<Stream> GetFile([Body] RestBase data);
[Post("UploadFile")]
Task<bool> UploadFile([Body] RestBase data);
}

```

Metode Start, kas uzsāk sensoru aptauju

```

public async Task Start()
{
    try
    {
        m_processCore.ClosePort();
        m_processCore.OpenPort(m_port);
        {
            RestApi.CowowRestApi restApi = new RestApi.CowowRestApi();
            var cows = await restApi.GetCows();
            int total = cows.Count;
            int current = 1;
            foreach (var cow in cows)
            {
                ProcessEventArgs args = new ProcessEventArgs(null, cow.CowNumber, current++, total);
                m_processCore.FireOnProcessInfoReceived(args);
                var res = await m_processCore.CheckCow(cow.CowNumber);
                if (res != null)
                {
                    await Save(cow, res);
                }
            }
            //wait after check
            await m_processCore.WaitCorrect(SettingsManager.Settings.SleepTimeSeconds);
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Debug.WriteLine(ex.Message);
        Logger.Error(ex);
    }
    finally
    {
        m_processCore.ClosePort();
        ProcessEventArgs args = new ProcessEventArgs($"END");
        m_processCore.FireOnProcessInfoReceived(args);
    }
}

```

```
}
```

Metode, kas saglabā dzīvnieka sensora datus (zip arhīva veidā) datu bāzē ar REST palīdzību

```
public async Task Save(Cows cow, CowonSharedDataTypes.UartSendPacketAnsw obj)
{
    try {
        string jsonData = JsonConvert.SerializeObject(obj, Formatting.Indented);
        using (var stringStream = Converters.GenerateStreamFromString(jsonData))
        {
            using (MemoryStream zipStream = new MemoryStream())
            {
                string strZipFileName = "";
                string strFileName = "";
                string cowAddress = Converters.ByteArrayToString(obj.ZeroPacket.CowAddress);
                strFileName = $"{cowAddress}_{obj.ZeroPacket.DateTime.ToString("dd_MM_yyyy_HH_mm")}.json";
                var writerOptions = new WriterOptions(CompressionType.Deflate);
                {
                    using (var zipWriter = WriterFactory.Open(zipStream, ArchiveType.Zip, writerOptions))
                    {
                        zipWriter.Write(strFileName, stringStream);
                    }
                }
                //calculate the crc
                uint crc32 = Force.Crc32.Crc32Algorithm.Compute(zipStream.ToArray());
                Debug.WriteLine(crc32.ToHexString());
                Debug.WriteLine($"{crc32:X8}");

                strZipFileName =
                $"{cowAddress}_{obj.ZeroPacket.DateTime.ToString("dd_MM_yyyy_HH_mm")}_{crc32:X8}.zip";

                //save raw data
                RestApi.CowowRestApi restApi = new RestApi.CowowRestApi();
                zipStream.Position = 0;
                bool saveResult = await restApi.UploadFile(strZipFileName, zipStream);
                if (saveResult)
                {
                    //save data
                    Measurements newMeasurement = new Measurements()
                    {
                        CowId = cow.CowId,
                        MeasurementDate = obj.ZeroPacket.DateTime,
                        Diagnosis = -1, //not calculated here
                        FilePath = strZipFileName
                    };
                    List<EF.Measurements> measurementsListToSave = new List<Measurements>();
                    measurementsListToSave.Add(newMeasurement);
                    int count = await restApi.AddOrUpdateMeasurements(measurementsListToSave);
                    if (count <= 0)
                    {
                        Debug.WriteLine($"Error: Can't save measurement data!");
                        Logger.Info($"Error: Can't save measurement data!");
                    }
                }
            }
            else
            {
                Debug.WriteLine($"Error: Can't save measurement data file!");
                Logger.Info($"Error: Can't save measurement data file!");
            }
        }
    }
}
```

```

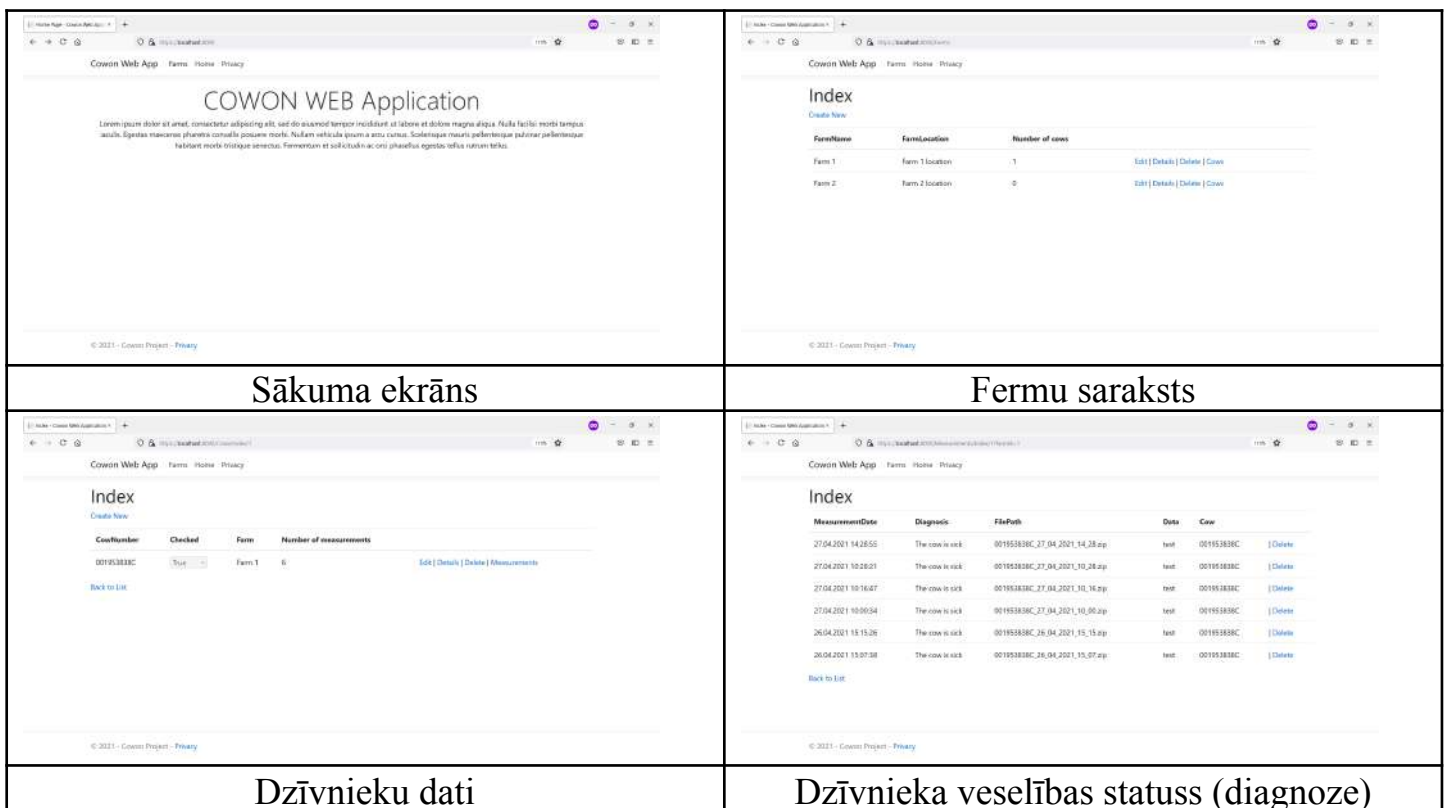
catch (Exception ex)
{
    Debug.WriteLine(ex.Message);
    Logger.Error(ex);
}
}

```

4. Tīmekļa lietotnes daļa

Projekta ietvaros ir izstrādāta tīmekļa lietotne, kas nodrošina pamata funkcionalitāti:

- piekļuve dzīvnieku datiem;
- dzīvnieku veselības statusa (diagnoze) noteikšana;
- REST metodes, kas nodrošina mijiedarbību ar klienta (bāzes stacijas) lietotni.



4.1. Tīmekļa lietotnes funkcionālās daļas

Tehniski lietotne ir izveidota *Visual Studio* vidē ar *ASP.NET Core* tehnoloģijas palīdzību. Tīmekļa vietne satur gan lietotāja darbu daļu, gan *REST* pieprasījumu apstrādes daļu.

4.1.1. Lietotāja daļa

Pieņemot, ka tīmekļa lietotne ir pieejama Internet vidē, lietotājam ir iespēja piekļūt datiem attālināti – apskatīt (dzīvnieku stāvokļa kontrole), rediģēt jeb mainīt sensoru datus, nosakot

režīmus utml. Lai nodrošinātu dažādu lietotāju darbu, sistēmā ir ieviesti standarta piekļuves kontroles mehānismi.

Klase, kas realizē lietotāja piekļuves tiesību kontroli

```
namespace CowonWebCore.Authorization
{
    public interface IUserPermissionService
    {
        /// <summary>
        /// Returns a new identity containing the user permissions as Claims
        /// </summary>
        /// <param name="sub">The user external id (sub claim)</param>
        /// <param name="cancellationToken"></param>
        ValueTask<ClaimsIdentity?> GetUserPermissionsIdentity(string userName, CancellationToken cancellationToken);
    }
    public class UserPermissionService : IUserPermissionService
    {
        private readonly CowonDBContext _dbContext;

        public UserPermissionService(CowonDBContext dbContext)
        {
            _dbContext = dbContext;
        }

        public async ValueTask<ClaimsIdentity?> GetUserPermissionsIdentity(
            string userName, CancellationToken cancellationToken)
        {
            List<Claim> userPermissions = new List<Claim>();
            try
            {
                userPermissions = await
                    (from up in _dbContext.UserPermissions
                     join perm in _dbContext.Permissions on up.PermissionId equals perm.PermissionId
                     join user in _dbContext.Users on up.UserId equals user.UserId
                     where user.Email == userName
                     select new Claim(AppClaimTypes.Permissions, perm.Name)).ToListAsync(cancellationToken);
            }
            catch (Exception ex)
            {
                Debug.WriteLine(ex.Message);
                throw;
            }

            return CreatePermissionsIdentity(userPermissions);
        }

        private static ClaimsIdentity? CreatePermissionsIdentity(IReadOnlyCollection<Claim> claimPermissions)
        {
            if (!claimPermissions.Any())
                return null;

            var permissionsIdentity = new ClaimsIdentity(nameof(PermissionsMiddleware), "name", "role");
            permissionsIdentity.AddClaims(claimPermissions);

            return permissionsIdentity;
        }
    }
}
```

Metode, kas ielādē (no datu bāzes) un atspoguļo sensoru datus

```
public async Task<ActionResult> LoadData(DataTablesAjaxPostModel model)
{
    try
    {
        System.Security.Claims.ClaimsPrincipal currentUser = this.User;
        if (currentUser == null)
        {
            return NotFound();
        }
        var userClaim = currentUser.FindFirst(System.Security.Claims.ClaimTypes.NameIdentifier);
        if (userClaim == null)
        {
            return NotFound();
        }
        int userId = Convert.ToInt32(userClaim.Value);
        Debug.WriteLine(userId);

        var request = new DataTablesRequest<DashboardModel>(model);

        List<Cows> cowsDbList = await _context.Farms
            .Where(f => f.User.UserId == userId)
            .SelectMany(f => f.Cows)
            .Include(m => m.Measurements)
            .Where(c => c.Checked)
            .OrderBy(c => c.CowNumber)
            .ToListAsync();

        //create a list of Models
        List<DashboardModel> dashboardModelList = new List<DashboardModel>();
        foreach (var cow in cowsDbList)
        {
            var measurement = cow.Measurements.LastOrDefault();
            DashboardModel item = new DashboardModel()
            {
                CowId = cow.CowId,
                CowNumber = cow.CowName,
                SensorNumber = cow.CowNumber,
                Progress = 1
            };
            if (measurement != null)
            {
                item.CowStatus = measurement.CowStatus;
                item.StatusDate = measurement.MeasurementDate;
                if (measurement.Diagnosis >= 0)
                {
                    item.Progress = 100;
                }
            }
            dashboardModelList.Add(item);
        }
        //apply sorting, filtering etc
        var resList = await dashboardModelList.ToPagedListAsync(request);

        var res = Json(new { draw = request.Draw, recordsTotal = resList.TotalCount, recordsFiltered = resList.TotalCount,
data = resList });
        return res;
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Debug.WriteLine(ex.Message);
    }
}
```

```

    throw;
  }
}

```

4.1.2. REST daļa

Lai nodrošinātu iespēju klienta lietotnei (darbs ar bāzes staciju) iespēju mijiedarboties ar tīmekļa servera daļu, ir realizēta arī REST funkcionalitāte. Zemāk ir sistēmas kods:

Tīmekļa vietnes metodes, kas nolasa datu bāzes datus un ģenerē pieprasījuma atbildi

```

[HttpPost]
[Route("GetFarms")]
public async Task<ActionResult> GetFarms([FromBody] UserModel user)
{
    var userModelActionResult = await GetUser(user);
    user = userModelActionResult.ModelFromActionResult<UserModel>();
    if (user == null)
    {
        return userModelActionResult;
    }

    var result = await _context.Farms.Where(f => f.User.UserId == user.UserId)
        .Include(c => c.Cows)
        .ThenInclude(m => m.Measurements)
        .AsSplitQuery()
        .ToListAsync();
    //sort measurement items by desc
    foreach (var farm in result)
    {
        foreach (var cow in farm.Cows)
        {
            if (cow.Measurements != null)
            {
                cow.Measurements = cow.Measurements.OrderByDescending(m => m.MeasurementDate).ToList();
            }
        }
    }
    return Ok(result);
}

```

```

[HttpPost]
[Route("GetFarmsOnly")]
public async Task<ActionResult> GetFarmsOnly([FromBody] UserModel user)
{
    var userModelActionResult = await GetUser(user);
    user = userModelActionResult.ModelFromActionResult<UserModel>();
    if (user == null)
    {
        return userModelActionResult;
    }
    List<Farms> result = new List<Farms>();
    var dbResult = await _context.Farms.Where(f => f.User.UserId == user.UserId)
        .ToListAsync();
    foreach (Farms farm in dbResult)
    {
        var newFarm = new Farms()
        {
            FarmId = farm.FarmId,
            FarmName = farm.FarmName,

```

```

FarmLocation = farm.FarmLocation,
UserId = farm.UserId,
};
result.Add(newFarm);
}
return Ok(result);
}

```

5. Paveikto darbu saraksts

Projekta ietvaros tika izpildīts:

N.p.k.	Uzdevuma nosaukums
1.	Esošās dokumentācijas izpēte
2.	Pamata funkcionalitātes definēšana
3.	Izstrādes tehnoloģiju izvēle
4.	Darbstaciju, tīkla konfigurēšana
5.	UART protokola realizācija
6.	UART protokola pārbaude
7.	Datubāzes modeļa izveide
8.	Klienta lietotnes izveide
9.	Klienta lietotnes pamata funkcionalitātes pārbaude
10.	Tīmekļa lietotnes izveide
11.	Tīmekļa lietotnes pamata funkcionalitātes pārbaude
12.	Dzīvnieku veselības statusa noteikšanas moduļa konfigurēšana un integrēšana
13.	Dzīvnieku veselības statusa noteikšanas moduļa ieviešana
14.	Dzīvnieku veselības statusa noteikšanas moduļa pamata funkcionalitātes pārbaude
15.	Tīmekļa vietnes (Google cloud) konfigurēšana

Biosignāla uztvērējs : pamatkomponentes

Operacionālie pastiprinātāji AD8605ARTZ-REEL MCP6V81T-E/OT MCP6V91T-E/OT
Sprieguma stabilizatori MAX604CPA+
Mikrokontrolli RC-CC1310F-868 RC-CC1352-868

Akumulatori un akumul. turēt. INR18650F1L NCR18500A BHC-18650-1A
Atmiņa GD25Q16CSIG
Antena un kabelis ANT-868-CW-RCS-SMA AFACAC049018-S868 GSM-IPX/SMA
Baterijas ER18505 no Eve Energy Co. LTD 3,6V

Bāzes stacijas izveides pamatkomponentes

Mikrokontroleris RC-CC1310F-868
USB- UART pārveidotājs FT232RL-REEL UMFT230XB-01 OKY3406-1
Sprieguma stabilizatori MAX604CPA+
Korpusi: TKC-WP8-10-2G TKC-WP8-8-2G
Antena un kabelis ANT-868-CW-RCS-SMA GSM-IPX/SMA

Izstrādes līdzekļi:

Programmators TMDSEMU110-U no TEXAS INSTRUMENTS LAUNCHXL-CC1352P1 LAUNCHXL-CC1310
--