

Projekta

**“ZIEMAS KVIEŠU MONITORINGS IZMANTOJOT SPEKTROSKOPISKĀS
METODES”**

NOSLĒGUMA PĀRSKATS

Līguma nr: 19-00-A01620-000059

Projekta pieteicējs: Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas institūts

Projekta partneris: ZS “Pīlādži”

Projekta īstenošanas periods: 01.03.2020 – 30.09.2022.

Kopējās projekta izmaksas (faktiskās): 74 427.64 EUR

SATURA RĀDĪTĀJS

1. Metode	4
1.1. Veģetācijas indeksi	4
1.2. Konkurentu produkti	7
1.3. Priekšizpēte prototipiem	7
2. Iekārtas izveide kartēšanai - Pirmais prototips	9
2.1. Pamatojums un priekšizstrāde	9
2.2. Uzbūve	11
3. Iekārtas izveide reāllaika kartēšanai - Otrais prototips	16
3.1. Pamatojums un priekšizstrāde	16
3.2. Prototipa uzbūve	21
4. Veikto mērīšanas darbu apkopojums	26
5. Programmatūras piekļuve	31
6. Kopsavilkums	31
Literatūras saraksts	33

Projekta mērķis un uzdevumi:

Pielāgot Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas institūtā (LU CFI) izstrādātās spektroskopijas tehnoloģijas ziemas kviešu monitoringam. Pārbaudīt šīs tehnoloģijas pielietošanu praksē konkrētas vienas zemnieku saimniecības ietvaros.

Projekta uzdevumi un darbu sadalījums pa sadarbības partneriem:

LU CFI uzdevumi:

- 1) Spektroskopijas metodes izstrāde un pārbaude reālos apstākļos (Izdarītais: izveidota un pārbaudīta metode kurā izmantoti dati no spektrometriem);
- 2) Spektrometra pielāgošana lauksaimniecībā un modificēšana (Izdarītais: veikta prototipu izveide).

ZS "Pīlādži" uzdevumi:

- 1) Ražas kontrole pa laukiem un ražas kartēšana pa pilotlaukiem (Izdarītais: vākti ražas dati pa laukiem, veikti ražas mērījumi izmantojot "New Holland" kombaina ražas sensoru);
- 2) Zemes analīžu veikšana (Izdarītais: nodrošināts ārpakalpojums un iegūti rezultāti);
- 3) Minerālmēsļu precīzā sēja (Izdarītais: minerālmēsļu izsēja pilotlaukiem atbilstoši dozai).

LU CFI un ZS "Pīlādži" uzdevumi:

- 1) Spektroskopijas mērījumi laukiem un mērījumi augu dažādās stadijās.

Ieguvumi:

- 1) Iegūta jauna metode, kas nodrošina dažādu indeksu iegūšanu;
- 2) Izveidoti unikāla prototipa iekārta;
- 3) Veiti kartēšanas darbi;
- 4) Iegūts ražas palielinājums un novērsta labības sakrišana veldrē;
- 5) Saimniecība varēs izmantot prototipa iekārtu.

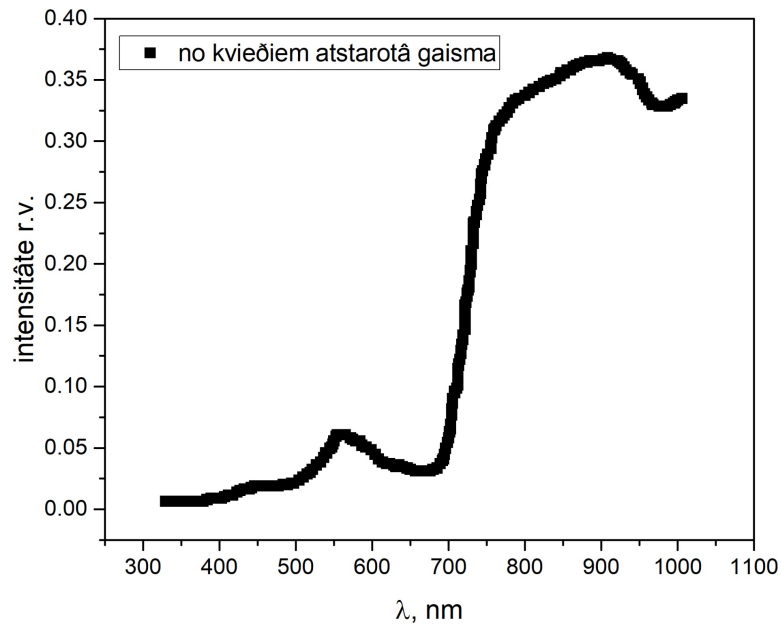
1. Metode

1.1. Veģetācijas indeksi

Kultūraugu blīvums un veselības stāvoklis nav viendabīgs visā laukā [1], tāpēc, veicot minerālmēslu izsēju, nepieciešams sekot līdzi augu blīvumam, stāvoklim un kādā augšanas stadijā augs ir. Izmantojot konvenciālo minerālmēslu izsēju, agronoms pēc dažām apskates vietām nosaka izsējas normu visam laukam - bieži tā ir vizuāla lauka novērtēšana. Šādi visam laukam tiek piemērota vidējā doza. Otrkārt, hlorofila daudzumu parasti nosaka vizuāli, kas ir ļoti subjektīvs paņēmieni [2].

Lai izvairītos no subjektīviem novērojumiem, pēdējā laikā bieži tiek izmantoti “N” sensori vai “crop sensor” kuras ražo “Yara N”, “Greenseeker” un citi [3]. Taču šādi rokās turamie portatīvie sensori neatrisina lauka nevienmērības problēmu.

Konvenciālās lauksaimniecības vietā pēdējos gados parādās dažādi precīzās lauksaimniecības risinājumi, kuru uzdevums ir samazināt lauka neviendabīguma ietekmi uz ķīmijas lietošanu. Parasti tiek izmantotas divas stratēģijas: (I) reālā laika analīze un izsējas normas kontrole, un (II) izsējas normas kartes izveide. Abās izmanto vienu un to pašu piegājienu - atstarotās gaismas analīzi



1.attēls. Piemērs no kviešiem atstarotās gaismas spektram UV, VIS, NIR diapazonā

Šāda atstarotā gaisma ietver informāciju par hlorofila daudzumu, augus stresu, slimībām un blīvumu.

Viena no iespējām, lai iegūtu informāciju par kādu no šiem faktoriem, ir izmantot indeksus, kuri ir balstīti/iegūti ar empīriski-statistiskām metodēm. Izvēlētajiem veģetācijas parametriem, tiek piemeklēti optimālie atstarotās gaismas viļņu garumi un izveidots vienādojums, lai izceltu konkrēto īpašību, kas arī veido indeksu. Ļoti populārs ir NDVI (normētais veģetācijas indekss) indekss, kuram izmanto divus viļņu garumus, kur sarkanajā apgabalā hlorofils izraisa absorbciju, bet infrasarkanajā apgabalā augiem ir izteikta, intensīva atstarošanās intensitāte [4]. Vienkāršojot, jo lielāka vērtība, jo veselīgāka veģetācija (veselīgums gan konkrēti pamatā attiecas uz augu blīvumu).

Šis ir viens no vecākajiem indeksiem un ar laiku tas tika papildināts, kur tika ņemta vērā arī augsnes ietekme.

$$\begin{array}{l} \text{Optimized Soil} \\ \text{Adjusted} \\ \text{Vegetation Index} \end{array} \quad \text{OSAVI} = \frac{(1+0.16) \cdot (R_{800} - R_{670})}{R_{800} + R_{670} + 0.16}$$

$$\begin{array}{l} \text{Normalized} \\ \text{Difference} \\ \text{Vegetation Index} \end{array} \quad \text{NDVI}_{Datt} = \frac{R_{800} - R_{680}}{R_{800} + R_{680}}$$

Līdzīgi ir ar slāpekļa daudzuma augā noteikšanu, kur bieži izmanto NRI (slāpekļa atstarošanāsindekss) vai NSI (slāpekļa iztrūkuma indekss). Šiem indeksiem par pamatu ir zaļā un tuvā infrasarkanā attiecība.

Šādus indeksus vai to atvasinājumus izmanto lielākā daļa “slāpekļa” sensoru. Pašreiz agronomijas zinātnes jomā ir aprakstīti un pielietoti vairāk kā 50 dažādu indeksu [5, 6]. Dažādo indeksu izmantošanai ir vairāki iemesli: (I) pētāmās augu kultūras, (II) pieejamā mērījumu tehnoloģija un (III) vēlamais veģetācijas parametrs.

Jāatzīmē, ka lielākā daļa no indeksiem radušies pēdējās desmitgadēs un to attīstība turpinās. Mūsu izstrādātais tehniskais risinājums tā vietā, lai nomērītu spektru divos diskrētos punktos, nomēra visu spektru redzamā un tuvā infrasarkanā spektra diapazonā. Attiecīgi nomērītie spektri iekļauj pilnīgi visu nepieciešamo informāciju par augu. Un, izmantojot pilnu spektru, iespējams izmantot praktiski jebkuru no veģetācijas novērtēšanas indeksiem.

Lai nodrošinātu precīzo izsēju atbilstoši izvēlētajam indeksam (mūsu gadījumā izmēģinājumus sākām ar modifīcētu hlorofila absorbcijas atstarošanās indeksu) [7], tika veikti lauka kartēšana, nomērot spektrus pie atbilstošajām GPS koordinātēm, atbilstoši NDVI indeksam aprēķināta izsējas normas korekcija un izveidots ISOBUS fails minerālmēslu izsējai.

$$MCARI1 = 1.2 \cdot [2.5 \cdot (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \cdot (R_{800} - R_{550})]$$

Neskatoties, ka izvēlēta kartēšana, projekta realizācijas laikā nonākts pie secinājuma, ka praktiskai lietošanai būtu labāka arī reālā laika izsēja. Tāpēc projekta izpildes laikā metode un iekārta pilnveidota un nodrošina vienlaicīgi reālā laika aprēķinus un kartēšanu. Plašāka informācija par iekārtām un to modifikācijām atrodama pie prototipu aprakstiem.



2.attēls. Piemērs no ziemas kviešu lauka nevienmērīguma pavasarī

1.2. Konkurentu produkti

Pašreiz daži industriāli ražotie un produkti jau lieto atstaroto gaismu slāpekļa dozēšanai (“Yara-N” un “Greenseeker”), taču šīs sistēmas dozas noteikšanai izmanto divas fotodiodes, kas analizē gaismu tikai divos viļņu apgabalos un attiecīgi šīs sistēmas ir neprecīzas un praktiski dod tikai informāciju par vienu indeksu. Balstoties uz “Yara N” un “Greenseeker” izmantotajām diodēm (660 un 780 nm) visticamāk tiek izmantots kāds no NDVI indeksa paveidiem, kas vairāk dod informāciju par augu blīvumu [8]. Šis indekss ir arī mazāk jūtīgs pret atšķirībām starp augu kultūrām. Tāpat šīs iekārtas nekorekti noskaitīs zemes fonu. Abas minētās sistēmas ir reālā laika sistēmas, respektīvi, tiek nomērīta informācija no diodēm un pēc izvēlēta algoritma aprēķināta minerālmēslu izsējas dozas korekcija.

Kā otra alternatīva ir dronu izmantošana, kur informācija tiek iegūta attēlu veidā (no diožu matricas), kur katram pikselim ir trīs RGB fotodiodes, taču dronu iekārtu galvenais mīnuss ir tas, ka no spektrālā apgabala parasti tiek nofiltrēts UV un NIR apgabals, paliek apgabals no 420nm līdz 700 vai 720nm, attiecīgi nogriezts svarīgais infrasarkanais apgabals [9]. Līdzīgspiegājiens ir informāciju iegūt no satelītiem, kam ir plašs spektrālais diapazons, taču ierobežota izšķirtspēja un datu pieeja [10].

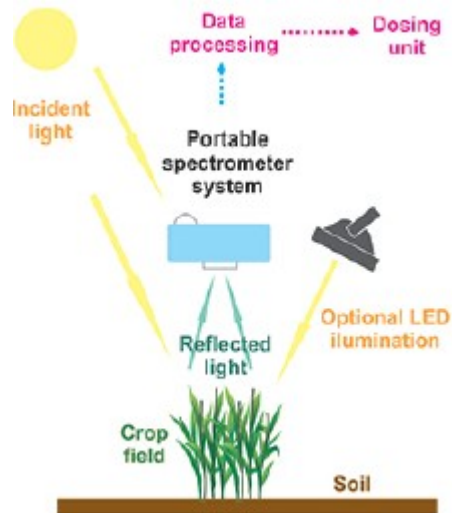
Esošās iekārtas skatās atstaroto gaismu un izmanto NDVI indeksu, kas ir jūtīgs pret atmosfēras radītajiem traucējumiem un īpaši tā ir apzināta satelītu spektroskopijai [11].

1.3. Priekšizpēte prototipiem

Konkurentu galvenais trūkums (izņemot satelītus) ir ierobežotais spektrālais apgabals un selektīvi mērījuma punkti, kā arī nav iespējams novērtēt krāsošās gaismas sadalījumu un zemes radīto fonu. Lai iegūtu pilnu kultūraugus un to stāvokli reprezentējošu indeksu, nepieciešams veikt mērījumus vairākos punktos redzamā un tuvā infrasarkanā spektra diapazonā, kā arī koriģēt uz krāsošās gaismas spektrālo sadalījumu.

Acīmredzams risinājums ir izmantot spektrometrus – ierīces, kas pārvērš gaismu viļņu garumu komplektā un spēj labāk atšķirt krāsu atšķirības nekā cilvēka acs, kā arī redzēt gaismu ārpus redzamās gaismas spektra. Tie ir precīzi, ātri un vairāk novērš nepieciešamību pēc subjektīva augu veselības novērtējuma.

Balstoties uz LU CFI pieredzes spektroskopijas mērījumos un iekārtu izveidē, jau projekta sagatavošanas- priekšizpētes laikā tika ieskicēts prototipa darbības koncepts.



3.attēls. LU CFI Prototipa darbības koncepts

Galvenie izvirzītie pamatprincipi mērīšanas sistēmai prototipam ir: (I) mērīt visu spektru, izmantojot spektrometru un (II) mērīt krītošo gaismu, lai iegūtu spektrāli koriģētu atstarošanās spektru (III) nodrošināt iespēju saglabāt datus ar koordinātām (kartēšana).

2. Iekārtas izveide kartēšanai - Pirmais prototips

2.1. Pamatojums un priekšizstrāde

Šī projekta posmā tika veikta iepriekš uzņemtu datu analīze ar trīs galvenajiem mērķiem.

Pirmkārt, lai novērtētu datu kvalitāti un pielietojamību reālai augu lapotņu spektrālai analīzei. Spektru kvalitāte ir svarīgs parametrs iekārtas efektivitātei, jo tie tiks izmantoti kā ievaddati lēmumu pieņemšanas algoritmiem. Šīs darbības pamatmērķis ir nepieļaut situāciju, kurā analīzes algoritmu darbības rezultāts ir neparedzams vai nevēlams “sliktu” ievaddatu dēļ.

Otrkārt, analizējot datus no abiem spektrometriem un GPS čipa, kā vienotu datu kopu var novērtēt iekārtas modifikācijas galvenos punktus. Piemēram, pēc spektru analīzes tika secināts, ka nepieciešams pievērst īpašu uzmanību augšējā “korekcijas” spektrometra difuzoram un filtru kopai, lai korekti atspoguļotu ārējā apgaismojuma intensitāti un spektrālo sadalījumu.

Un, treškārt, secinājumi par eksperimentu gaitu tiek izvesti ar mērķi uzlabot nākamo eksperimentu, lai īsākā laikā iegūtu lielāku datu un secinājumu kopu.

Balstoties uz datu analīzi, tiek veikta gan iekārtas modifikācija un uzlabošana (iekārtas korpusa uzlabojumi, datu savākšanas programmatūras modifikācijas, datu analīzes algoritmu izmaiņas), gan definēti limitējošie faktori (darbs sliktos laika apstākļos, ātruma/apgaismojuma ierobežojums).

Kopā ar ZS “Pīlādži” paralēli tiek veikta iegūto datu interpretācija ar GIS sistēmām. Sakarā ar to, ka viens no sistēmas atdeves rādītājiem ir savāktās ražas pieaugums, vienkāršs un pārskatāms veids lokālās savāktās ražas vizualizācijai kopā ar sistēmas pieņemtajiem lēmumiem ir nepieciešams. Esošai lauksaimniecības tehnikai jau ir pieejama savāktās ražas apjoma kartēšana, tomēr dati tiek izdoti nepārskatāmā un grūti pielāgojamā veidā, un tos jāpielāgo veiksmīgai apvienošanai ar izstrādātās iekārtas datiem.

Papildus tam, tiek paplašināts iespējamo kontroles parametru skaits ar datiem, kas tiek uzkrāti/zināmi no ārējiem avotiem. Kā viens no “papildus” parametriem algoritmā var kalpot savāktās ražas dati no iepriekšējiem gadiem, lai izšķirtu sistemātiski vājus zemes gabalus un pļavas reģionus (dzeltenie apgabali 4. attēlā).

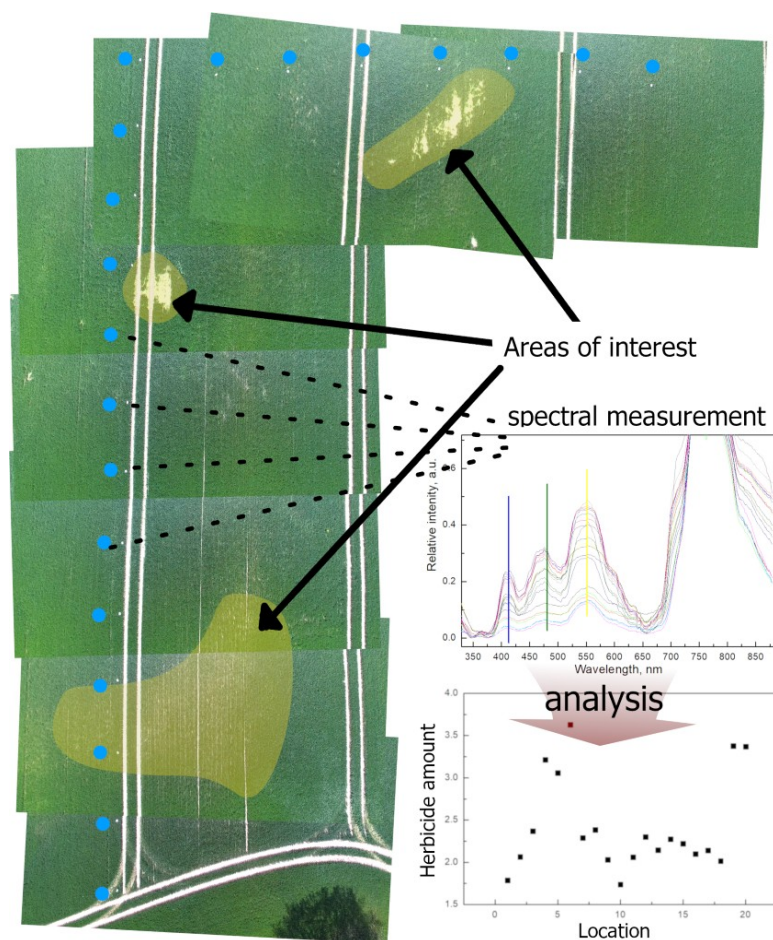
Paralēli, kopā ar ZS “Pīlādži” tiek novērtētās potenciālās iespējas iekārtas pieslēgšanai esošiem iekārtu interfeisiem un datu pārraidei starp datoriem lauksaimniecības tehnikā un spektrometru sistēmās.

Ierīces pamatā ir Hamamatsu C12880MA spektrometra mikroshēma, ko izmanto spektroskopijas konfigurācijā. Mikroshēmu kontrolē vienkārši un plaši pieejami mikrokontrolieri. Dati caur Bluetooth tiek pārsūtīti uz mobilo aplikāciju un datorprogrammu. Ierīce var izmērīt spektru diapazonā no 400nm līdz 850nm.

Miniatūrā spektrofotometra ierīce sastāv tikai no 3 galvenajām komponentēm: spektrometra, mikrokontroliera un Bluetooth moduļa (un barošanas avota, ja to izmanto portatīvajā režīmā). Tā ļauj lietotājam iegūt izmērīto paraugu spektrus.

Iegūtos datus var viegli apskatīt un nosūtīt uz datoru, izmantojot mobilo lietojumprogrammu, un analizēt no tā. Šis ir īpaši parocīgi, veicot priekšizpēti, jo tas ļauj ātri un ērti novērtēt iegūtos spektrus un pārbaudīt to ticamību. Ierīces mazais izmērs šajā stadijā ļāva vienkārši veikt eksperimentus, pārnēsājot ierīci manuāli, lai iegūtu pirmos datus un izvērtētu tālākās nepieciešamās izmaiņas un pielāgojumus ierīces uzbūvē un programmatūra. Izmantotā ierīce vienlaikus reģistrē visu spektru, kas ir būtiski, lai veiktu mērījumus ik pāris sekundes.

Pirmie mērījumi tika veikti manuāli, izvēloties vizuāli problemātisku lauka daļu un veicot apgaitu pa šiem punktiem, papildus izmantojot dronu, lai uzņemtu lauka bildes (4. attēls). Šajā posmā ierīce vēl nebija savienota ar telefona GPS un GPS koordinātas tika uzņemtas manuāli.

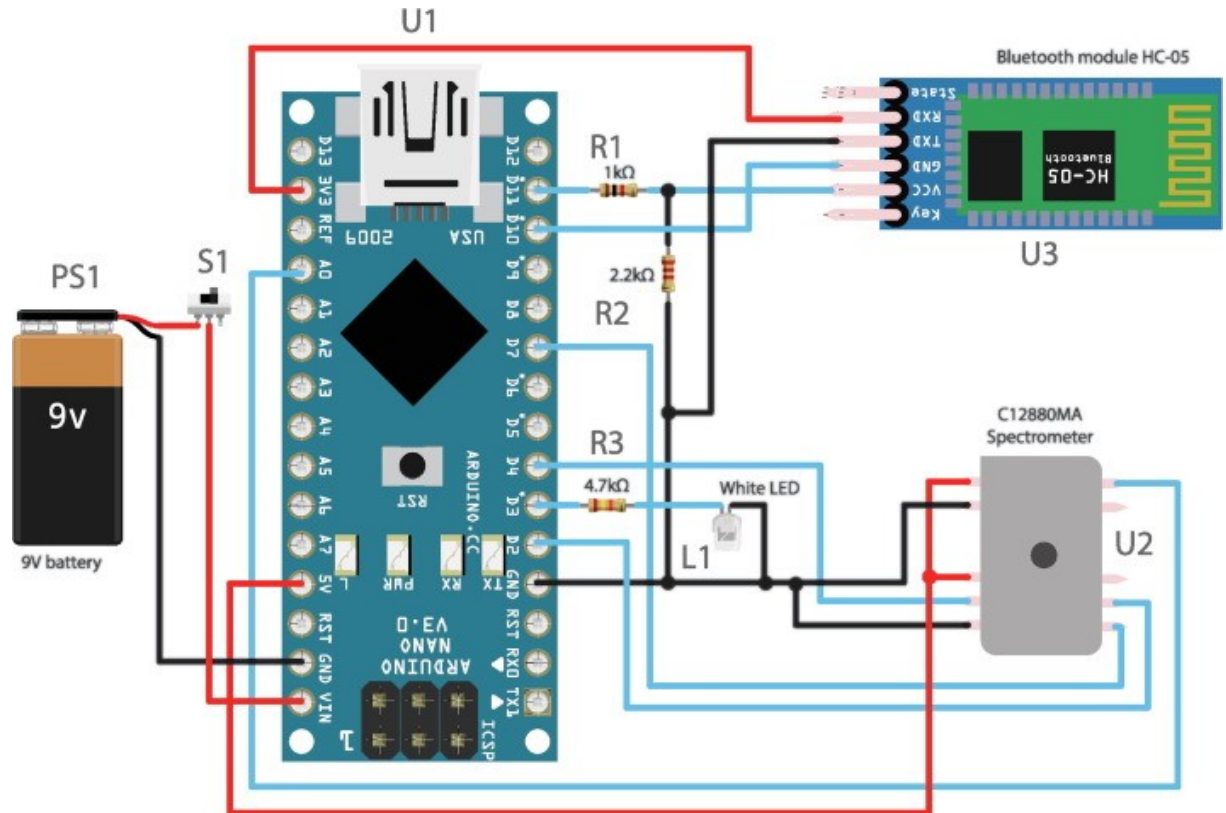


4.attēls. Lapotņu spektru ievākšana un analīze, kā arī drona fotoattēlu uzņemšana

2.2. Uzbūve

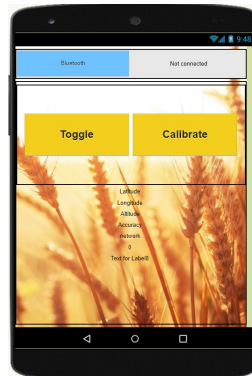
Komponenšu shēma redzama 5. attēlā. Hamamatsu C12880MA spektrometra mikroshēma ir savienota ar Arduino Nano gan sprieguma padevei, gan nolasīšanai. 4., 6. un 7. spraudnis ir pulkstenis, sākuma impulss un trigeru impulss, un tas ir savienots ar Arduino digitālās izvades spraudņiem, un video signāls 10. spraudnī tiek nolasīts, izmantojot analogo ievades spraudni A0.

Rezistori R1 un R2 darbojas kā sprieguma dalītājs, pārveidojot 5V signālus no Arduino uz 3,3V, kas nepieciešami saskaņā ar HC-05 moduļa datu lapu. TX tapa paliek nemainīga, jo Arduino TTL līmeņi reģistrēs 3,3 V kā augstu stāvokli. HC-05 TX un RX ir savienoti ar Arduino ciparspraudņiem D11 un D10, kas ir izveidoti, lai darbotos kā programmatūras seriālais ports. Pats Arduino ar vienkārša slēdža palīdzību ir piestiprināts 9 V jaudas avotam.



5.attēls. Ierīces uzbūve - mikrokontrolieris spektrometra kontrolēšanai un datu nolasei, kā arī tālākai nosūtīnei uz datoru. Bluetooth modulis, kas ļauj savienoties ar telefonu un izmantot telefona GPS datus. Papildus ierīce aprīkota ar ārējubarošanas avotu režīmam bez datora piesaistes

Aplikācija paredzēja GPS datu atspoguļošanu un nosūtīšanu uz mikrokontrolieri un tālāk - laptopu, ļaujot iegūtos datus uzreiz automātiski saglabāt kopā ar GPS koordinātēm, izslēdzot rupju kļūdu iespējamību. Papildus aplikācija bija aprīkota ar kalibrēšanas funkciju, kurā spektrometrs atrod pareizo eksponēcijas laiku, lai iegūtu maksimālu spektra intensitāti, nepārsniedzot spektrometra maksimālo uztveramo spektra intensitāti.

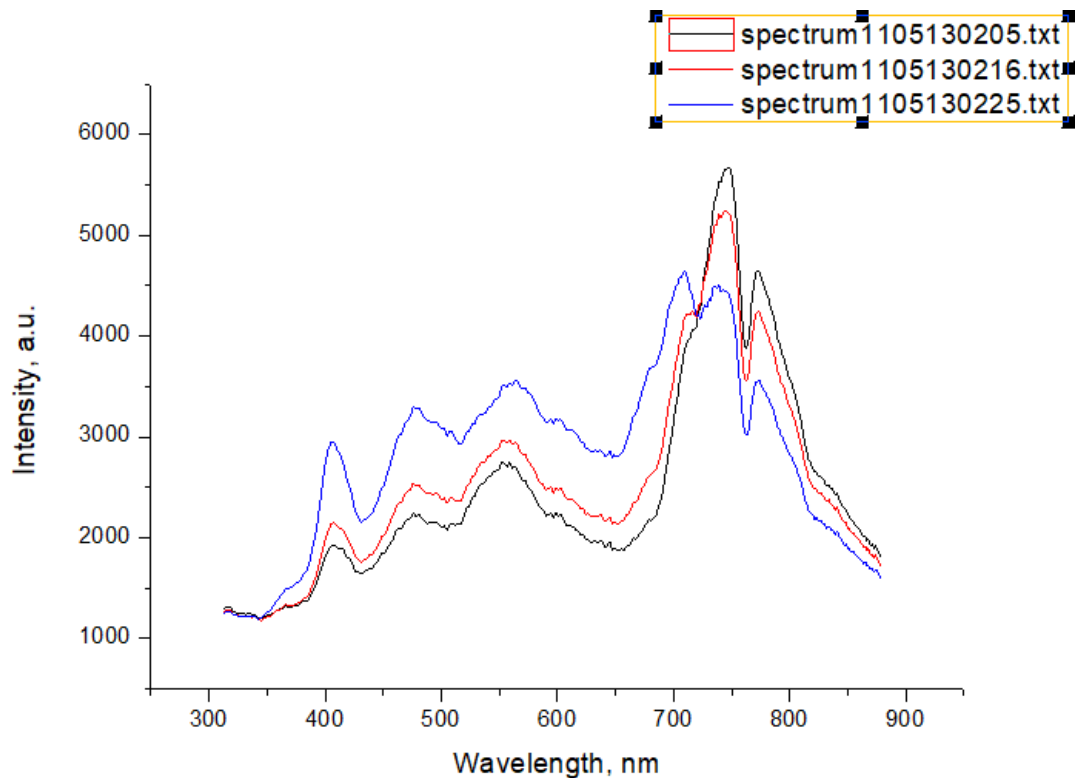


6.attēls. Izstrādātā aplikācija GPS datu nolasei un spektrometra kalibrēšanai

Tālākajos mērījumos ierīce tika savienota ar GPS caur pašizstrādātu telefona aplikāciju, kas ik pēc pāris sekundēm nosūtīja atjaunotās GPS koordinātes uz mikrokontrolieri un tika ierosināts mērījums. Šī konfigurācija ļāva mērījumus veikt ar mašīnu apbraukājot lauku jau lielākā apgabalā un uzņemt kopumā 327 spektrālos mērījumus lauksaimniecībai piederošajā laukā, kuri tika salāgoti ar pieejamiem satelīta datiem (4. attēls).



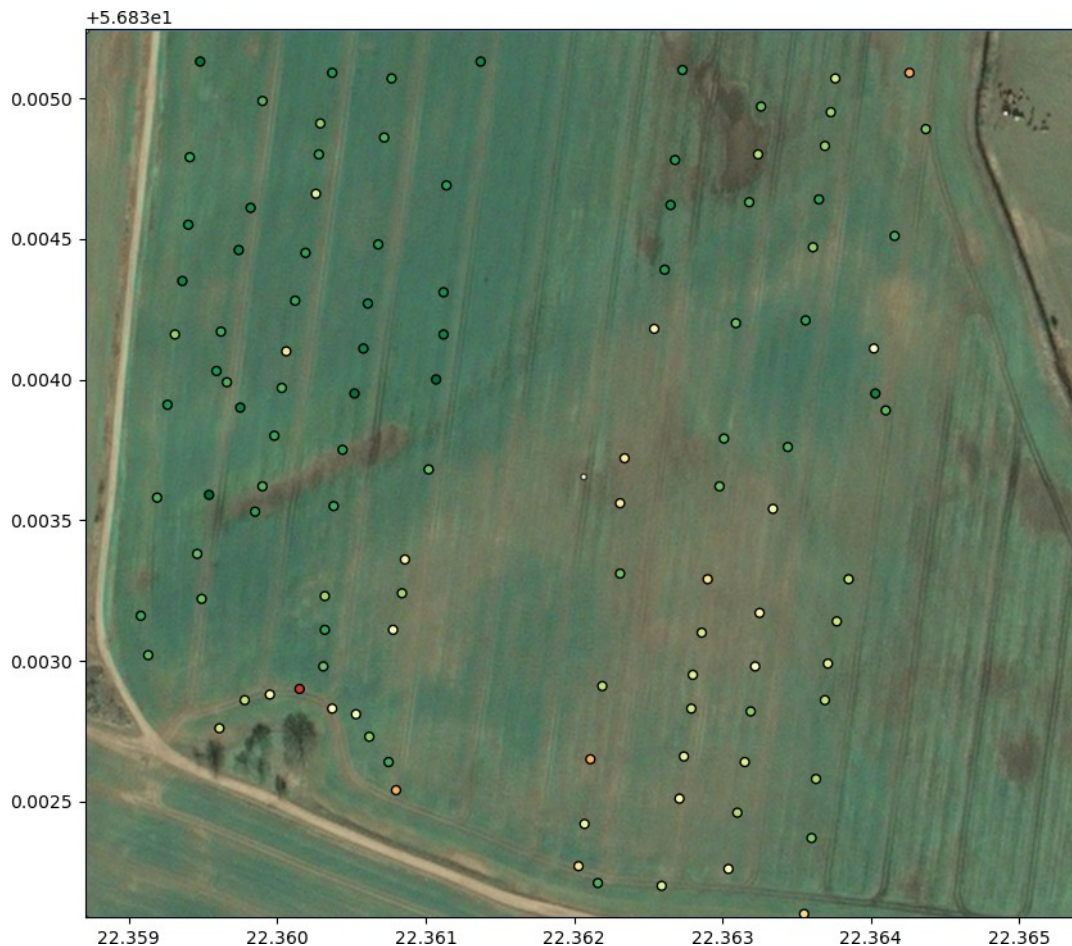
7.attēls. Spektrometra stiprinājums pareizajā vietā (augstumā) un mērījumu gaita



8.attēls. Spektu piemēri trīs vietās ar atšķirīgu kviešu veģetāciju, kas uzņemti ar izstrādāto prototipu iekārtu

Tālāk dati tiek apstrādāti pēc NDVI principa un tiek novērtēta NIR spektra daļas attiecība pretSarkano spektra daļu – attiecīgi, mūsu gadījumā tiek rēķināts spektra apgabals 700-880nm attiecība pret 600-700nm reģionu.

Apvienojot ar iegūtajām GPS koordinātām tiek iegūta 9. attēlā redzamā karte. Testēšanas ērtībai un, iespējams, gala produkta optimizācijai tika izstrādāta programmatūras pakete datu apstrādei un vizualizācijai. Sakarā ar to, ka iekārta spēj un uzņem vairākus simtus spektru stundā, apstrāde ar roku ir laikietilpīga un monotona. Python valodā uzrakstītais algoritms ļaujiegūt pārskatāmus rezultātus dažu minūšu laikā, kas ļaus paplašināt turpmāko testu apjomu.

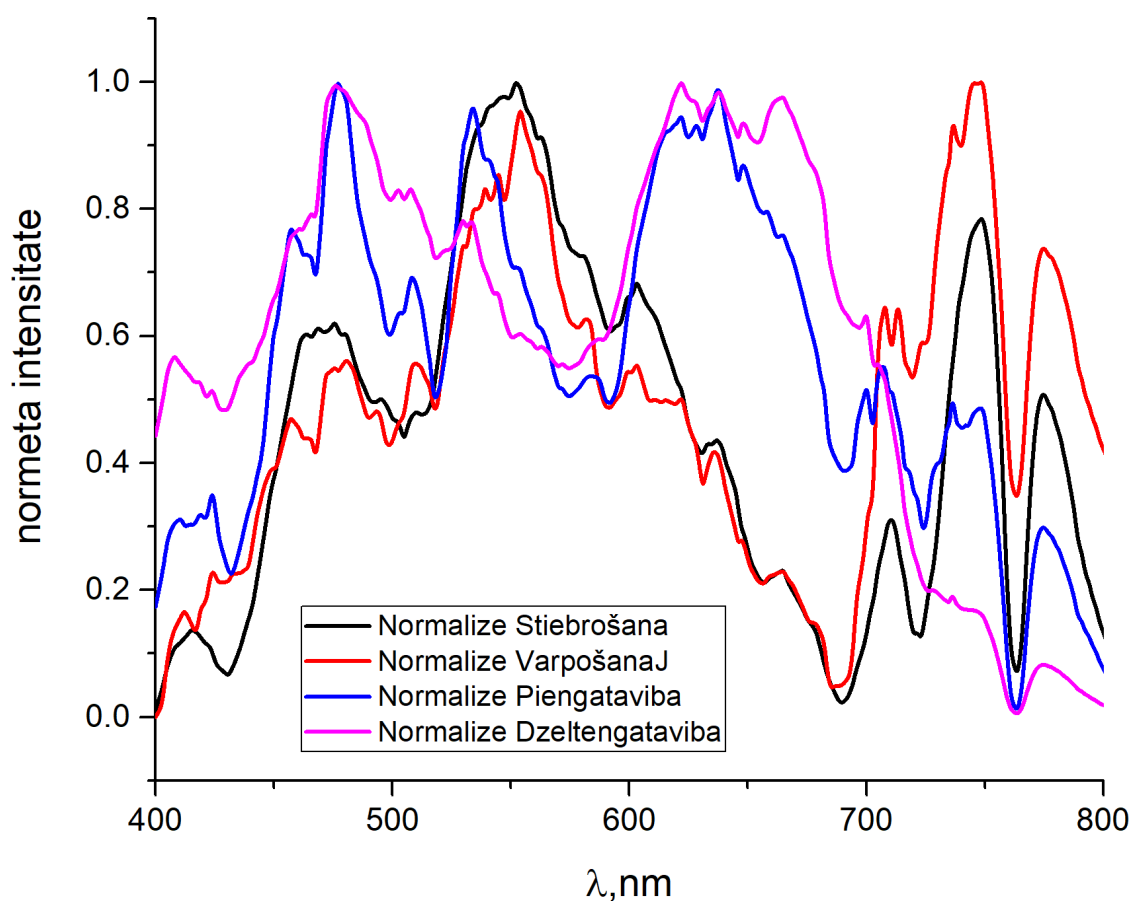


9.attēls. Iegūtā attiecība atkarībā no pozīcijas laukā kopā ar iepriekšējo gadu satelītdatiem

Redzams, ka rezultāti ļoti labi atbilst lauka iepriekšējiem satelīta uzņēmumiem – neauglīgākās vietās NIR spektra reģions tiek atstarots krietni mazāk kā auglīgajās.

Iegūtie rezultāti apliecina iekārtas darbību un spēju atšķirt vietas, kas prasa lielāku apstrādes apjomu – uznesamo vielu daudzumu. Šis tests arī parādīja, ka iekārta var strādāt kustībā. Tomēr, tika atklāti arī dažas nepilnības – iekārtas ātrdarbība ir nepietiekama esošiem lauku tehnikas ātrumiem. Tomēr, šis ir vairāk saistīts ar GPS datu uztveri, kas aizņem laiku lai iegūt nepieciešamo pozīcijas precizitāti.

Kā viens no projekta uzdevumiem bija apskatīt kviešu atstarošanās spektrus dažādās gatavības fāzēs. Šie eksperimenti tika veikti ar 2. prototipu 2022.gadā un redzami 10.attēlā. Pēc spektriem redzama ļoti liela atšķirība.



10.attēls. Spektri iegūti dažādās ziemas kviešu augšanas fāzēs, izmantojot 2. prototipu

3. Iekārtas izveide reāllaika kartēšanai - Otrais prototips

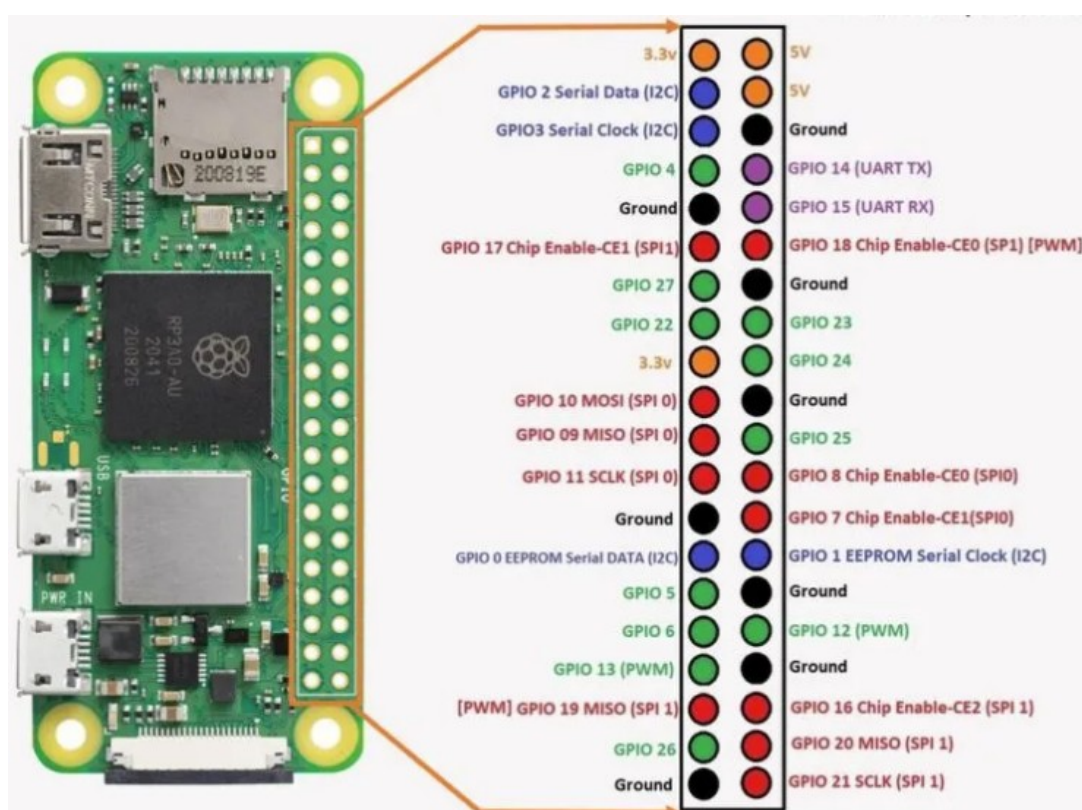
3.1. Pamatojums un priekšizstrāde

Projekta izpildes laikā darbā ar pirmo prototipu iegūti vairāki secinājumi. Esošais prototips ir pārāk lēns darbībā un punktu mērīšana ir laikietilpīga. Uz katru mērījumu punktu bija nepieciešama vismaz minūte. Reālos apstākļos bija nepieciešama apmēram pusstunda uz hektāru, kas ir nesamērīgi ilgs laiks. Otrs secinājums ir, ka praktiskai lietošanai nepieciešams reālā laika iekārta, jo pie esošā principa lauks jānobraukā divas reizes (pirmajā tiek mērīts, betotrajā veikta izsēja). Tad tam vēl jāpieskaita manuāla kartes izveide utt. Novērtēts ka šādas darbības ir nepraktiskas.

Izlemts izveidot reālā laika izsējas dozas korekcijas papildus kartēšanai. Lai to nodrošinātu, nepieciešams izveidot ātrāku GPS datu ieguvī, mērījumu veikšanu un reālā laika datu apstrādi. Iepriekš izveidotā prototipa elektronikas sistēma balstījās uz *Arduino* platformas mērījumu sistēmu un uzprogrammētu *Android* telefona aplikācijas kombināciju, kuru savstarpējā saziņa ir

ar relatīvi lēnu darba laiku, tādēļ iegūt datus reālā minerālu sēšanas laikā nebija iespējams. Tādēļ tika veikta tehnoloģiju izpēte ar iespējamām alternatīvām šai elektronikas sistēmai, kas saglabātu arī mobilitāti un savienojamību.

Kā optimālākais risinājums izvēlēta *Raspberry Pi* platforma (turpmāk - RPi), kas būtu kā centrālais datu savākšanas un apstrādes punkts visai mērījumu sistēmai un komunikācijai ar visām sistēmas komponentēm, ieskaitot traktora monitorus. RPi tika izvēlēts tā relatīvi jaudīgā procesora, mazā izmēra un iespēju pieslēgt elektroniku caur atvēlētām ievades/izvades pieslēgvietām (GPIO - general purpose input/output pins) dēļ. Attēlā 11 redzami GPIO pieslēgvietu apraksti.



11.attēls. Raspberry Pi mikrokontrolieris un GPIO pieslēgvietu apraksts

[<https://www.etechnophiles.com/rpi-zero-2w-board-layout-pinout-specs-price/>]

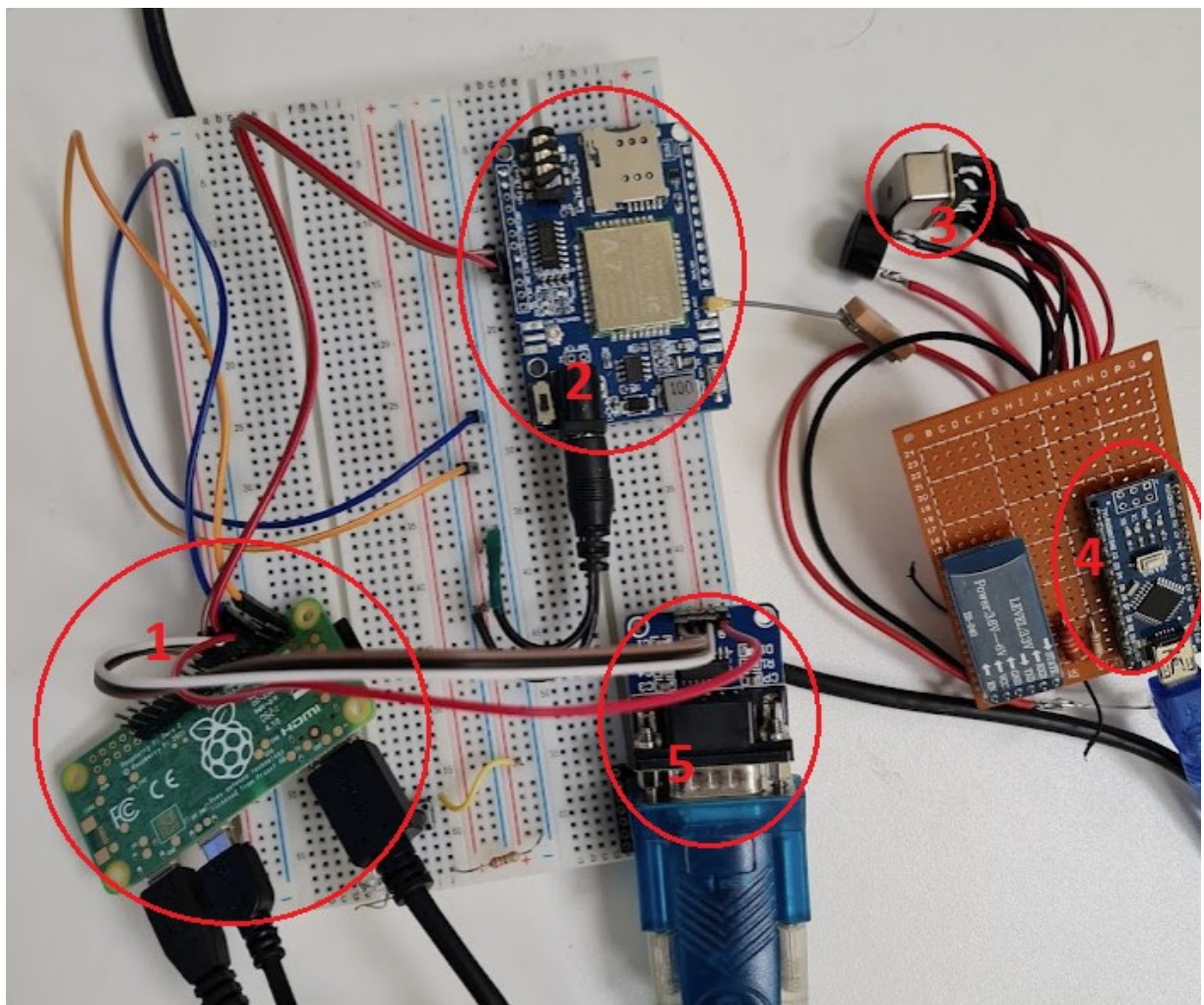
Papildus tika veikta izpēte partnera saimniecībā esošo traktoru (*CLAAS* un *John Deere*) traktoru monitoru (datoru), savstarpējo datu apmaiņas protokolu un savienošanas iespējām ar ārējām (mūsu izstrādāto iekārtu) iekārtām. *John Deere* kompānijas ražotajā produkcijā tika novērots, ka visa komponentu dokumentācija ir atvērta publikai un ļoti detalizēta. Tika sarunāta tikšanās ar *John Deere* pārstāvjiem Latvijā “SIA DOJUS”, Ēkavas ofisā. Tikšanās laikā tika noskaidrota nepieciešamā informācija par *John Deere* ražoto lauksaimniecības tehnikas datoru iespējām un komunikācijas opcijām, kā arī izveidots pirmatnējs kontakts papildus nākotnes

sadarbībai.

Tālāk tika veidota programmatūra, kas nodrošinātu saziņu starp visām komponentēm. Tā kā RPi operētājsistēma ir balstīta uz *Debian Linux* operētājsistēmu, tika izvēlēta *Python* (specifiski - *Python 3.x*) programmēšanas valoda, kuras visas nepieciešamās komponentes (bibliotēkas) jau ir iebūvētas brīvpiekļuves operētājsistēmā no RPi oficiālās mājas lapas.

No laboratorijā pieejamās tehnikas un privātām komponentēm tika izveidots mērījuma sistēmas uzmetums, kas atļautu reālā laikā pārbaudīt uzrakstītās *Python* programmatūras

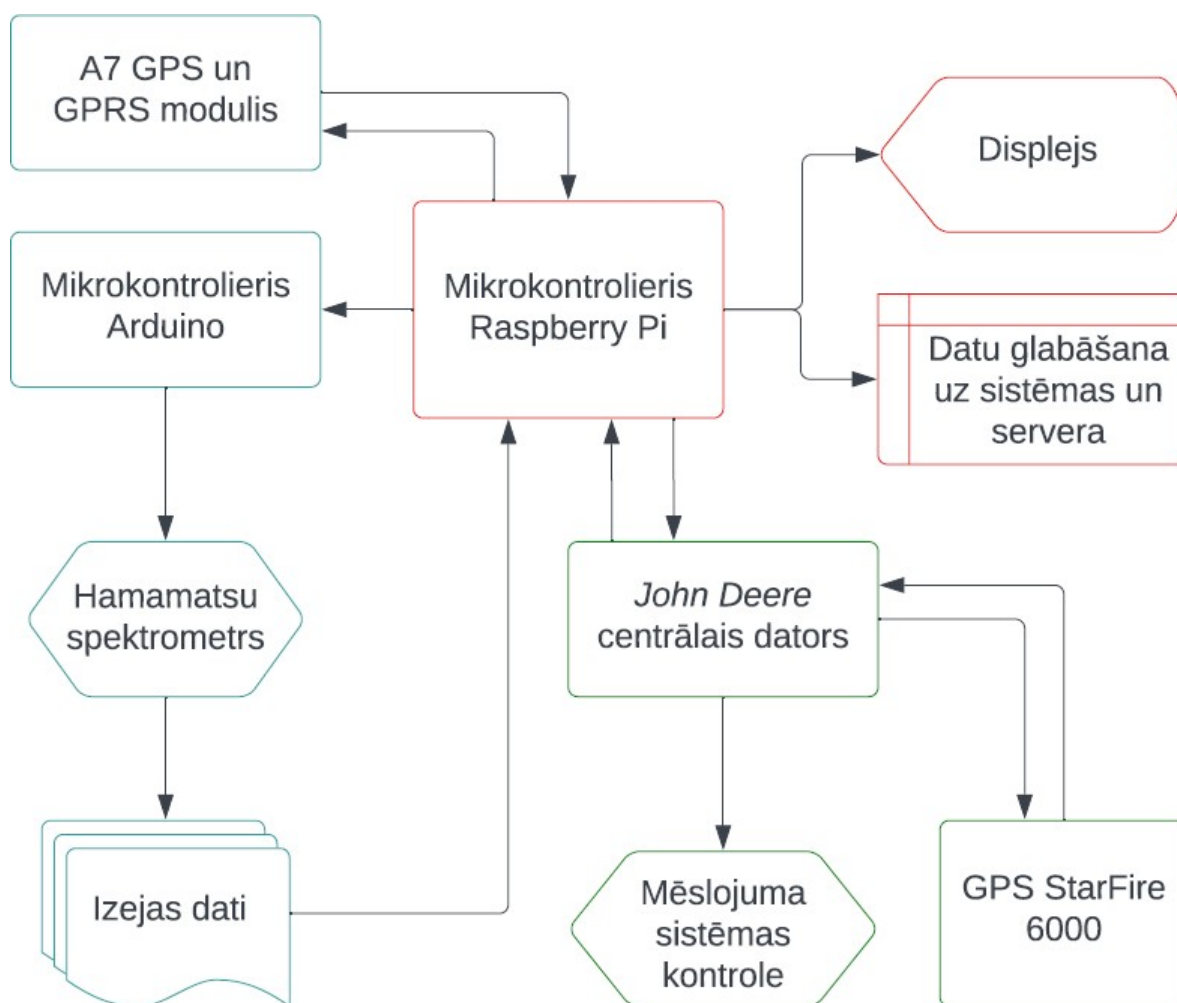
darbību un veikt ātras modifikācijas, ja tās nepieciešamas. Šīs sistēmas uzmetums redzams 12.attēlā, un plānotā sistēmas blokhēma attēlota 13.attēlā.



12.attēls. Mērījuma sistēmas uzmetums programmatūras testēšanai

Komponenšu saraksts:

- 1) *Raspberry Pi Zero 2w* mikrokontrolieris;
- 2) *AI-Thinker A7 GSM GPRS GPS 3in1 Shield* - GPRS+GPS čips (turpmāk A7);
- 3) *Hamamatsu C12880MA* spektrometrs;
- 4) *Arduino NANO* analogs mikrokontrolieris;
- 5) *RS232/TTL MAX3232* - TTL/RS232 divpusējs signāla pārveidotājs.



13.attēls. Plānotā mērījuma sistēmas blokshēma.

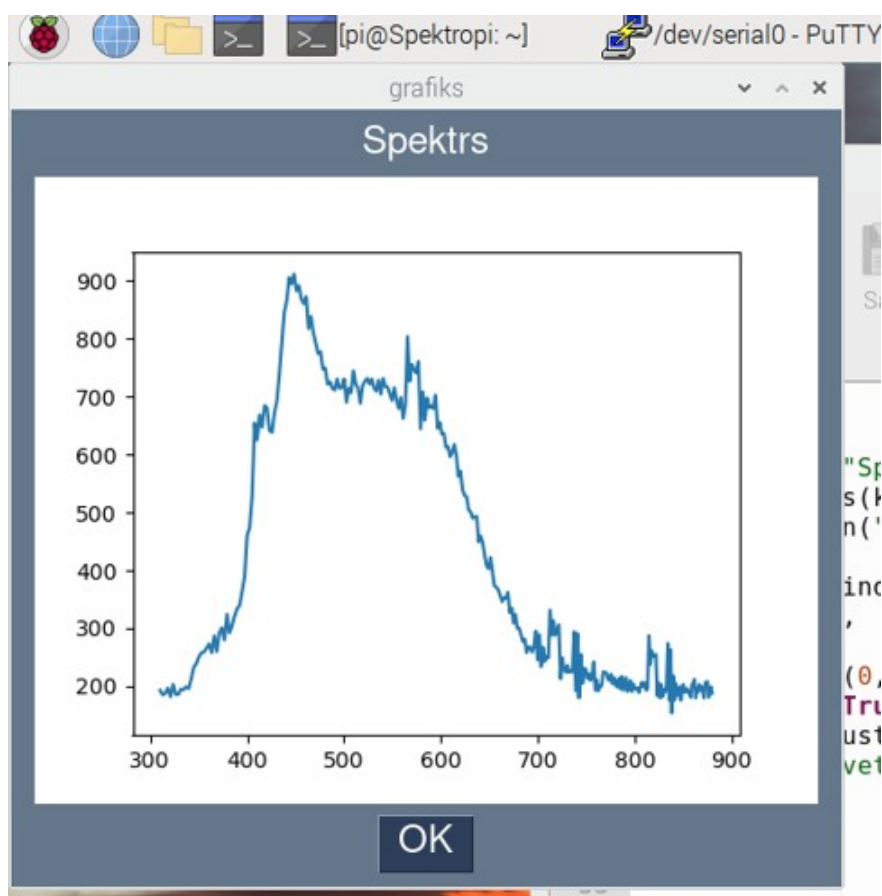
Efektīvi, no saziņas ar *John Deere* pārstāvi, tika uzzināts, ka komunikācijas starp lauksaimniecības tehnikas datoriem un ārējām trešās partijas komponentēm ir iespējama caur RS232 protokolu. No laboratorijā atrastā *AI-Thinker A7 GSM GPRS GPS 3in1 Shield* moduļa dokumentācijas tika uzzināts, ka datu saziņa notiek caur RS232 protokolu, tādēļ šī komponente ir ideāla programmatūras testēšanai uz vietas LU CFI bez nepieciešamības brauktun pieslēgties noslogotai lauksaimniecības tehnikai. GPS datu formāts, ko ierīces izdod, parasti ir standartizēts

NMEA protokols, kas arī šajā gadījumā sakrita ar A7 čipa un *StarFire 6000* sūtīto signālu, kas arī formatēts NMEA standartā. Tika atrasts arī TTL/RS232 signāla pārveidošanas modulis, lai varētu beigās pieslēgties uz 12V režīma RS232 protokolu lauksaimniecības tehnikā.

Visas šīs komponentes tika testētas laboratorijas apstākļos, rezultātā tika iegūta funkcionāla programma, kas caur RPi spēj:

- Iedarbināt un nolasīt spektrometru;
- Iedarbināt A7 čipu un nolasīt GPS datus, kā arī veikt GPRS komunikāciju, ja tā būs nepieciešama;
- Caur RS232 protokolu sazināties ar Windows PC;
- Attēlot visu iegūto informāciju grafiski reālā laikā.

Tālāk var apskatīt pāris ekrānšāviņus programmatūras izdotiem datiem (14.attēls un 15.attēls). Jāņem vērā, ka pagaidām šī programma atrodas tīri izpētes un testēšanas līmenī, tāpēc izveidotie interfeisi ir relatīvi primitīvi. Plānots veikt pilnu reālā laika kartēšanu caur *Google Maps API* (API - application programming interface, jeb Lietojumprogrammas saskarne) priekš *Python* programmēšanas valodas.



14.attēls. RPi izdots testa spektrs caur izveidoto Python programmatūru no Hamamatsuspektrometra (tumšas debesis caur logu)


```
*GPRMC,115402.000,A,5654.95533,N,02409.95290,E,1.04,3.0,52.5,M,M,0.0000*77
$GPGGA,3.02,03.19.06,,,,,,,,,6.3,3.0,5.5*3B
$GPGSV,2,1.05,02.39,126.21,03.08,002.31,19.16,052.34,06.36,065.37*71
$GPGSV,2,2.05,25.56,273,*4E
$GPRMC,115402.000,A,5654.95533,N,02409.95290,E,0.00,0.00,110322,,,A*6D
$GPVTG,0.00,T,,M,0.00,N,0.00,K,A*3D

*GPRMC,115403.000,A,5654.95553,N,02409.95285,E,1.04,3.0,51.8,M,M,0.0000*7A
$GPRMC,115403.000,A,5654.95553,N,02409.95285,E,0.00,0.00,110322,,,A*6E
$GPVTG,0.00,T,,M,0.00,N,0.00,K,A*3D

*GPRMC,115404.000,A,5654.95590,N,02409.95346,E,1.04,3.0,52.6,M,M,0.0000*71
$GPRMC,115404.000,A,5654.95590,N,02409.95346,E,0.00,0.00,110322,,,A*68
```

15.attēls. RPi izdoti GPS dati caur Python programmatūru no A7 čipa

Caur konsoli parādīts kā A7 čips uz RPi sūta GPS datus reālā laikā, šeit iestādīta datu pārraide katru sekundi ilustrācijas nolūkos. *StarFire 6000* tipiski sūta GPS koordinātes 5 Hz ātrumā, kas būtiski nav atšķirīgs no šī pārraides ātruma. Tiek ilustrēts, ka RPi spēj šos datus nolasīt veiksmīgi. Ja ievietojam šīs GPS koordinātes kādā kartē, var noteikt, ka tās nav visai precīzas tieši šajā gadījumā, jo sistēmai vajag laiku, lai noķertu labu satelītu signālu, bet tā tika ieslēgta tikai uz īsu laiku, lai veidotu ekrānšāviņu. Signāla kvalitāte arī stipri atkarīga no izmantotās antenas, kas šajā gadījumā bija atrasta laboratorijā, bet netika pat identificēta. Nākotnē tiks iegādāta kvalitatīva antena.

Mūsu gadījumā interesē tieši \$GPRMC līnija no tipiska NMEA datu signāla, kas satur “Rekomendēto minimālo datu daudzumu lokācijas noteikšanai”, ieskaitot garuma/platuma grādus, kustības ātrumu un laiku. No \$GPGGA līnijas var noteikt arī, cik daudz satelītu šobrīd dod ierīcei signālu, kas šajā piemērā ir 4 (septītā, kas atdalīta ar komatu). Šī līnija arī satur datus par augstumu virs jūras līmeņa, signāla kvalitātes novērtējumu, geoid u.c. datus. Kad šī sistēma tiktu automatizēta pie lauksaimniecības tehnikas, šie dati tiktu filtrēti atkarībā no nepieciešamās informācijas, dodot attiecīgu komandu caur lauksaimniecības tehnikas datoru (caur komandas līniju, ko programma automātiski mēģinātu lasīt periodiski) vai uz RPi pievienota ekrāna grafiskā lietotāja interfeisā. Informācija par tipiska NMEA GPS signāla saturu ņemta no šīs mājas lapas - [\[http://aprs.gids.nl/nmea/\]](http://aprs.gids.nl/nmea/)

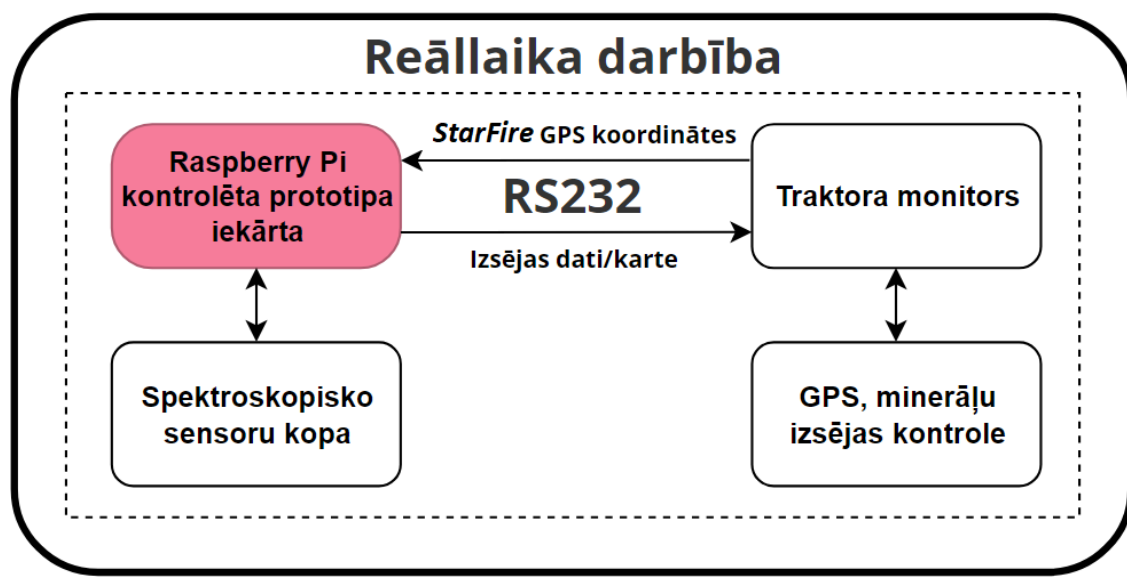
Gala sistēmā arī domāts pievienot šo A7 čipu kā rezerves komponenti GPS datu iegūšanai un interneta piekļuvei, ja komunikācija ar lauksaimniecības tehniku kāda iemesla pēc nojūk.

3.2. Prototipa uzbūve

Otrā prototipa priekšizstrādes laikā tika veikti vairāki novērojumi, kas ļāva uzlabot gala prototipa dizainu. Prototipa uzmetums tika aizvests uz ZS “Pīlādži” saimniecību, lai pārbaudītu komunikācijas iespējas praktiski (iepriekšējā apakšnodaļā minētā komunikācijas simulācija, izmantojot iekārtas ar līdzīgām komunikācijas spējām). Tika izveidoti un pārbaudīti elektronikas komunikācijas protokoli ar traktora monitoru, izmantojot RS232 protokola palīdzību, un caur to arī var saņemt pārējo monitoram pieejamo informāciju - kā GPS datus, piekaru komunikāciju,

un citu instrumentu datus.

Ņemot vērā visus projekta laikā veiktos novērojumus un uzkrātos datus, tika izveidots dizains otrajam prototipam, kas atļautu reāllaika izsējas kontroli, balstoties uz spektroskopiski uzņemtiem mērījumiem. Darbības blokshēma parādīta 15.attēlā. Tika izveidota pilna programmatūra prototipa darbībai un komunikācijai, kā arī izveidots vienkāršs grafiskais lietotāja interfeiss (Graphical user interface - GUI) ar pamācību.



16. attēls. Otrā prototipa darbības blokshēma

Šī prototipa versija tika aizgādāta uz ZS "Pīlādži" saimniecību, lai veiktu atkārtotus jaunā prototipa pārbaudes un programmatūras darbību, kā arī veiktu mērījumus dažādās kviešu augšanas stadijās. Daži attēli no šī testa redzami zemāk esošajā tabulā.

1.tabula. Attēlu apkopojums no izbraukuma otrā prototipa testēšanai



A) Viena spektrometra uzstādījums uztraktora; B) Pietuvināts uzņēmums spektrometraturētājam; C) ZS "Pīlādži" darbinieks mijiedarbojas arprototipa GUI pēc

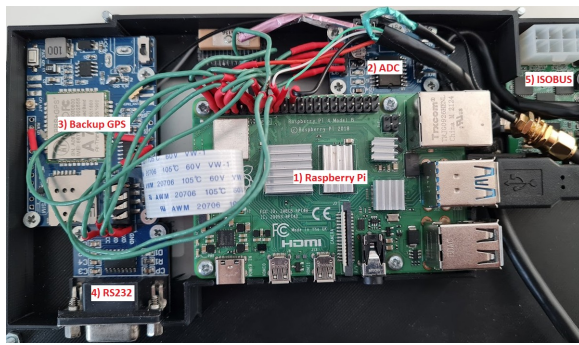
pievienošanas traktora sistēmai; D)Foto uzņēmums darbības laikā.

Gala prototipa dizains tika uzlabots elektronikas ziņā, kā arī programmatūras ziņā. Tika arī pievienoti papildus Hamamatsu C12880MA (redzamā elektromagnētiskā spektra (EM) daļa) un C11708MA (redzamā + tuvā infrasarkanā EM spektra daļa) čipi, lai veiktu zinātniski pareizākus mērījumus ar labāku jutību infrasarkanajā EM spektra daļā. Programmatūra izdot sējas koeficientus atkarībā no spektrālās attiecības konkrētos viļņa garumos (700-880nm attiecība pret 600-700nm reģionu), kā minēts teorētiskajā atskaites daļā. Šis koeficients tiek izmantots, lai kartētu datus un izveidotu auglību raksturojošas kartes. Aprēķinātie koeficienti tiek padoti minerālu izsējas kontroles iekārtai caur RS232 protokolu.

Ieprogrammēti arī papildus gadījumi komunikācijas kļūdu gadījumos, kad dati tiek ģenerēti, izmantojot A7 GPS sistēmu, bet tikai saglabāti lokāli, ja kas noiet greizi. A7 čipam pievienota jaudīga aktīvā antena, kas novērš iepriekš radītās problēmas, kas minētas otrā prototipa priekšizstrādes sadaļā. Iespējams arī pievienot SIM karti, lai attālināti pievienotos ierīcei caur internetu un veiktu jebkādas modifikācijas (kods tam ir gatavs no cita laboratorijas projekta šim čipam, bet netika iekļauts). Savienojums ar internetu arī nodrošinātu iespēju datus sūtīt reāllaikā uz datu bāzi, kas ļautu klientam un/vai produkta īpašniekam redzēt informāciju par lauku jebkurā brīdī - šai funkcionalitātei arī jau ir izstrādāts kods LU CFI OML ietvaros. Pievienota arī ISOBUS komunikācijas iespēja, kad būs iegūta piekļuve protokola izstrādei nākotnē, lai prototipu varētu izmantot arī sistēmām bez RS232 komunikācijas iespējām.

Programmatūrā pievienota arī *multithreading* funkcionalitāte, lai ar GUI varētu mijiedarboties vienlaikus mērījumu laikā (traktora kabīnē vai attālināti), kā arī komunikācija starp iekārtām spētu notikt mērījumu laikā. Šī funkcionalitāte ievērojami uzlaboja ātrdarbību, jo iepriekš kods izsauca katru funkciju lineārā veidā (lai sāktos nākamā darbība, iepriekšējai ir jābeidzas). Zemāk redzama tabula ar attēliem, no prototipa izskata jau salodētā formā, kas šajā projekta pārskata periodā ir pieņemts kā gala versija prototipam, un tika nodots lauksaimniekam. Ir plānots šo visu nākotnē izstrādāt līdz komerciāli pieejamam produktam, kur visa papildus elektronika būtu apvienota vienā spiestajā platē.

2.tabula. Otrā prototipa versija projekta izstrādes perioda beigās.

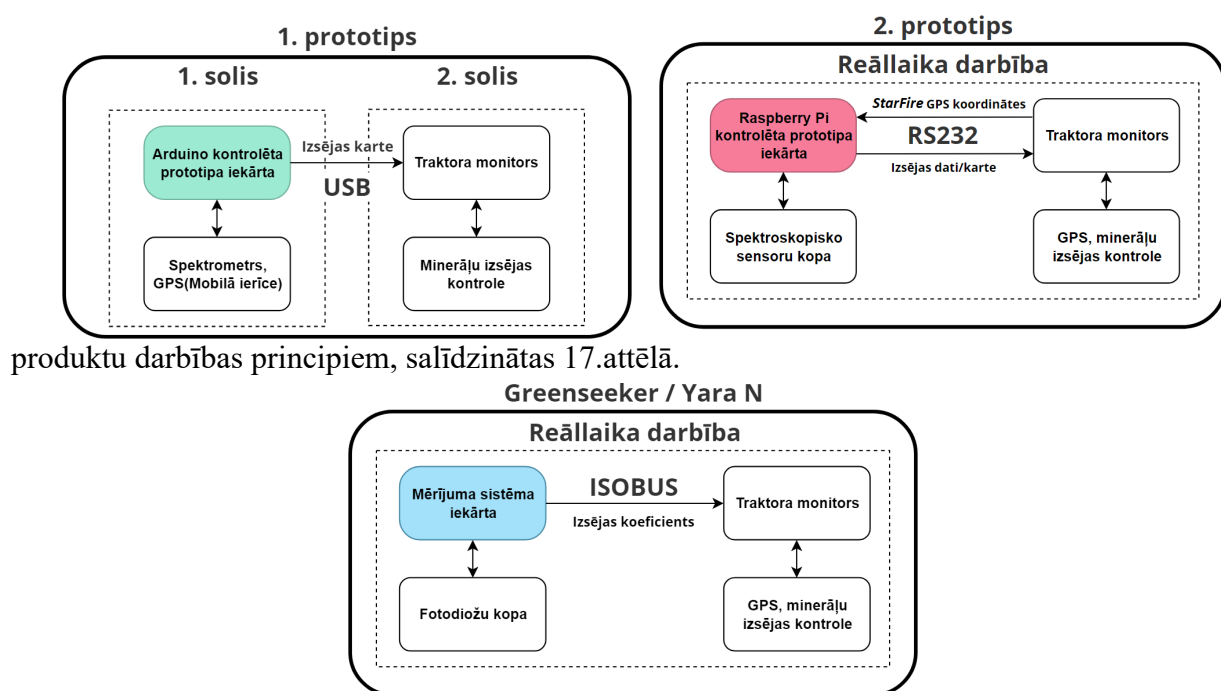


A) Gala prototipa elektronikas uzbūve zem 3dprintētā koprusa.

B) Atjaunotais programmatūras GUI.

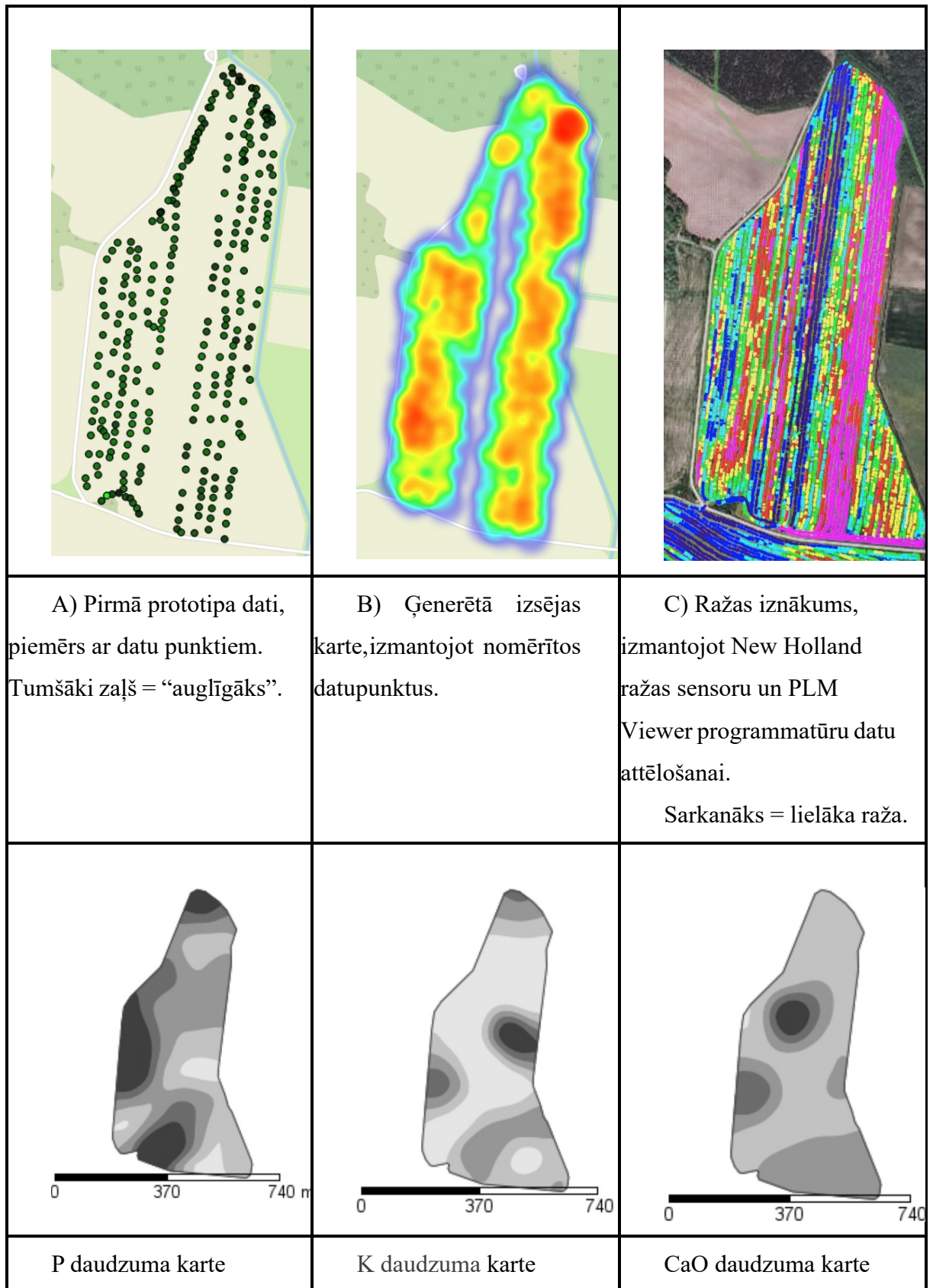
4. Veikto mērīšanas darbu apkopojums

Kopumā, projekta darbības laikā izveidoti 2 dažādi prototipi augsnes kvalitātes novērtējumam ZS “Pīlādži” saimniecībā, kas ļāva veikt precīzu minerālmēsļu izsējas kontroli no iegūtajiem prototipu datiem. Abu prototipu darbības principi nedaudz atšķiras, bet virzās uz vienu un to pašu iznākumu. Prototipu darbības blokshēmas, salīdzinot ar komerciāli pieejamu



17.attēls. Izveidoto prototipu un komerciāli pieejamas iekārtas darbības salīdzinājums

Ar prototipu iekārtām nolasīti dati no 4 dažādiem laukiem ZS “Pīlādži” īpašumā. Prototipu darbības novērtēšanai izmantojam salīdzinājumu ar ražas iznākuma datiem, kas uzņemti šajos pašos laukos. Kartēšanas rezultātā iegūto grafiku piemērs ir ģenerēts kā slānis virs kartes uzņēmuma zemāk - Prototipu nomērīto datu kartes salīdzinājumā ar Ražas iznākuma karti ZS “Pīlādži” laukam “Purvmali” (56.835485 N, 22.362099 E).



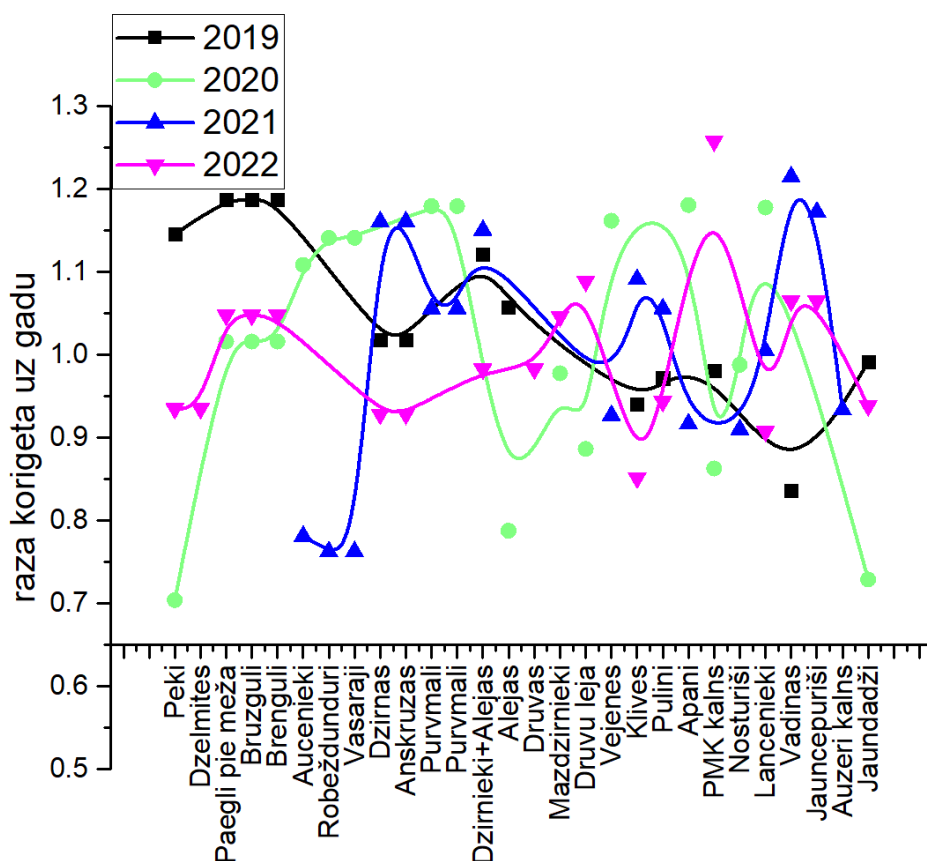
18.attēls. Piemērs “Purmaļu” lauka veiktā kartēšana ar dažādām metodēm

Uzņēmumi ar pirmo prototipu tika veikti manuāli ar auto, kur auto apstājās katrā punktā un 3-5 min tiek veikts mērījums. Tādejādi šāda lauka kartēšana aizņem padsmi stundas. No iegūtajiem datiem tiek ģenerētā karte ar aprēķinātiem NDVI indeksiem. Mainīgās izsējas normas diapazons iestatīts 140-220kg apgabalā un sagatavots izsējas fails John Deere monitoram, kurš tālāk kontrolē minerālmēslu sējmašīnu. Mainīgās dozas izsēja otrā prototipa priekšrocība ir tā, ka mērījumu dozēšana notiek reālā laikā, kā arī paralēli. Ja tas ir vajadzīgs, var tikt izveidots kartēšanas fails.

Augsnes analīzes pārsteidzošā kārtā parādīja mazāku korelāciju ar NDVI un ražu nekā sākumā tika sagaidīts. Optimālās doza aprēķins, ņemot vērā augsnes potenciālu, dotu daudz lielāku ražas atdevi, taču tas ir daudz kompleksāks jautājums, kurš tiks monitorēts ilgākā - vairāku gadu griezumā. Tāpat liels iespaids šajā un arī citos laukos ir pieejamam mitrumam.

Kopumā, šis tiek novērtēts kā pozitīvs iznākums un parāda prototipa potenciālu veikt precīzu minerālmēslu izsējas kontroli. Protams, nepieciešams veikt kalibrācijas un uzņemt lielākas datu kopas, lai iekārtu un programmatūru optimizētu pilnībā. Prototipa pilnveidošanai nepieciešams vēl daudz darbs, kas nākotnē tiks turpināts arī pēc projekta izpildes termiņa beigām.

Ražas pieaugumu iespaido konkrētā gada laikapstākļi, lauka augsne un kultūra. Lai novērtētu ražas pieauguma, ZS "Pīlādži" tika veikta ražas uzskaitē laukiem. Iegūtie dati normēti uz vidējo kviešu ražu konkrētajā gadā, tādejādi samazinot gada laikapstākļu iespaidu uz datu izkliedi.



19.attēls. Ziemas kviešu raža ZS “Pīlādži” laukos pa gadiem normalizēta pret vidējo kviešu ražu

Otrs nozīmīgs faktors ir starpkultūra, kā rapsis, kas vidēji palielina ražas apjomu 10-15% apmērā. Saimniecība pamatā ziemas kviešus sēj 2 gadus un tad tiek sēta starpkultūra. Tas ļauj relatīvi viegli novērtēt to iespaidu un veikt korekcijas.

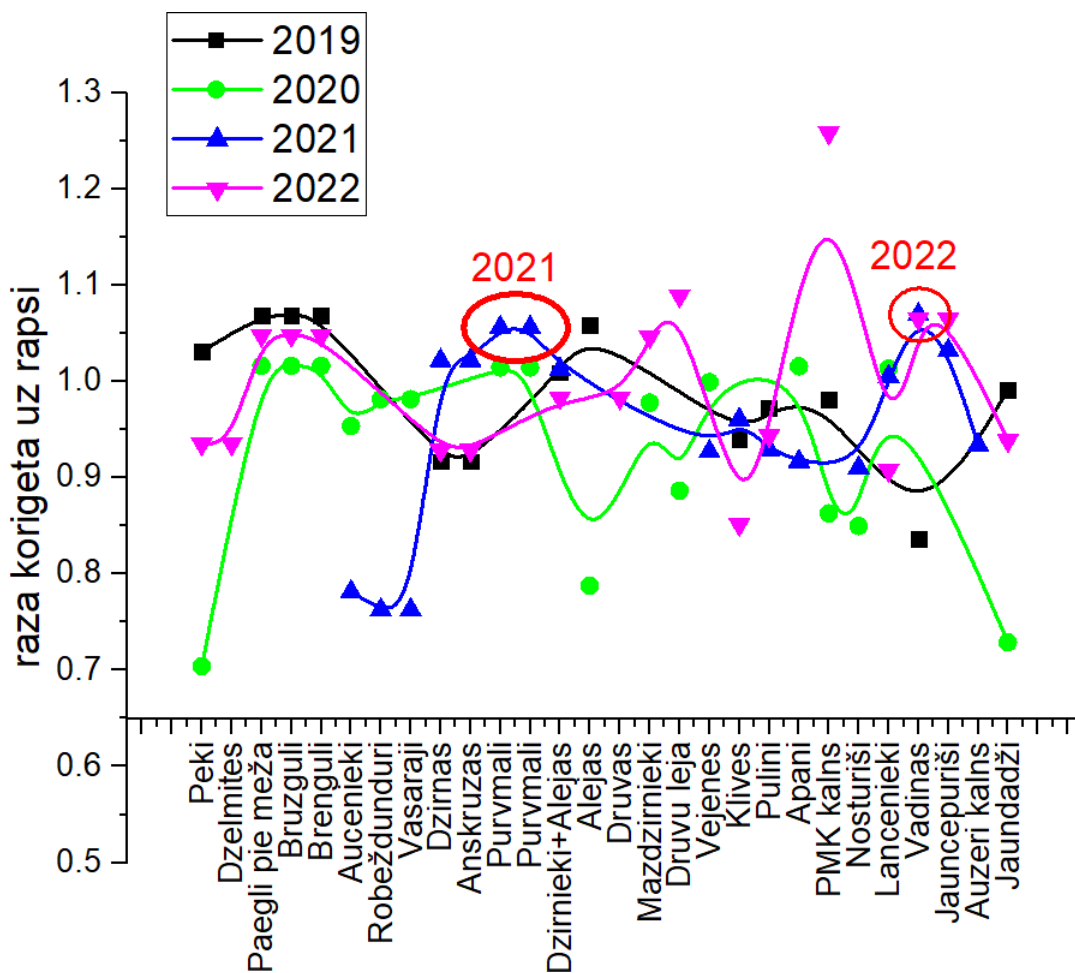
Korekcijas pareizumu nosaka arī standartnovirzes (datu izkliedes) samazināšanās.

3.tabula. Standartnovirzes ražas dati pa gadiem

	2019	2020	2021	2022
Standartnovirze (kor. pret gadu)	0,11	0,16	0,15	0,11
Standartnovirze (ņemot vērā rapsi)	0,07	0,1	0,095	0,093

Šādi apstrādājot datus lielākā daļa lauku pa gadiem iekļaujas relatīvi mazā vērtību apgabalā. Parādās lielas novirzes atsevišķiem laukiem atsevišķos gados, kas saistīts ar citiem faktoriem, tādiem kā laukam specifiski laika apstākļi, pārziemošana, slimības, veldres, lauka apstrādes vai

ražas novākšanas kļūdas. Taču papildus tam koriģētajos datos iespējams novērot precīzās izsējas pozitīvo iespaidu 2021.gadā Purmaļu laukos un 2022.gadā laukos Lacenieki, Vadiņas, jo Purmaļos 2022.gadā bija sēts rapsis. Kopējais pieaugums novērtējums 3-5% apjomā. Lai arī kopējais pieaugums nav liels, jāņem vērā arī citi pozitīvie aspekti, piemēram, tas, ka labība nesakrita veldrē.



20.attēls. Ziemas kviešu raža ZS “Pīlādži” laukos pa gadiem normalizēta pret vidējo kviešu ražu un koriģēta pret vidējo rapša ietekmi konkrētajā gadā

5. Programmatūras piekļuve

Šajā nodaļā atrodama pieeja daļa programmatūras, kas izstrādāta prototipa darbībai. Izmantojot dotās darbības shēmas, izmantotās komponentes un piedāvāto programmatūru, būtu iespējams trešajām partijām izstrādāt līdzvērtīgu mērījumu sistēmu.

Links uz Google Drive mapi:

<https://drive.google.com/drive/folders/1hvtAtSH7yzrjBpH4sJCFGgnz7IdNzckg?usp=sharing>

Faila nosaukums	Apraksts
LAD_automatic.py	Python kods, kas atļauj komunicēt mērījumu sistēmai ar mobilu ierīci un saglabā datus lokāli.
LAD_automatic.ino	Arduino darbības kods komponentu kontrolei un komunikācijai ar ārējām sistēmām.
GPS.apk, aio_apk.png, GPS_continuous.aia	Android lietotāja interfeiss sistēmas kontrolei (*.apk). aio_apk.png tiek parādīta darbības shematika. GPS_continuous.aia ir aplikācijas izstrādes fails.
GPS_2.py, heatmap.py	Datu pēcapstrādes programmatūra.

6. Kopsavilkums

Projekta izpildes perioda laikā ZS “Pīlādži” saimniecībā, veikti augsnes kvalitātes novērtējumi, kviešu spektrālais monitorings un lauku kartēšana, izmantojot 2 dažādus prototipus, precīzā izsēja un ražas datu ievākšana.

Kviešu veģetācijas indeksa mērījumi balstīti uz spektroskopiskām ražas auglības novērtēšanas metodēm, un LU CFI izstrādātām iekārtām, kuras nodrošināt 2 metodes:

1. (Vairāku soļu metode) Pirms-sējas augus spektrālie mērījumi un indeksa aprēķina ar datu kartēšanu, un sagatavošanu izsējas kontroles datoram;
2. (Viena soļa) Reāllaika mērījumi-aprēķini ar datu kartēšana un izsējas koeficienta padošana izsējas kontroles datoram.

Īpaši jāuzsver otrā metode un otrais prototips, kas ir unikāls ar to, ka spēj kartēt un kontrolēt izsēju vienlaicīgi. Šīs metodes ir unikālas ar to, ka zemnieks pats var izvēlieties kādus veģetācijas indeksus izmantot un ir iespējams kombinēt ar citām kartēm, kā piemēram augsnes analīzei, kas nodrošinātu vēl labākus rezultātus.

Ražas pieauguma dati laukam ar precīzo izsēju ir pieticīgi - ap 3-5%, taču tam ir vairāki ietekmējošie faktori, metode vēl pilnveidojama. Turpinās iekārtas un algoritmu pilnveide un

izveidotā iekārta tiks izmantota saimniecībā arī nākotnē. Ražas pieaugums parāda iespēju samazināt minerālmēslu izsējas apjomu. Jāņem vērā ka minētajos eksperimentos izmantota tikai daļēja, repsektīvi balstoties uz indeksu tika mainīta daļa no izsējas normas. Attiecīgi paredzams, ka turpinot strādāt pie šīs metodes minerālmēslu ietaupījumu vēl palielināt.

Papildus minerālmēslu ekonomijai, jāatzīmē, ka šādas metodes pielietošana samazina vides piesārņojumu, precīzāk sakot ūdens baseinu piesārņojumu. Lauksaimniecības ietekme uz vidi apvienojumā ar resursu efektīvu izmantošanu ir svarīgākie faktori nākotnes lauksaimniecībā.

Ir parādīts, ka šāda spektroskopiska metode un izstrādātās iekārtas ir izmantojamas un lietderīgas, kas arī bija pētījuma projekta mērķis. Saistībā ar to, ka šim risinājumam ir liels nākotnes potenciāls, projekta izpildes laikā ieguldīts daudz vairāk darba, nekā tas tika plānots projekta iesniegumā.

Visi projekta ietvaros izvirzītie mērķi pilnībā sasniegti.

Literatūras saraksts

1. S. Zhang, C. Xia, T. Li, C. Wu, O. Deng, Q. Zhong, X.n Xu, Y. Li, Y. Jia. (2016), Spatial variability of soil nitrogen in a hilly valley: Multiscale patterns and affecting factors, *Science of the Total Environment* 563–564, 10–18
2. G. Lemaire, J-C. Avise, T-H. Kim, A. Ourry, Developmental changes in shoot N dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) in relation to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 56, No. 413, (2005) pp. 935–943,
3. M. Diacono, P. Rubino, F. Montemurro, Precision nitrogen management of wheat. A review, *Agron. Sustain. Dev.* (2013) 33:219–241
4. Dzalbe Aiva, Veģetācijas attīstības dinamikas analīze, izmantojot normalizēto veģetācijas indeksu, Latvijas Universitāte. Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, (2017)
5. Matthias Locherer, Capacity of the Hyperspectral Satellite Mission EnMAP for the Multiseasonal Monitoring of Biophysical and Biochemical Land Surface Parameters in Agriculture by Transferring an Analysis Method for Airborne Image Spectroscopy to the Spaceborne Scale, Munchen University (2014)
6. I.M. Scotford; P.C.H. Miller, Applications of Spectral Reflectance Techniques in Northern European Cereal Production: A Review, *Biosystems Engineering* (2005) 90 (3), 235–250
7. J. Eitel, D. Long, E. Hunt, D. Brown, Sensitivity of Ground-Based Remote Sensing Estimates of Wheat Chlorophyll Content to Variation in Soil Reflectance *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, (2009) 1715-1723
8. T. Raper, J. Varco, Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status, *Precision Agric* (2015) 16:62–76
9. Andersone U., Druva-Lūsīte I., Ieviņa B., Karlsons A., Nečajeva J., Samsone I., Ievinsh G, The use of nondestructive methods to assess a physiological status and conservation perspectives of *Eryngium maritimum* L. *Journal of Coastal Conservation* 15 (2011) 509–522.
10. Karlsons A., Druva-Lusite I., Osvalde A., Necajeva J., Andersone-Ozola U., Samsone I., Ievinsh G. Adaptation strategies of rare plant species to heterogeneous soil conditions on a coast of a lagoon lake as revealed by analysis of mycorrhizal symbiosis and mineral constituent dynamics. *Environmental and Experimental Biology* 15, (2017) 113–126.
11. Myneni R.B., Asrar G., Atmospheric effects and spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 47 (1994) 390–402