

IOT SVARA SENSORU IZMANTOŠANA PRECĪZAI LAISTĪŠANAS PARAMETRU NOTEIKŠANAI PIE DAŽĀDIEM APGAISMOJUMA VEIDIEM

IOT WEIGHT SENSOR APPLICATION FOR PRECISE IRRIGATION PARAMETER DETECTION WITH DIFFERENT TYPES OF LIGHTING

Andrejs Potapovs¹, Ansis Avotiņš¹, Daiga Sergejeva², Ina Alsiņa², Juris Gruduls³

¹Rīgas Tehniskā universitāte, ²Latvijas Lauksaimniecības universitāte, ³SIA „Latgales dārzeņu
loģistika”

ansis.avotins@rtu.lv

Abstract. *The paper describes experimental results of continuous weight measurement data of tomatoes and salad crops grown with three different types of lighting using IoT technology. Light Emitting Diode (LED), induction and high pressure sodium vapour lamps were used as lighting luminaries. Furthermore, a new irrigation cycle detection algorithm was developed and tested. The obtained data show precise water evaporation and irrigation amount values that can be used for future crop quality control and evaluation algorithm development.*

Key words: *crop, weight measurement, IoT, greenhouse systems, tomatoes.*

Ievads

Mūsdienās praktiski visās cilvēka darbības jomās arvien lielāku popularitāti iegūst IoT (Internet of Things) sistēmu automatizācijas un monitoringa sistēmu elementi (Chandraul, Singh, 2010). Arī industriālo siltumnīcu vadības sistēmas nav izņēmums, jo tajās arī pēdējā laikā arvien lielāku popularitāti iegūst daudzveidīgu sensoru izmantošana dārzeņu un citu kultūraugu audzēšanas procesa automatizācijai – ar mērķi kopumā paaugstināt šī procesa automatizācijas līmeni, ražošanas procesu kvalitāti, energoefektivitāti un citus svarīgus parametrus (Thakkar, Prajapati, Patel, 2013; Kondratjevs, Kunicina, Patlins *et al.*, 2016).

Autori uzskata, ka dati, ko ļauj iegūt IoT svara sensori, un to atbilstoša analīze var sniegt svarīgu informāciju, veicot dažādus laboratorijas pētījumus, kas saistās ar augu augšanas parametru izpēti. Tāpat šie dati var tikt izmantoti arī industriālās siltumnīcās, lai novērtētu esošo automātiskās laistīšanas sistēmu efektivitāti un darba kārtību, kā arī palīdzēt automātiski un efektīvi veikt nepieciešamās korekcijas jau esošajos automātiskās laistīšanas grafikos (Avotins, Potapovs, Apse-Apsitis *et al.*, 2018).

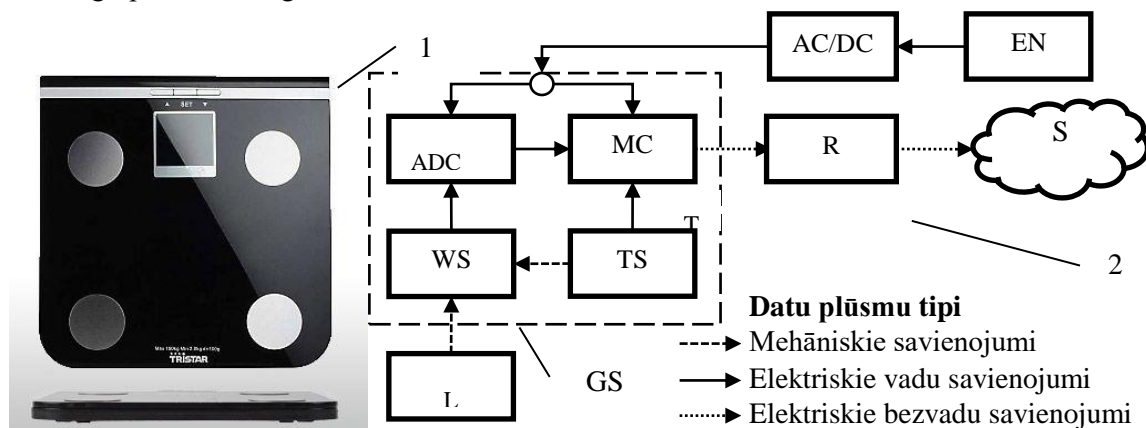
Šajā rakstā autori aplūko gan piedāvāto IoT svaru sensoru prototipu uzbūvi, gan arī veicamo augu svēršanas un IoT svara sensoru sistēmas testēšanas eksperimentu, kurš veikts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Augsnes un augu zinātņu institūta polikarbonāta siltumnīcā un kura ietvaros siltumnīcā ir iedalītas trīs eksperimentālās zonas atbilstoši tajās izmantotā apgaismojuma veidam – LED (Helle COB), nātrija (NaHPS) un indukcijas lampas. Katrā no zonām ir izvietoti vairāki IoT svara sensori, kā arī gaisa temperatūras un mitruma sensori, kas attiecīgi ir izkārtoti 3 līmeņos (20 cm no zemes, auga līmenī un aptuveni 20 cm no jumta seguma).

Autori izvirza hipotēzi, ka IoT svara sensoru izmantošana aprakstītā augu svēršanas eksperimenta ietvaros ļautu iegūt precīzus datus par salātu *Lactuca sativa* L. var. foliosum šķirnes ‘Dubacek’ un *Lactuca sativa* L. šķirnes ‘Michalina’ ūdens daudzuma patēriņu laikā (nepieciešamību) pie dažādiem apgaismojuma apstākļiem. Salāti audzēti 1 litra veģetācijas traukos ar 13 cm lielu diametru, pildīti ar SIA „Horticom” ražoto kūdras substrātu „Kekkila” (pH 5.6, N:P:K – 80:60:200 mg L⁻¹, kūdras frakcija 0–25 mm). Eksperiments iekārtots, ņemot vērā dabisko ūdens iztvaikošanas daudzumu no augsnes virsmas, veicot mērījumus stādu konteineriem ar augu un analogam veģetācijas traukam bez tā. Katra varianta ietvaros visi veģetācijas trauki nodrošināti ar vienādiem ārējās vides apstākļiem. Veikts uzlietā ūdens manuāls un automatizēts monitoringa.

Materiāli un metodes

Eksperimenta datu automātiskai ievākšanai tiek izmantoti iepriekš izstrādāti grīdas svaru moduļi (GS). GS ir izveidoti uz gatavu nopērkamu grīdas svaru pamata (skat. 1. att. (1)). No tirdzniecībā pieejamajiem un konstruktīvi atbilstošajiem grīdas svāriem tika izvēlēts „Tristar” ražotāja svaru modelis ar nosaukumu „WG-2424”, kura maksimālā ražotāja norādītā slodze ir 150 kg.

Nepieciešamās funkcionalitātes iegūšanai esošā grīdas svaru konstrukcija ir papildināta ar atsevišķu lielas izšķirtspējas analogciparu pārveidotāju (ADC), temperatūras sensoru (TS) un mikrokontrolieri ar iebūvētu Wi-Fi moduli (MC). Analogciparu pārveidotājs (HX711, 24 bitu) tiek izmantots signāla nolasišanai no četriem oriģināli iebūvētajiem tenzorezistoru svaru sensoriem, kas ir saslēgti pilna tilta slēgumā.



1. att. IoT svāri: 1 – GS izstrādei izmantotie grīdas svāri, 2 – GS tenzorezistoru slēguma shēma.

Fig. 1. IoT based weight sensor: 1 – GS base system, 2 – GS tensor-resistor circuit.

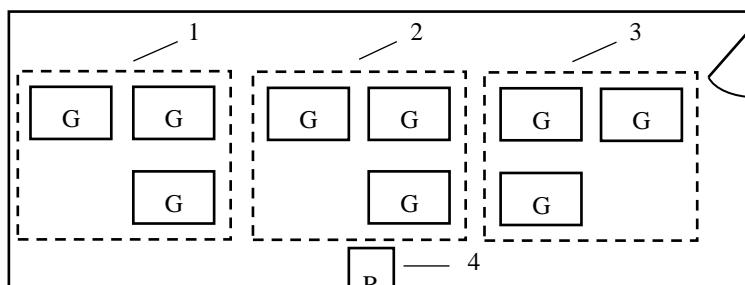
Kopējā principiālā GS funkcionēšanas shēma attēlota (skat. 1. att. (2)), un tā satur šādus elementus:

- GS – grīdas svaru modulis;
- WS – tenzometriskais svaru sensors;
- ADC – augstas izšķirtspējas analogciparu pārveidotājs;
- MC – mikrokontroliera platforma ar iebūvētu Wi-Fi funkciju;
- TS – temperatūras sensors;
- R – Wi-Fi bezvadu interneta rūteris;
- S – datu serveris (IoT Cloud);
- AC/DC – barošanas bloks;
- L – slodze;
- EN – elektriskais tīkls.

Temperatūras sensors (TS) ir mehāniski pievienots vienam no četriem tenzorezistoriem (svara sensors), un tas kalpo paša svaru sensora temperatūras noteikšanai, lai veiktu GS svaru rādījumu pēcapstrādi. TS lomā tiek izmantots temperatūras sensors DS18B20 TO92 korpusā. Mikrokontroliera (MC) lomā tiek izmantots mikrokontrolieris „Electric IMP” (V1), kurš apstrādā visu nepieciešamo informāciju no ADC un TS, kā arī nosūta to turpmākai datu analīzei un glabāšanai uz servera (S). GS universālai elektrobarošanai grīdas svaru korpusā ir iestrādāta mikro-USB kontaktligzda. GS barošanai tiek izmantots AC/DC tīkla sprieguma adapteris ar izejas spriegumu 5 V un maksimālo strāvu 700 mA.

Veicamā eksperimenta apraksts

Aprakstāmā eksperimenta veikšanai GS izvietoti siltumnīcā pēc konkrētas shēmas (skat. 2. att.). Eksperimenta norises vieta iedalīta 3 zonās – atbilstoši tajās izmantojamajam apgaismojumam. Katrā no šīm zonām atrodas 3 GS moduļi, no kuriem 2 (GS7 un GS8, GS4 un GS5, kā arī GS2 un GS3) tiek izmantoti eksperimentālo datu ieguvei aprakstāmajam eksperimentam, bet trešais (GS1, GS6 un GS9) papildu statistisko datu ieguvei. Attālums starp gaismekļu zonām vidēji ir 8.5 m.



2. att. GS izvietojuma shēma: 1 – nātrija lampu zona, 2 – indukcijas lampu zona, 3 – LED lampu zona, 4 – bezvadu interneta rūteris.

Fig. 2. Weight sensor placement in the greenhouse: 1 – Sodium lamps, 2 – Induction lamps, 3 – LED lamps, 4 – WiFi router.

Automātiskais laistīšanas parametru uzskaites algoritms

Eksperimenta laikā iegūtie GS svara mērījuma dati tiek apstrādāti ar atbilstoša meklēšanas algoritmu palīdzību, kurš ar zināmu precizitāti ļauj automatiski noteikt laistīšanas reižu skaitu un laistīšanas brīdī izmantotā ūdens apjomu (šeit augu masas pieaugums netiek ņemts vērā). Šī informācija tiek fiksēta arī manuāli uzskaites datu tabulā (1. tab.), kas turpinājumā ļaus pārbaudīt automatiskās laistīšanas datu uzskaites algoritma un pašu GS darbības precizitāti. Auga svara mērījumu dati tiek glabāti šāda datu masīva veidā:

$$\begin{cases} SV = \{sv_1, sv_2, \dots, sv_m\} \\ TS = \{ts_1, ts_2, \dots, ts_m\} \end{cases}, (1)$$

kur SV – auga svara mērījuma masīvs, g;
 TS – atbilstošo veikto mērījumu laika masīvs, (d, h, m, s).

Definēts kritiskais svara pieaugums Δsv_{rob} , kas tiek uzskatīts par laistīšanas procesa uzsākšanu un var tikt iestatīts atbilstoši apstrādājamam masīvam SV . Laistīšanas reižu diennaktī automatiskās uzskaites algoritms pēc reāliem mērījumu datiem darbojas secīgi pa šādiem soļiem:

1. solis: Tiek noteikts svara pieaugums n -tajam svara mērījumam:

$$\Delta sv_n = sv_n - sv_{n-1}, (2)$$

kur Δsv_n – svara pieaugums n -tajam mērījumam, g;
 sv_n – momentānais svara mērījuma rezultāts, g;
 sv_{n-1} – iepriekšējā svara mērījuma rezultāts, g.

2. solis: Tiek pārbaudīts, vai Δsv_n pārsniedz uzdoto robežvērtību Δsv_{rob} .

3. solis: Ja $\Delta sv_n > \Delta sv_{rob}$, tiek noteikts minimālā svara mērījuma indekss n^* atbilstošajā mērījumu diapazonā (± 5 mērījumi), kas turpmāk kalpos kā indikators laistīšanas uzsākšanas momentam:

$$n^* = (n^* | sv_{n^*} = \min(sv_{n-5}, \dots, sv_n, \dots, sv_{n+5}).$$

Seko, ka sv_{n^*} ir svars laistīšanas sākumā, bet tl_{n^*} ir atbilstošais laiks laistīšanas sākumā.

4. solis: Tiek noteikts maksimālā svara mērījuma indekss n^{**} atbilstošajā mērījumu diapazonā ($+10$ mērījumi), kas turpmāk kalpos kā indikators laistīšanas beigu momentam:

$$n^{**} = (n^{**} | sv_{n^{**}} = \max(sv_n, \dots, sv_{n+10}).$$

Seko, ka $sv_{n^{**}}$ ir svars laistīšanas beigās, bet $tl_{n^{**}}$ ir atbilstošais laiks laistīšanas beigās.

5. solis: Tiek noteikts laistīšanas apjoms sl_i , izmantojot formulu:

$$sl_n = sv_{n^{**}} - sv_{n^*}.$$

6. solis: Atbilstošais laistīšanas laiks tiek noteikts pēc formulas:

$$tl_n = tl_{n^*}.$$

7. solis: Dati tiek saglabāti jaunā datu masīvā, kurā tiek glabāta informācija par laistīšanas apjomiem sl_{i_n} un to veikšanas atbilstošajiem laikiem tl_n :

$$\begin{cases} SL = \{sl_1, sl_2, \dots, sl_m\} \\ TL = \{tl_1, tl_2, \dots, tl_m\}. \end{cases}$$

Tiek paredzēts, ka aprakstītais algoritms tiks realizēts uz datu glabāšanas servera pamata, kas ļaus ērti analizēt visus iekrātos eksperimenta datus.

Rezultāti un diskusijas

Publikācijas sagatavošanas brīdī un aizvadītā eksperimenta laikā tika fiksēti konkrēti dati par augu laistīšanas laiku un apjomiem. 1. tabulā kā piemērs ir apskatāmi dati par pielieto ūdens daudzumu, kas ir fiksēti manuāli, un atbilstošie dati, kas ir fiksēti automātiski ar GS un aprakstītā meklēšanas algoritma palīdzību (pierakstīts iekavās). Tabulas pēdējā rinda satur informāciju par katru svaru vidējo aprēķināto noteiktā laistīšanas apjoma kļūdu.

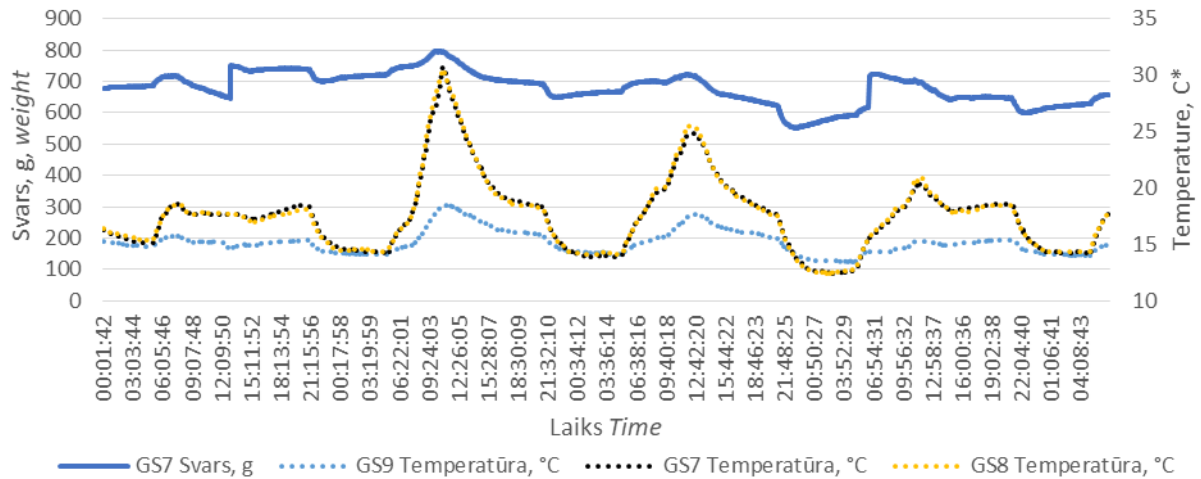
No GS7 lielākajā eksperimenta daļā netika veikti ticami mērījumu dati. Šo faktu autori saista ar to, ka konkrētajam svaru modulim eksperimenta uzsākšanas brīdī netika veikts korekts kalibrēšanas process, savukārt 2019. gada 19. janvārī neviens no svāriem nefiksēja laistīšanas procesus saistībā ar interneta sakaru pārtraukumu. Laistīšanas cikli norādīti 4. attēlā.

1. tabula Table 1

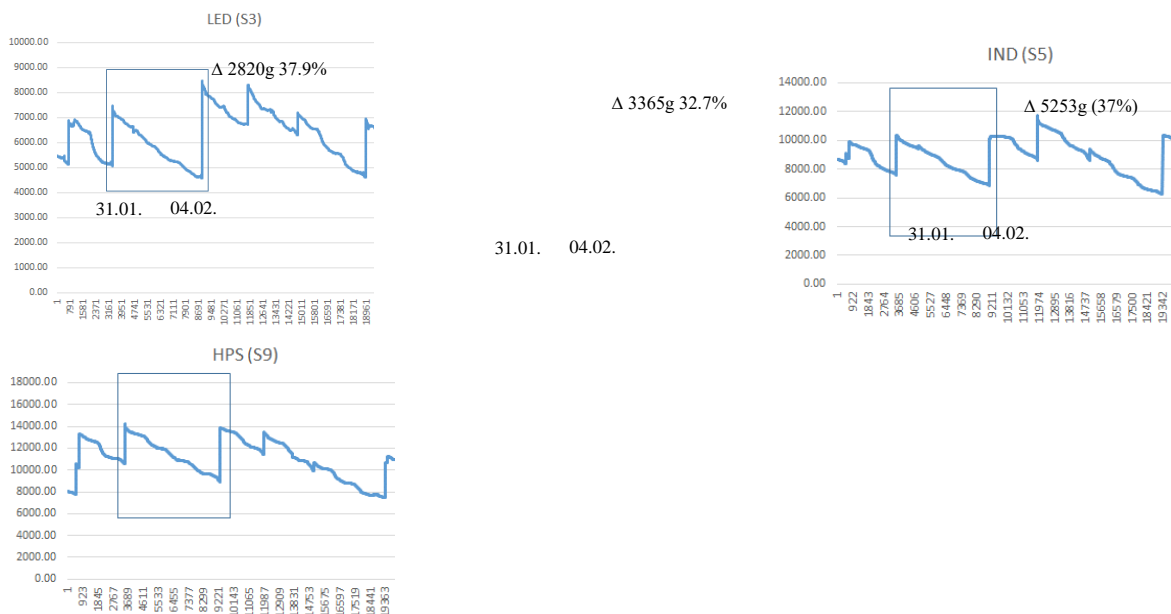
Laistīšanas datu uzskaites tabula
Table of obtained irrigation measurement data

Datums / Date	Laiks / Time	Ielietais ūdens daudzums, g / Obtained water amount					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
		LED		IND		HPS	
	Svaru ID	GS2	GS3	GS4	GS5	GS7	GS8
		salāti / salats	tomāti / tomatoe	salāti / salats	tomāti / tomatoe	salāti / salats	tomāti / tomatoe
16.01.2019	09:45	100(89)	0(0)	100(91)	100(93)	100(93)	200(166)
17.01.2019	11:15	100(96)	0(0)	100(94)	0(0)	100(95)	0(0)
18.01.2019	11:15	0(0)	0(0)	0(0)	100(111)	0(0)	0(0)
19.01.2019	16:55	0(0)	100(0)	100(0)	200(0)	100(0)	200(0)
21.01.2019	15:39	100(63)	100(109)	100(0)	0(75)	100(?)	100(100)
22.01.2019	15:55	100(101)	200(195)	120(198)	200(125)	140(?)	200(200)
25.01.2019	15:30	0(0)	0(0)	100(81)	80(66)	60(?)	100(107)
27.01.2019	08:30	100(0)	0(0)	200(0)	100(0)	100(?)	100(0)
28.01.2019	08:34	0(102)	0(0)	0(97)	0(191)	0(?)	0(102)
04.02.2019	15:25	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	600(536)	600(621)
11.02.2019	17:03	600(500)	600(558)	1200(1072)	1200(1094)	1200(1088)	1200(1031)
14.02.2019	17:00	?(500)	?(544)	?(1361)	?(1061)	?(0)	?(0)
Kļūda, %		13,93	7	25	16,36	---	6,23

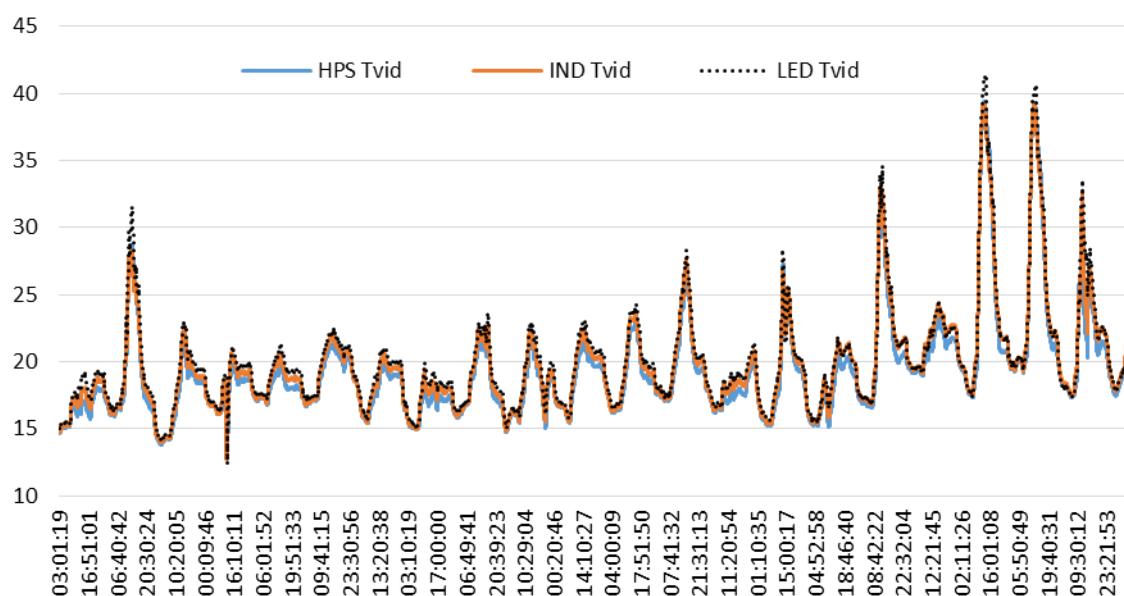
Aprēķinātās GS kļūdas paaugstinātā vērtība lielākoties saistīta ar GS darbības precizitāti pie mainīgām apkārtējās gaisa temperatūras vērtībām (skat. 3. att.), kas aprakstītajā eksperimentā pārsvarā veidojās, pateicoties lampu darbībai un attiecīgajam GS izvietojumam (piemēram, GS7 un GS8 bija izvietoti uz galda, bet GS9 – uz grīdas (skat. 3. att.)). Mērījumu kļūdu palielināja arī fakts, ka eksperimenta norises laikā sveramā masa bija aptuveni 2% no GS maksimālā darba svara, kas neļāva iegūt mērījumus ar maksimālo izšķirtspēju. Laistīšanas apjoma (svara) kritums veidoja 37–37.9% (skat. 4. att.).



3. att. GS iegūtie mērījumu dati.
Fig. 3. Obtained GS measurement data.



4. att. GS iegūtie laistīšanas cikli.
Fig. 4. Obtained GS irrigation cycles.



5. att. Vidējās temperatūras siltumnīcā pie dažādu gaismekļu sekcijām.
Fig. 5. Average temperatures in the greenhouse at different luminaires' sections.

Secinājumi

Veiktā eksperimenta laikā tika noteikts, ka ar izmantoto svaru moduļu un aprakstītā meklēšanas algoritma palīdzību ar zināmu precizitāti ir iespējams noteikt laistīšanas apjomus un to laiku. Ūdens patēriņš pie LED lampu apgaismojuma veido 37.9%, pie nātrija – 37%, bet pie indukcijas lampām – 32.7%. Temperatūras ir augstākas pie LED gaismekļiem un zemākas pie nātrija gaismekļiem, kas liecina, ka augs intensīvāk “elpo” un izdala mitrumu izteiktā infrasarkanā spektra diapazonā dēļ, respektīvi, nātrija gaismeklim novērojami izteikti siltuma zudumi.

Aprakstītā auga laistīšanas parametru automātiskās noteikšanas algoritma viens no iespējamajiem trūkumiem ir saistīts ar iespējamajām “viltus nostrādēm”, kas var būt saistītas ar auga svāra rādījuma pēkšņajām izmaiņām (piemēram, augs ticis izkustināts, lai veiktu manuālus svāra mērījumus).

Mazāku GS mērījumu kļūdu ļautu iegūt atbilstošāks svāra rādījumu apstrādes algoritms, kas koriģētu rādījumus atbilstoši temperatūras ietekmei uz GS tenzorezistoriem un elektrisko shēmu, taču dažādu tenzorezistoru parametru dēļ šāda algoritma atbilstošie koeficienti būtu jāpiemeklē katram atsevišķam GS, kas varētu sadārdzināt tā ražošanas izmaksas.

Pateicība

Darbs izstrādāts ERAF projekta „Jaunu vadības metožu izstrāde siltumnīcu augu apgaismojuma sistēmām to enerģētisko un ekoloģisko parametru uzlabošanai (μMol)” ietvaros.

Izmantotā literatūra

1. Chandraul K, Singh A.(2010). An agriculture application research on cloud computing. *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 3, No.5, p. 2084–2087.
2. Thakkar K. H., Prajapati V. M., Patel B.P. (2013). Performance Evaluation of Strain Gauge Based Load Cell to Improve Weighing Accuracy. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, Vol. 2, Issue 1.
3. Kondratjevs K., Kunicina N., Patlins A., Zabasta A., Galkina A. (2016). Vehicle weight detection sensor development for data collecting in sustainable city transport system. *In: 57th International Scientific Conference RTUCON*, Riga, 2016, p. 1–5.
4. Avotins A., Potapovs A., Apse-Apsitis P., Gruduls J. (2018). Crop weight measurement sensor for IoT based industrial greenhouse systems. *Journal of Agronomy Research*, Vol. 16, Special Issue 1, p. 952–957.