

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Eiropas Savienības Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai (ELFLA) Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.–2020. gadam pasākuma "Sadarbība" 16.2. apakšpasākums „Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei” projekta Nr. 18-00-A01620-000003

Tehnoloģijas izstrāde graudu kaltēšanai ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu

PROJEKTA ATSKAITE- KOPSAVILKUMS

Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Ulbrokas zinātnes centrs

2021

Informācijas sagatavotājs	3
1. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu, prasību izpēte	5
1.1. Graudu ozonēšanas process un parametri	6
1.2. Prasības ozona ģenerators izvēlei	9
1.3. Graudu ozonēšanas varianti tvertnē	10
1.4. Ozonēšanas pakalpojuma sniedzējs	13
2. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu, tehnoloģijas un metodikas izstrāde	13
2.1. Tehnoloģijas apraksts	13
2.2. Metodika mērījumu veikšanai un sensoru sistēmas sagatavošanai	16
2.2.1. Izmēģinājumu laikā saimniecībā reģistrējamie parametri	16
2.2.2. Sensori vēdināšanas procesa monitoringam	16
2.2.3. Elektroniskās shēmas sensoru sistēmai un datu uztveršanas sistēmai izstrāde	21
2.3. Graudu kvalitātes novērtēšanas metodika	22
3. Tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana	24
3.1. Tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude 2019. gadā (2.posms)..	24
3.1.1. Savākto datu pārraides kanāla ierīkošana, apstrāde, attēlošana un saglabāšana ..	26
3.1.2. Sensoru sistēmas uzstādīšana kaltē, kalibrēšana, testēšana apkārtējā vidē	29
3.1.3. Ozona ģeneratoru uzstādīšana, mēriekārtu uzstādīšana	30
3.2. Tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude 2020. gadā (4.posms)..	32
3.2.1. Sensoru sistēmas uzstādīšana, sensoru sistēmas kalibrēšana, testēšana	33
4. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu un glabāšanas pētījumi saimniecībā	35
4.1. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu un glabāšanas, pielietojot ozonu, izmēģinājumi saimniecībā 2019. gadā (2.posms)	35
Secinājumi par 2. posma izmēģinājumu saimniecībā rezultātiem	38
4.2. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu un glabāšanas, pielietojot ozonu, izmēģinājumi saimniecībā 2020. gadā (4.posms)	39
Kopsavilkums par 2.un 4. posma izmēģinājumu saimniecībā rezultātiem	44
5. Ozonētu graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana	45
5.1. Graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana 2.–3. posmā	45
5.2. Graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana 4.–5. posmā	53
5.2.1. Graudu fizikāli – ķīmisko parametru analīze	53
5.2.2. Graudu mikrobioloģisko rādītāju analīze uzglabāšanas laikā	55
5.2.3. Graudu ķīmiskā sastāva izmaiņas uzglabāšanas laikā	56
Kopsavilkums par 2.–5. posma graudu glabāšanas laikā novērtēšanas rezultātiem	57
6. Ziņojumu un publikāciju sagatavošana	58
6.1. Nolasītie referāti starptautiskās zinātniskās konferencēs:	58
6.2. Publicētās zinātniskās un populārzinātniskās publikācijas:	58
7. Kopsavilkums par projekta rezultātiem	60

Informācijas sagatavotājs

Vadošais partneris Latvijas Lauksaimniecības universitātē

Projekta koordinators un tā kontaktinformācija

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Ulbrokas zinātnes centrs,

Vadošais pētnieks, Dr.sc.ing. Ādolfs Ruciņš

Tālrunis: +371 67910879;

E-pasts: adolfs.rucins @llu.lv

Adrese: Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001

Sadarbības partneri un to kontaktinformācija

Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts,

Vadošais pētnieks, Dr.sc.ing. Jānis Kleperis

Tālrunis: +371 29242066

E-pasts: kleperis@latnet.lv

Adrese: Ķengaraga iela 8, Rīga., LV-1063

Ozone Tech, SIA,

Mgr.oec. Juris Brūveris

Tālrunis: +371 29223654

E-pasts: juris.bruveris@ozonaietas.lv

Adrese: K.Ulmaņa gatve 3, Rīga, LV-1004

Zemnieku saimniecība "Mazkalniņi",

Īpašnieks Dr.sc.ing. Aivars Cēsnieks

Tālrunis: +371 29118642

E-pasts: ac.mazkalni@inbox.lv

Adrese: "Mazkalniņi", Tērvetes pagasts, Tērvetes novads, LV-3730

Projekta īstenošanas periods

2018. gada 01. novembris - 2021. gada 30. jūnijs

Kopējās projekta izmaksas

Kopējās projekta izmaksas ir 97 158 EUR

Projekta pamatjēdziens

Noskaidrot tehnoloģijas ozona pielietošanai graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu intensificēšanai un graudu kvalitātes nodrošināšanai glabāšanas laikā.

Projekta mērķis: *Izstrādāt un pārbaudīt tehnoloģiju graudu kaltēšanai ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu, ar mērķi intensificēt kaltēšanu un nodrošināt graudu kvalitāti glabāšanas laikā.*

Projekta gaitas un rezultātu īss apraksts

Projekta īstenošanas gaitā tika izstrādāta un Tērvetes novada zemnieku saimniecībā "Mazkalniņi" pārbaudīta aktīvās vēdināšanas tehnoloģija, gaisam pievienojot ozonu. Tika veikta eksperimentālā izstrādne, jo līdz šim Latvijā nav veikti eksperimenti par ozona pielietošanu graudu aktīvajā vēdināšanā liela tilpuma tvertnēs saimniecības apstākļos.

Projekta piecu etapu izpildes gaitā sasniegtie rezultāti:

- veikta graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu, prasību izpēte, literatūrā aprakstīto pētījumu analīze un izvērtēšana;
- veikta graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu, tehnoloģijas un eksperimentu metodikas izstrāde, ozona ģenerators izvēle;
- veikta graudu tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude;
- veikta ozona koncentrācijas, mitruma starpgraudu telpā un graudu temperatūras noteikšanas un reģistrācijas sensoru sistēmas izstrāde un montāža;
- veikta sensoru sistēmas funkciju programmēšana, sistēmas uzstādīšana tvertnēs un testēšana, ozona ģenerators uzstādīšana, nodrošināta sensoru sistēmas un ozona ģenerators funkcionēšana;
- veikta izstrādātās tehnoloģijas eksperimentālā pārbaude 2019. un 2020. g.;
- veikta ozonētu graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana 2019 - 2021. g.;
- sagatavota projekta gala atskaite un rezultātu kopsavilkums;
- publicitātes ietvaros veikta iegūto rezultātu apkopošana un analīze, sagatavotas un publicētas 5 zinātniskas publikācijas, 4 populārzinātniskas publikācijas, nolasīti 5 referāti starptautiskās zinātniskās konferencēs, par projekta rezultātiem ziņots graudu audzētājiem seminārā – lauku dienā;
- komandējumu un darba braucienu ietvaros tika meklēta informācija projekta vajadzībām, nodrošināta projekta izpilde, nolasīts referāts starptautiskā konferencē.

1. GRAUDU KALTĒŠANAS AR AKTĪVO VĒDINĀŠANU, PIELIETOJOT OZONU, PRASĪBU IZPĒTE

Projekta eksperimentālā daļa tika realizēta Tērvetes pagasta zemnieku saimniecībā "Mazkalniņi". Saimniecības pamatnodarbošanās ir graudkopība. Graudu novākšanai tiek izmantoti saimniecības kombaini un cita tehnika, graudu kaltēšanai grīdas kalte ar silto gaisu un divas aktīvi vēdināmas graudu tvertnes. Tātad projekts notika reālā ražas novākšanas laikā ar reāliem laika un blakus apstākļiem.

Projekta ietvaros graudu kaltēšana notika divās graudu tvertnēs ar maksimālo kapacitāti 17 tonnas - vienā graudus vēdinot ar neuzsildītu āra gaisu - otrā neuzsildītajam āra gaisam pievienojot ozonu (1.1 un 1.2.att.). Graudu kaltēšanas procesa laikā apkārtējā vide ir atklāta un putekļaina, ko ietekmē gaisa padeves ventilatoru darbība, apkārtējā transporta darbība, vējš, nokrišņi, u.c. Gaisa temperatūra var svārstīties no +5 °C nakts laikā līdz + 30 °C dienas laikā. Gaisa relatīvais mitrums var būt robežās no 30% līdz 90%.



1.1. att. Ozona padeve tvertnē.

1.2. att. Graudu vēdināšanas tvertnes.

No tīrums tiek saņemta kombaina nokulta mitru graudu masa ar mazāku vai lielāku daudzumu organisko vai neorganisko piemaisījumu. Tāpēc, lai saglabātu izaugušo ražu, jāveic virkne tehnoloģisko pasākumu, ko sauc par graudu apstrādi. Svarīgākie no tiem ir graudu attīrīšana no piemaisījumiem, mitruma samazināšana ar kaltēšanu vai aktīvo vēdināšanu un sekojoša glabāšana.

Turpmāk apskatīti ar graudu aktīvo vēdināšanu saistīti jautājumi. Ar aktīvo vēdināšanu saprot nekustīga graudu slāņa caurpūšanu ar gaisu vertikālā, slīpā vai horizontālā virzienā ar nolūku tos atdzesēt, īslaicīgi saglabāt, daļēji vai pilnīgi izkaltēt. Svarīgākās prasības graudu kaltēšanai ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu, ir iespēja nodrošināt graudu atdzesēšanu 40 - 48 stundās un izkaltēšanu līdz kondīcijas mitrumam, kā arī kvalitatīvu graudu uzglabāšanu. Turklāt vēdināšanas gaisam pievienojot ozonu energopatēriņam, būtu jāsamazinās, salīdzinot ar graudu aktīvo vēdināšanu bez ozona pielietošanas. Kā rāda ilggadīga pieredze, graudus kaltēt ar aktīvo vēdināšanu ir lietderīgi, ja to sākotnējais mitrums nepārsniedz 20 - 23%, optimālais graudu mitruma saturs eksperimentu veikšanai 16 - 18%.

Eksperimentus graudu kaltēšanai ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu ražošanas apstākļos, iespējams veikt tikai ar vajadzīgajām iekārtām aprīkotā graudu pirmapstrādes punktā. Minimālais punkta aprīkojums: grīdā iebūvēta tvertne no kombaina atvesto graudu pieņemšanai, transportieris graudu padevei uz priekštīrītāju, starptvertne priekštīrītāja attīrīto graudu uzkrāšanai, norija graudu augšējai padevei uz vēdināšanas tvertnēm, tvertne graudu vēdināšanai pielietojot ozonu, analogiska tvertne graudu vēdināšanai bez ozona. Izvēsta graudu pirmapstrādes punkta shēma dota 2. nodaļā - *Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu, pielietojot ozonu, tehnoloģija un metodika*.

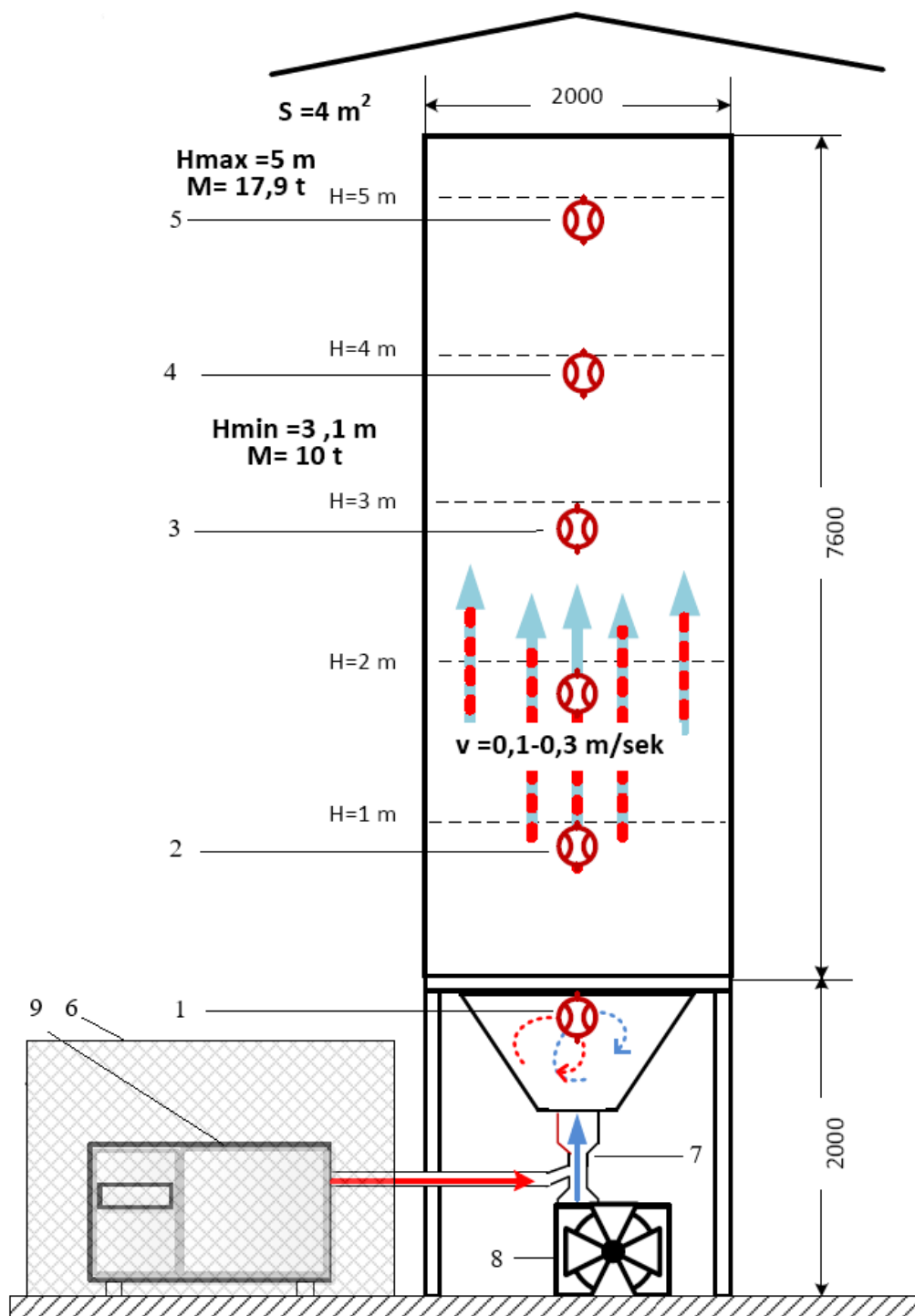
Eksperimentu būtība: divas vienādas tvertnes tiek aprīkotas ar vienādiem ventilatoriem vēdināšanas gaisa padevei un sensoriem vēdināšanas režīmu un graudu mitruma un temperatūras kontrolei, tajās tiek iekrauts vienāds daudzums vienāda mitruma priekštīrītājā attīrītu graudu, graudi tiek vēdināti līdz kondīcijas mitrumam (14%) vienā tvertnē ar ozona padevi vēdināšanas gaisā, otrā – bez ozona padeves. Tiek reģistrēti vēdināšanas režīmi (graudu mitrums, temperatūra, ozona koncentrācija dažādos tvertnes slāņos), kā arī enerģijas patēriņš katra ventilatora un ozona ģenerators darbināšanai. Pēc kondīcijas mitruma sasniegšanas graudi paliek tvertnēs glabāšanai, no tām tiek ņemti paraugi un tiek vērtēta ozonēto graudu piemērotība maizes cepšanai, dīdžība, kā arī ilglaicīgi tiek salīdzinoši vērtēta ozonēto un neozonēto graudu kvalitāte glabāšanas laikā (mikrobioloģiskais piesārņojums). Tiek vērtēti arī ekonomiskie rezultāti – enerģijas patēriņš tonnas graudu izžāvēšanai līdz kondīcijas mitrumam ar un bez ozona pielietošanas. Eksperimentu laikā vērtēti arī optimālie ozonēšanas režīmi. Eksperimentu vajadzībām aprīkotu graudu pirmapstrādes punktu un vēdināšanas tvertnes saskaņā ar projekta nosacījumiem nodrošina zemnieku saimniecība “Mazkalniņi”.

1.1. Graudu ozonēšanas process un parametri

Atbilstoši vēdināmo graudu sākotnējam mitrumam, prognozējamajam kaltēšanas ilgumam un tvertnes izmēriem jāizvēlas vajadzīgais ventilators, ozona ģenerators, kā arī jāizstrādā un jāsamontē tvertnēs vēdināšanas procesa kontroles iekārta - sensoru sistēma. Eksperimentiem sagatavotas tvertnes shēma parādīta 1.1. attēlā.

Gaisa īpatnējais izlietojums aktīvai vēdināšanai q $\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{h}$ (gaisa kubikmetri uz 1 m^3 graudu stundā) atkarīgs no graudu sākotnējā mitruma un graudu slāņa biezuma. Ņemot vērā, ka eksperimentos paredzēts vēdināt graudus ar sākotnējo mitrumu līdz 23%, sagaidāmo vēdināšanas ilgumu līdz 10 diennaktīm, kā arī minētos tvertņu konstruktīvos izmērus, pēc literatūras datiem [1] var pieņemt, ka gaisa īpatnējais izlietojums q varētu būt aptuveni 360 $\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{h}$ (gaisa kubikmetri uz 1 m^3 graudu stundā). Ievērojot iepriekšminētos

parametrus, ventilatora ražīgumam būtu jābūt aptuveni $7200 \text{ m}^3/\text{h}$ gaisa ar spiedienu 120 - $150 \text{ kg}/\text{m}^2$ [1]. Izvēlēts ventilators ar ražīgumu $7000 \text{ m}^3/\text{h}$, darba rata ātrumu 2800 apgr./min un motora jaudu 4.0 kW.



1.3. att. Graudu apstrādes ar ozonu tvertnē shēma.

1 - 5 sensori [O_3 - ozons, ppm (mg/m^3); W - graudu mitrums, %; t - temperatūra, $^{\circ}\text{C}$]; 6 - gaisa filtra kārbā; 7 - venturi caurule; 8 – ventilators; 9 – ozona ģenerators.

Tabulā 1.1. apkopota graudu ozonēšanas procesu raksturojoša informācija.

1.1. tabula

Graudu ozonēšanu raksturojošo parametru apraksts un mērvienības

Parametrs	Simb.	Mērv.	Min.	Max.	Apraksts
Ozona koncentrācija gaisā (graudu tvertnē starp graudiem)	C	ppm	0.7	10.0	PPM (daļu skaits uz miljonu) norāda, cik daudz gāzes daļu ir katrā miljonā daļu no kopējās gāzes masas. Problēmu ar PPM rada tas, ka mēs šīs daļas varam mērit gan pēc apjoma, gan pēc svara. Dažkārt ir norādīts ppmv, kas nozīmē daļu skaitu uz miljonu pēc apjoma. Tāpēc, aprēķinot ozonu, izmantosim aprēķinus pēc apjoma $1 \text{ mg/l} = 1 \text{ g/m}^3 = 1 \text{ ug/ml} = 467 \text{ ppm}$ $1 \text{ ppm} = 2.14 \text{ mg/mc} = 0.00214 \text{ g/m}^3 \text{ O}_3$ $1 \text{ mg/m}^3 = 0.47 \text{ ppm O}_3$ $1 \text{ mg/m}^3 = 0.467 \text{ ppm O}_3$
Ozona koncentrācija no ozona ģeneratora (ja būs mēriekārta no ražotāja)	O	mg/l	20	60	Cik koncentrēts, ozons tiek padots no ozona ģeneratora. Parasti mg/l vai g/m^3 . Ar gaisa padevi ozona koncentrācija var būt no 10 mg/l līdz 120 mg/l ar skābekļa padevi. Šī koncentrācija ir ļoti liela un tiek mērīta pie ozonatora izejas. Sareizinot šo lielumu ar gaisa plūsmas apjomu, iegūst ozonatora ražību. Var mērit arī %. Tā norāda ozona procentuālo (%) daudzumu konkrētajā gāzes plūsmā. Tā ir ļoti bieži izmantota metode, lai atspoguļotu ozona koncentrāciju no ozona ģeneratora. Tas ir sarežģītāk, nekā g/m^3 , jo gāzes masa mainās atkarībā no tā, vai ozona gāze ir sajaukta ar gaisu vai skābekli. $1\% \text{ ozona} = 12.8 \text{ g/m}^3 \text{ ozona gaisā}$.
Ozona ģeneratora ražīgums	Q	g/st.	200	300	Produktivitāte, jauda - cik gramus ozona saražo iekārta. Atkarīgs no saražotā ozona koncentrācijas un plūsmas. $1 \text{ g/st. ozona} = 1.000 \text{ mg/st. ozona}$
Ozonētā gaisa plūsmas ātrums	v	m/s	0.1	0.3	No optimālas gaisa plūsmas ir atkarīga mitruma samazināšanās ātrums graudos. Pārāk liela gaisa plūsma neļauj ozonam iedarboties uz graudu virsmām.
Āra gaisa mitrums	RH	%	30	70	Gaisa relatīvais mitrums starpgraudu telpā ir procentos izteikta ūdens tvaika parciālā spiediena attiecība pret piesātināta tvaika parciālo spiedienu dotajā temperatūrā.
Graudu mitrums	W	%	14	25	Graudos novākšanas laikā mitruma saturs var būt robežās no 13% līdz 25%.
Graudu krāvuma augstums	H	m	3.1	5.0	Var aprēķināt graudu daudzumu un krāvuma augstumu tvertnē.
Graudu krāvuma laukums	S	m^2	4	4	Graudu blīvums vidēji $P_{gr} = 800 \text{ kg/m}^3$ $H_{min} = V_{min} \cdot S = 12.5 : 4 = 3.1 \text{ m}$;
Graudu krāvuma tilpums	V	m^3	12.5	22.4	$M_{min} = 10 \text{ t graudu} = 12.5 \text{ m}^3$ $M_{maks} = V_{maks} \times P_{gr} = 17.9 \text{ t}$
Graudu krāvuma svars	M	t	10.0	17.9	

Tā kā literatūrā nav izdevies atrast datus par ozona absorbcijas ātrumu (intensitāti) līdz 5m augstā graudu slānī ar dažādu graudu sākotnējo mitrumu, ventilators, kura padotajam vēdināšanas gaisam tiks pievienots ozons, aprīkots ar gaisa padeves daudzuma regulēšanas ierīci, mainot motora strāvas sprieguma frekvenci. Iespējams mainīt divus parametrus – ozona koncentrāciju vēdināšanas gaisā vai gaisa ar ozona piedevu padeves daudzumu – varētu atvieglot optimālo ozonēšanas režīmu noskaidrošanu.

Literatūrā aprakstītajos graudu ozonēšanas eksperimentos [2, 3, 4] tiek norādītas dažādas ozona koncentrācijas vēdināšanas gaisā - no 2.4 mg/m³ [2] līdz pat 30 mg/m³ [4] – miligrami ozona uz kubikmetru vēdināšanas gaisa. Aprakstītie eksperimenti gan ir ļoti atšķirīgi – sākotnējais graudu mitrums no 16-17% līdz pat 29%, graudu apstrādes laiks – no dažām stundām līdz 9 diennaktīm, apstrādājamo graudu daudzums no dažiem desmitiem kilogramu līdz vairākām tonnām, graudu slāņa augstums no 0.5 līdz 3m. Tiek lietotas arī citas koncentrācijas mērvienības – ppm. Tāpēc optimālie ozonēšanas režīmi jāatrod eksperimentu gaitā.

1.2. Prasības ozona ģenerators izvēlei

Ozons tiek ražots no apkārtējā gaisa, bez atsevišķas skābekļa padeves. Ozona ģeneratoram jābūt iespējai savienot ozona gāzes izeju ar apaļu gaisa vadu. Ozona ģenerators dzesēšana ar gaisu. Jānodrošina nepārtraukta darbība, vismaz 48 stundas. Jaudas pieslēgums 220V, maksimālā strāva 10A. Kopējai ozona ražībai jābūt vismaz 200 gramu stundā. Aizsardzībai pret putekļiem jānodrošina gaisa filtrēšana. Ozona ģeneratoriem jābūt ar minimālu servisa apkalpošanu darbības laikā.

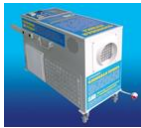
Pēc tehniskā risinājuma tos var iedalīt divos veidos:

- 1) standarta gaisa ozona ģeneratori;
- 2) gaisa un ūdens ozona ģeneratori.

Katrs ozona ģenerators ir paredzēts saviem mērķiem, sākot ar virtuves gaisa attīrīšanu un beidzot ar komunālo notekūdeņu attīrīšanu. Standarta gaisa ģeneratori pēc uzbūves ir vienkāršāki. Ozona ražošanai tie izmanto apkārtējo gaisu, bet to galvenais uzdevums ir liela apjoma zemas koncentrācijas ozona – gaisa plūsmas nodrošināšana. Gaisa un ūdens ozona ģeneratori izmanto skābekli ozona ražošanai. To galvenais uzdevums ir ražot koncentrētas, nelielas plūsmas ozona gāzi. Izplatītāko ozona ģeneratoru parametri apkopoti 1.2. tabulā.

1.2. tabula

Zināmu ozona ģeneratoru ražotāju modeļi un to parametri.

Ozona ģenerators un ražotājs		Ražīgums, max, g/st	Iekšējais ventilators, m ³ /st	Iekārtas svars, kg	Patērējamā jauda, max, kW	Gaisa vada pieslēguma D, mm
	Ozone Gun Device, Medozone, UA http://www.medozone.com.ua	200	495	32.0	1.0	200
	OPV-100.03, ООО НПО "Жемчужина Руси", RU http://www.bakteriy.net/	100	450	5.0	1.1	150

Ozona ģenerators un ražotājs		Ražīgums, max, g/st	Iekšējais ventilators, m ³ /st	Iekārtas svars, kg	Patērējamā jauda, max, kW	Gaisa vada pieslēguma D, mm
	OZ-NR-70-1200, UAB "Ozono centras", LT	70	1200	35.0	0.75	Nav
	Ozonators ar skābekļa koncentratoru SOZ- YOT-200G; Gaisa kompresors ar susinātāju DH-6000B BNP ozone technology Co., Ltd, CN	200	20 litri/min, konc. 50- 100ml/l	260.0	5.3	10

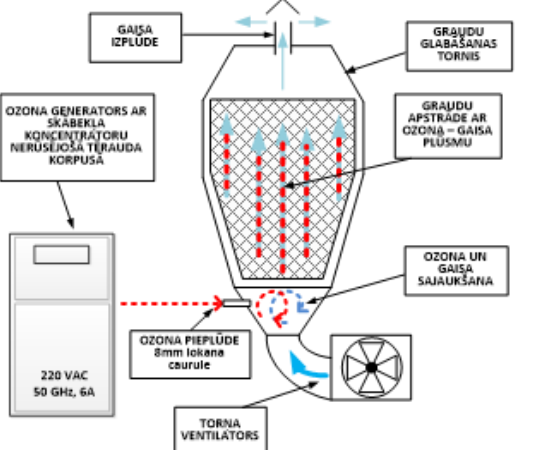
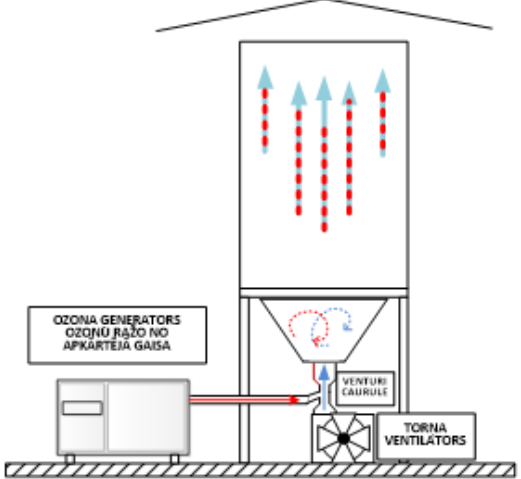
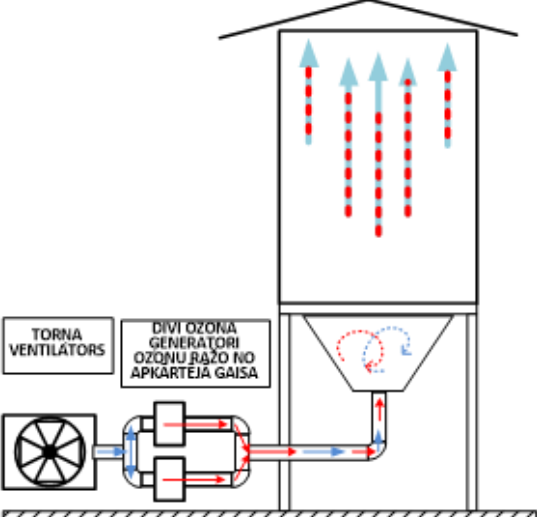
Gaisa un ūdens ozona ģeneratoru cenas ir augstākas nekā gaisa ozona ģeneratoriem, jo to uzbūve ir sarežģītāka. Gaisa un ūdens ģeneratoru cenas Ķīnā ražotiem modeļiem ir: 30g/st. cena ap 5000 EUR ar PVN; 100g/st. cena ap 11 000 EUR; 200g/st. cena ap 20000 EUR. Ukrainā ražotā gaisa ozona ģeneratoram *Ozone Gun Device* ar 200 gramu stundā ražību tirgus vērtība Latvijā ir 11500 EUR ar PVN. Projektam piemērots ir arī Krievijā ražotais ģenerators OPV-100.03 ar 100 gramu stundā ozona ražīgumu, tikai tad ir vajadzīgi divi šādi ģeneratori. Šāda ozona ģeneratora tirgus vērtība Latvijā ir 5500 EUR ar PVN. Lietuvā UAB "Ozono centras" ražotajam ozona ģeneratoram nav iespēja pievienot gaisa vadu. Projekta ietvaros tad būtu nepieciešami trīs ozonatori, kas sarežģītu ozona pieslēgšanu kaltēšanas ventilatoram. Viena šāda ozonatora tirgus vērtība Latvijā ir 7300 EUR ar PVN.

1.3. Graudu ozonēšanas varianti tvertnē

Atkarībā no veicamā uzdevuma, graudu glabāšanas tvertnes konstrukcijas, graudu apjoma, ozona ģeneratora uzbūves un citiem apstākļiem jāizvēlas optimālais graudu ozonēšanas variants. Žāvēšanai ozona-gaisa vidē ir dezinficējoša iedarbība un tā uzlabo graudu materiāla kvalitātes rādītājus, novērš pašsasilšanas procesus, nodrošina dziļu neaktīvu stāvokli uzglabāšanas laikā, nodrošina sausnas masas saglabāšanu un uzlabo dīgtspēju. Piemēram, lai veiktu graudu krāvuma dezinficējošo darbību, ozonēšanas laiks būs īsāks, tāpēc var izvēlēties mazākas jauda ģeneratoru. Graudu kaltēšanas gadījumā būs nepieciešams pēc iespējas jaudīgāks ģenerators, jo bez graudu dezinficējošās iedarbības ir jāveic žāvēšana, kur ozons pastiprina graudu kaltēšanas ātrumu ar tiešu ķīmisku un biokīmisku iedarbību, paātrina mitruma transportēšanu no iekšējiem slāņiem un siltuma un masas apmaiņu kaltēšanas procesā kopumā. Ozona ģeneratora ražīgums šī projekta īstenošanai ir nepieciešams 200 gramu ozona stundā. Iespējamās graudu ozonēšanas shēmas parādītas 1.3.tabulā, bet iespējamo ozona ģeneratoru variantu salīdzinājums 1.4. tabulā.

1.3. tabula

Iespējamās graudu ozonēšanas shēmas

Shēma Nr.1	Komentāri
	Graudu ozonēšanai tiek izmantots gaisa un ūdens ozonators, kurš ražo ozonu no skābekļa ar iebūvētu skābekļa koncentratoru. Šāda tipa ozonatori ozonu izvada pa tievu (6-10mm) ozonizturīgu cauruli ar lēnu (5-20 litri/min) gaisa plūsmu, ko ir ļoti vienkārši savienot ar kaltēšanas ventilatora gaisa plūsmu. Šāds ozons ir ar augstu koncentrāciju 50-100 ml/l. Ozonatori ar ražību līdz 30 grami stundā tiek dzesēti ar gaisu, virs 30 g/h – ar ūdeni. Šādiem ozonatoriem ir liels elektroenerģijas patēriņš: 30 g/h – 1.8kW; 100 g/h. – 3.0 kW; 200 g/h – 5.3 kW. Lielāko enerģijas daļu patērē gaisa kompresori. Arī šādu ozonatoru cenas ir augstākas.
Shēma Nr.2	Komentāri
	Graudu ozonēšanai tiek izmantots gaisa ozonators, kurš ražo ozonu no apkārtējā gaisa. Šāda tipa ozonatori ozonu ražo uz koronizlādes plāksnēm vai UV lampām. Šāds ozons ir ar zemu koncentrāciju 0.5-1.5 ml/l. Ozonatori tiek dzesēti ar gaisu. Parasti viens ventilators dzesē barošanas bloku, bet otru ozona izlādes virsmu un vienlaikus nodrošina ozona plūsmu. Šādiem ozonatoriem ir mazs elektroenerģijas patēriņš: 70 g/h – 0.75kW; 100 g/h – 0.7 līdz 1.2kW; 200 g/h – 1.0 līdz 2.2kW. Šādu ozonatoru cenas ir zemākas. Atkarībā no ozonatora ražotāja un modeļa, ne visus modeļus var izmantot graudu ozonēšanai. Svarīgs rādītājs ir ozonatora nepārtrauktas darbības ilgums un apkārtējās vides agresivitāte (gaisa mitrums, putekļi utt.)
Shēma Nr.3	Komentāri
	Graudu ozonēšanai tiek izmantots gaisa ozonators, kura darbības principi apskatīti shēmā Nr.2. Šis ir Krievijā ražots ozonators OPV-100.03 ar ražību 100 grami stundā. Šim ozonatoram ir īpatnēja uzbūve, jo gaisa pieplūdes un ozona izplūdes atveres ir apaļas ar 150mm diametru. Tāpēc, šādus ozonatorus var saslēgt virknē ar ventilatoru. To korpuss izgatavots no plastmasas, un svars nepārsniedz 5 kg.

1.4. tabula

Ozona ģeneratoru iespējamo variantu salīdzinājums graudu apstrādei tvertnē

Parametri	Variants Nr.1	Variants Nr.2	Variants Nr.3
Ozona ģeneratora ražība Q, g/st.	200	200	2 x 100 = 200
Ozona koncentrācija O, ml/l	50 - 100	0,5 - 1,5	0,5 - 1,5
Gaisa temperatūra	-100 °C līdz +40 °C	-50°C līdz +35 °C	-100°C līdz +50 °C
Gaisa mitrums, %, maks.	90%	85%	95%
Elektropieslēgums	380 V	220V	220 V
Energopatēriņš	Ļoti liels: 5.3kW	Ļoti mazs: 1.0kW	Mazs: 2.2kW
Energopatēriņš uz vienu gramu ozona stundā, W/gO ₃	26.5	5.0	11.0
Iekārtas svars, kg	260	32	2 x 5=10
Savienošana ar ventilatora gaisa plūsmu	Ļoti vienkārša: 10mm lokanā caurulīte jāpievada graudu torņa gaisa ievada sākumā	Venturi caurules princips. Ozona daudzums tiks „iesūks” kopējā gaisa plūsmā	Pieslēdzams virknē aiz ventilatora, vai Venturi caurules princips
Ozonatora dzesēšana	Ūdens dzesēšana	Gaisa dzesēšana	Gaisa dzesēšana
Putekļu filtrs	Nav būtisks, jo gaiss iet caur gaisa kompresoru, kam ir savs filtrs	Obligāta gaisa filtrēšanas kārbā	Obligāta gaisa filtrēšanas kārbā
Ozonatora darbība	Nepārtraukta	Nepārtraukta	Nepārtraukta
Apkalpošana darba laikā	Nav nepieciešama	Praktiski nav. Jāseko gaisa filtru sietiem	Nav nepieciešama
Ozonatora ar 200 g/h ražīgumu cena, EUR ar PVN	20 000	11 500	2 x 5 500=11 000

Izvērtējot graudu ozonēšanas shēmas, projektam optimāla būtu shēma Nr.2 ar Ukrainā ražoto ozona ģeneratoru *Ozone Gun Device* ar 200 gramu stundā ražību. Šim ģeneratoram ir vismazākais elektroenerģijas patēriņš, tikai 5W stundā uz vienu saražoto gramu ozona. Tas ir svarīgs rādītājs šī projekta realizēšanai, jo graudu vēdināšanas izmaksām ar ozonu ir jābūt zemākām, nekā ar gaisu bez ozona piedevas.

Arī Krievijā ražotais ozona ģenerators OPV-100.03 ar 100 gramu stundā ražību ir piemērots šim projektam, tikai nepieciešamas divas iekārtas. Šis ģenerators ir ar plastmasas korpusu, tas sver tikai 5 kg. Pieslēgumu tvertnei var īstenot divos variantos: ar Venturi caurules principu, vai saslēdzot ģeneratorus virknē aiz gaisa ventilatora.

Gaisa un ūdens tipa ozonatori šim projektam nav piemērojami, jo:

- ozona ģeneratoriem virs ozona ražības 30 g/h ir nepieciešama ūdens dzesēšana;
- augsts energopatēriņš uz vienu gramu ozona;
- ozonatora noma nav iespējama.

Šāda tipa ozona ģeneratori ar ražību līdz 30 g/h ir optimāli mazu graudu apjomu ozonēšanai, taras dezinficēšanai, ūdens ozonēšanai.

1.4. Ozonēšanas pakalpojuma sniedzējs

Ozonēšanas pakalpojuma sniedzējam jānodrošina iekārtas noma 2019. gada jūnija – septembra un 2020. gada jūlija – septembra mēnešos. Šajā laikā jānodrošina viena un tā paša ozona ģenerators modeļa noma, lai projekta ietvaros iegūtie dati būtu salīdzināmi. Nomas laikā jānodrošina:

- ģenerators uzstādīšana un darbība;
- saslēgšana ar graudu kaltēšanas ventilatora gaisa plūsmu;
- ģenerators tehniskā apkope, ja tā ir nepieciešama;
- gaisa filtrēšanas kabīne ģeneratoram;
- ozona ģenerators transportēšana turp un atpakaļ.

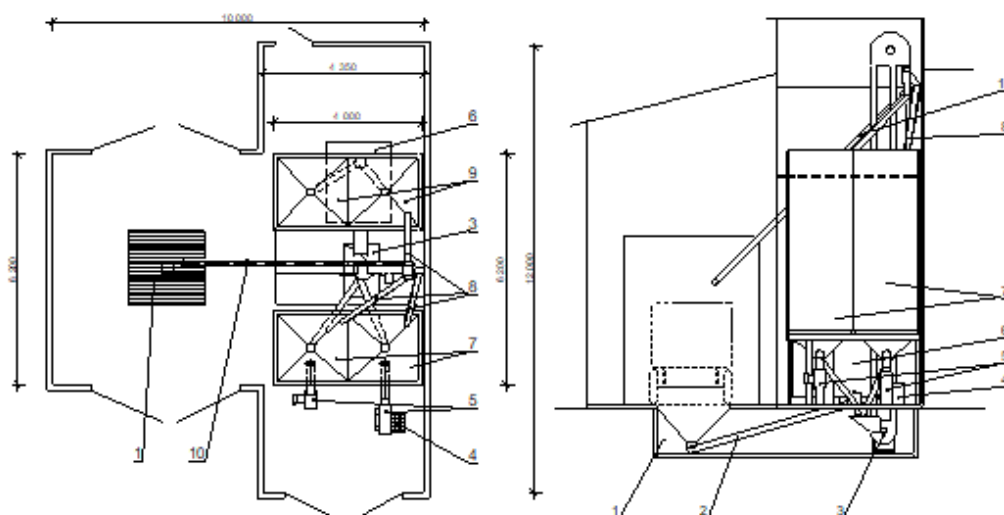
Apzinot iespējamās ozona ģenerators noma pakalpojuma sniedzējus uz 2019. gada 20. februāri, ir iespējama divu OPV-100.03 modeļu noma no SIA „Elmarks Pluss”. Nevienai firmai Latvijā nav Ukrainā ražotā ozona ģenerators *Ozone Gun Device* ar 200 gramu stundā ražību vai līdzvērtīga.

Novērtējot visu apskatīto ģeneratoru un to pieslēguma shēmu priekšrocības un trūkumus, kā arī noma pieejamos ģeneratoru modeļus, projektam izvēlamies divus Krievijā ražotos ozona ģeneratorus OPV-100.03 ar 100 gramu stundā ozona ražīgumu katram ģeneratoram.

2. GRAUDU KALTĒŠANAS AR AKTĪVO VĒDINĀŠANU, PIELIETOJOT OZONU, TEHNOĻĪJAS UN METODIKAS IZSTRĀDE

2.1. Tehnoloģijas apraksts

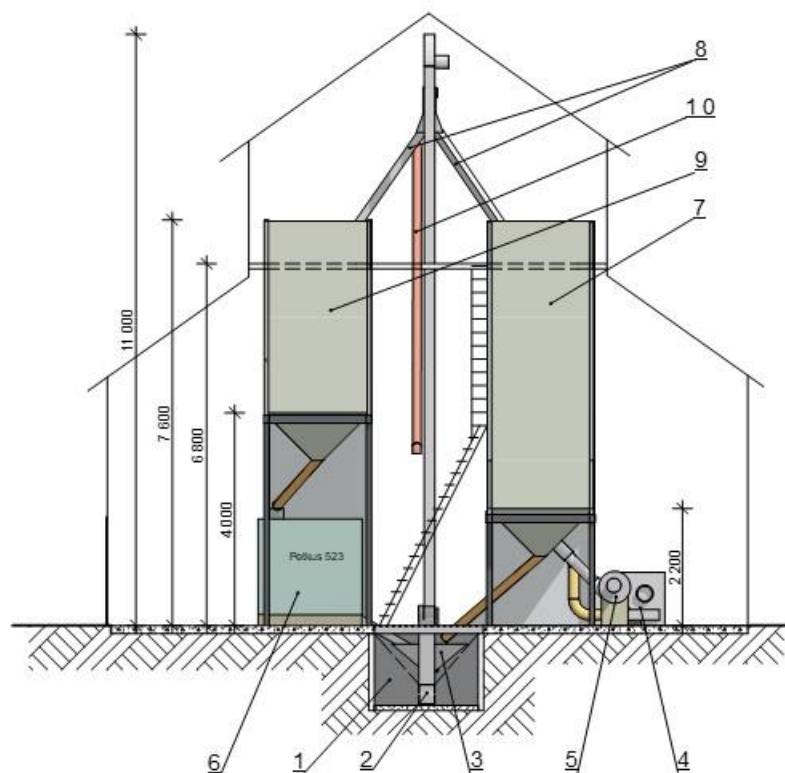
Zemnieku saimniecības “Mazkalniņi” graudu pirmapstrādes punkts shematiski parādīts 2.1.-2.4. attēlā.



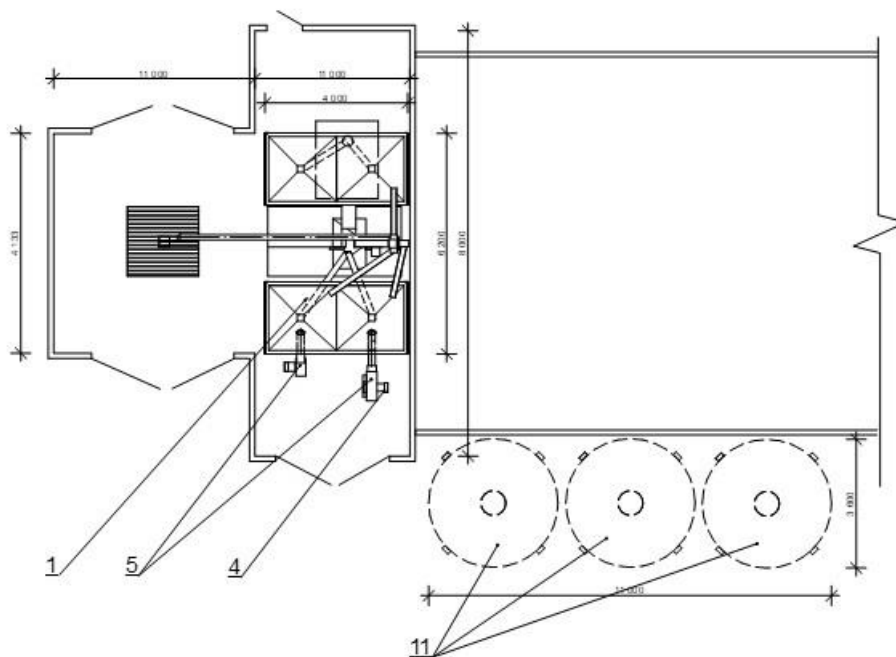
2.1. att. Zemnieku saimniecības “Mazkalniņi” graudu pirmapstrādes punkta shēma (plāns un pretskats).

1. graudu pieņemšanas bedre;
2. slīpais transportieris;
3. norija;
4. ozona ģenerators;
5. ventilators;
6. priekštīrītājs;
7. vēdināmās tvertnes;
8. caurules graudu sadalīšanai uz tvertnēm;
9. uzkrāšanas tvertnes;
10. caurule graudu iekraušanai transportā;
11. uzstādāmās tvertnes.

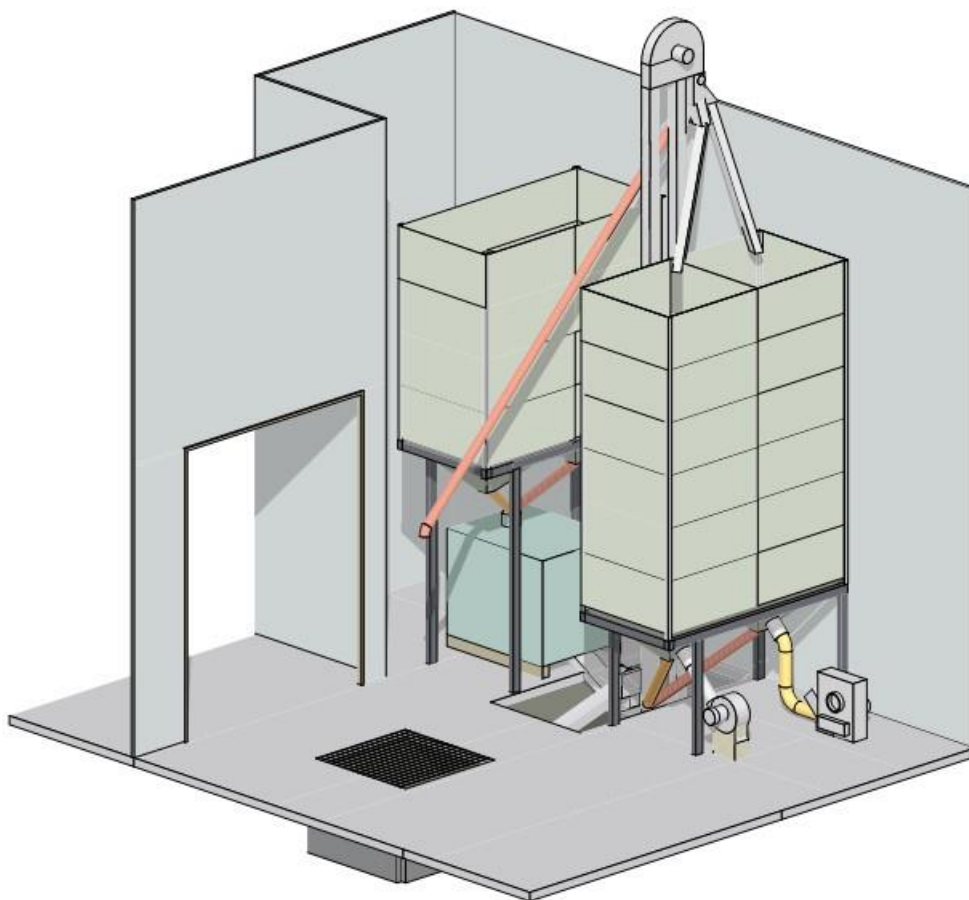
2.1. attēlā parādītas iekārtas plānā un pretskatā, 2.2. attēlā sānskatā, 2.3. attēlā - punkts kopā ar blakus esošo šķūni - kalti un 2019. gadā uzstādītajām graudu tvertnēm un 2.4. attēlā - labākai tehnoloģijas izpratnei iekārtas un dažas būves sienas izometrijā.



2.2. att. Graudu pirmapstrādes punkta shēma (sānskats).



2.3. att. Graudu pirmapstrādes punkta shēma ar šķūni-kalti un uzstādāmajām tvertnēm (plāns).



2.4. att. Graudu pirmapstrādes punkta shēma izometrijā ar būves elementiem.

Tehnoloģiskais process sākas, ar traktora piekabi no kombaina atvestos graudus izberot pieņemšanas bedrē 1. Tālāk slīpais transportieris 2 un īsā norija graudus padod uz priekštīrītāju 6. Priekštīrītājs atdala no graudiem piemaisījumus (salmu paliekas, pelavas, nezāļu sēklas u.c.) un attīrītos graudus norija 3 padod uz uzkrāšanas tvertnēm 9. Uzkrāšanas tvertņu kopējā ietilpība ir aptuveni 20 t., tās nav vēdināmas un paredzētas mitru graudu īslaicīgai uzglabāšanai. No uzglabāšanas tvertnēm attīrītos graudus iespējams padot uz noriju 3 un tālāk pa caurulēm 8 uz vēdināmajām tvertnēm 7 vai arī pa cauruli 10 iekraut transportlīdzeklī pārvešanai uz citu glabāšanas vietu vai pārdošanai. Abas vēdināmās tvertnes 7 aprīkotas ar ventilatoriem, motora jauda 4 kW, 2800 apgr./min. Savukārt vienas tvertnes ventilatora 5 ieplūdes kanālam pievienota ozona ģenerators 4 padeves caurule. Ozona ģenerators ražīgums 200 g/h ozona, kas varētu būt pietiekams aptuveni 20 t līdz 22-23% mitru graudu apstrādei. Pētījumi, graudu vēdināšana pielietojot ozonu, tiks veikti, abās vēdināmajās tvertnēs 7 iepildot vienādu daudzumu, vienāda mitruma graudu un vēdinot tos līdz kondīcijas mitrumam (14%). Vienā tvertnē 7 vēdināšanas gaisam tiks pievienots ģenerators ražotais ozons, otrā tvertnē 7 vēdināšana notiks ar āra gaisu. Eksperimentu būtība: noskaidrot, vai ozona piedeva vēdināšanas gaisam paātrina mitruma izvadīšanu no graudu slāņa un līdz ar to saīsina laiku, kurā graudi sasniedz kondīcijas mitrumu.

Eksperimentu gaitā mērāmie parametri un mērījumu metodika raksturoti 2.2. nodaļā.

2.2. Metodika mērījumu veikšanai un sensoru sistēmas sagatavošanai

2.2.1. Izmēģinājumu laikā saimniecībā reģistrējamie parametri

Eksperimentos paredzēts divās vienādās tvertnēs vēdināt graudus ar vienādu sākotnējo mitrumu līdz kondīcijas mitrumam. Vienā tvertnē (ozona tvertne OT) vēdināšanas gaisam tiks pievienots ģenerators ražotais ozons, otrā (references tvertne RT) vēdināšana notiks ar āra gaisu. Eksperimentu gaitā tiks mērīti sekojoši parametri:

- katrai tvertnei pieslēgtā ventilatora elektroenerģijas patēriņš;
- ozona ģenerators elektroenerģijas patēriņš;
- mitrums graudu starptelpā abās tvertnēs pa slāņiem ar intervālu 1m;
- graudu temperatūra abās tvertnēs pa slāņiem ar intervālu 1m;
- ozona koncentrācija tvertnē OT pa slāņiem ar intervālu 1m;
- apkārtējās vides (ieplūstošā) gaisa mitrums un temperatūra;
- ozona koncentrācija pie gaisa ieplūdes tvertnē – periodiski;
- izplūstošā gaisa ātrums virs graudu augšējā slāņa abās tvertnēs.

Ventilatoru un ozona ģenerators patērētā elektroenerģija tiks noteikta ar katram no minētajiem patērētājiem pieslēgtu atbilstošu elektroenerģijas skaitītāju.

2.2.2. Sensori vēdināšanas procesa monitoringam.

References tvertnē (RT) nepieciešams monitorēt mitrumu un temperatūru, bet ozona tvertnē (OT) (tvertnē ar ozona piedevu vēdināšanas gaisam) - mitrumu (RH), temperatūru (T°) un ozona (O_3) koncentrāciju. Sensori tiek apvienoti sistēmās (RH+ T°) un (RH+ T° + O_3), ar kurām monitorēšanu veic pa slāņiem ar intervālu 1 m (2.5.att.).

Lai sasniegtu tvertnēs kondīcijas mitrumu graudiem īsākā laikā, šinī pētījumā plānots veikt vairākus eksperimentus, kas atšķirsies ar graudu slāņa biezumu:

- a) tvertnes tiek piepildītas līdz 5 m biezam graudu slānim, kas nosaka eksperimentam nepieciešamo sensoru sistēmu skaitu monitoringam divās tvertnēs: 5 (RH+ T°) + 5 (RH+ T° + O_3) + 1 (RH+ T°) vai 10 +1 pie 5 m slāņa biezuma (+1 ir sensoru sistēma āra gaisa monitoringam (RH+ T°));
- b) tvertnes tiek piepildītas daļēji – līdz 3 m biezam graudu slānim, kas nosaka šim eksperimentam nepieciešamo sensoru sistēmu skaitu monitoringam divās tvertnēs: 3 (RH+ T°) + 3 (RH+ T° + O_3) + 1 (RH+ T° + O_3) + 1 (RH+ T°).

Pie ozona ieplūdes ventilatora padotajā gaisā, ($200 \text{ g } O_3/h$) ir liels gaisa plūsmas ražīgums (maksimālais $7000 \text{ m}^3/h$) un ozona koncentrācija $0.028 \text{ g } O_3/m^3$ gaisa (13.5 ppm). Pa slāņiem uz augšu ozona koncentrācija kritīsies vidēji $1/2x$ uz 1m un 10 ppm ozona sensoru sistēma varētu strādāt labi. Ja gaisa plūsmas ātrums tiks samazināts, augšējos slāņos ozona koncentrācija augs un vāji mitriem (19%) graudiem mainīsies aptuveni kā parādīts 2.1. tabulā¹.

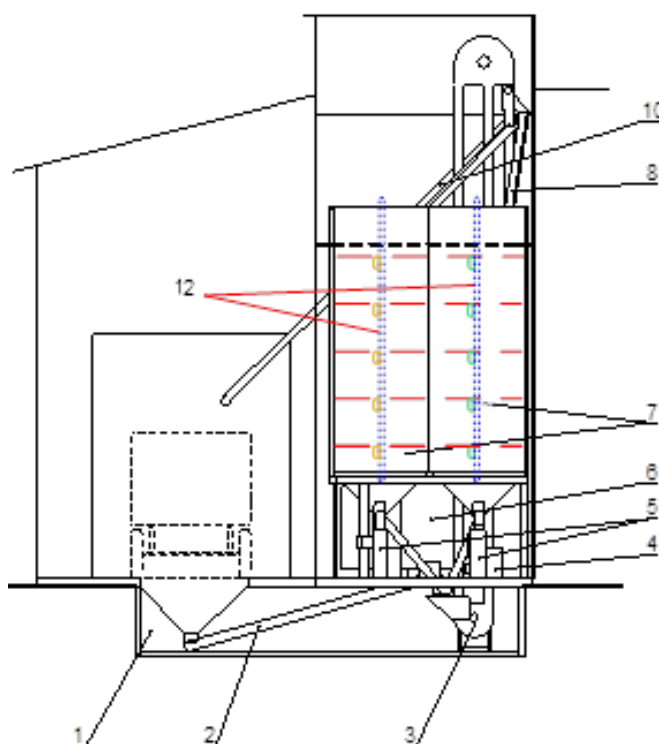
¹ Aušra Steponavičienė, Dainius Steponavičius, Algirdas Raila, Aurelija Kemzūraitė. Modelling the ozone penetration in a grain layer. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 2012 Volume 20(4): 292–300.

2.1. tabula

Sagaidāmās ozona koncentrācijas izmaiņas pa slāņiem, g/m³ vai ppm mērvienībās

V, m ³ /h	O ₃ , g/m ³ pie ieplūdes	O ₃ , ppm pie ieplūdes	1 m slānis, O ₃ , ppm	2 m slānis, O ₃ , ppm	3 m slānis, O ₃ , ppm
7000	0.0286	13.51	6.76	3.38	1.69
6500	0.0308	14.55	7.28	3.64	1.82
6000	0.0333	15.76	7.88	3.94	1.97
5500	0.0364	17.20	8.60	4.30	2.15
5000	0.0400	18.92	9.46	4.73	2.36
4500	0.0444	21.02	10.51	5.25	2.63
4000	0.0500	23.65	11.82	5.91	2.96
3500	0.0571	27.02	13.51	6.76	3.38
3000	0.0667	31.53	15.76	7.88	3.94
2500	0.0800	37.83	18.92	9.46	4.73
2000	0.1000	47.29	23.65	11.82	5.91
1500	0.1333	63.06	31.53	15.76	7.88
1000	0.2000	94.58	47.29	23.65	11.82

Kā redzams no 2.1 tabulas, samazinot ieplūdes gaisa apjomu līdz pat 4500 m³/h, pie ieplūdes varētu lietot sensoru sistēmu ar maksimālo jutību ozonam līdz 20 ppm, bet pārējos slāņos augstāk – ar maksimālo jutību ozonam līdz 10 ppm. Savukārt, ja izrādīsies nepieciešams vēl vairāk samazināt ieplūdes gaisa apjomu, izvēlētais sensoru sistēmas tvertnes lejasdaļā nederēs.



2.5. att. Slāņi graudu tvertnē un sensoru sistēmu (12) izvietojums.

Ieteicams iegādāties vienu lielākas koncentrācijas ozona mēraparātu, piemēram, ar 20 ppm vai 100 ppm mērīšanas diapazonu. Vēdināšanas gaisa ieplūdes zonā būs liels gaisa plūsmas ātrums, un grūti prognozēt, kā uzvedīsies sensoru sistēma nepārtrauktos mērījumos. Var apsvērt variantu, ka mērījumus veic vienu reizi pašā kaltēšanas procesa sākumā un beigās.

Lai pasargātu sensorus no tiešas saskares ar graudiem, ir dažādas iespējas. Autors Chen, Chiachung. (2001)² kompakto mitruma/temperatūras sensoru ievieto porainas plastmasas futrālī, kas iegremdēts graudos. Zināms laiks nepieciešams, līdz apkārtējo graudu mitrums izlīdzinās ar mitrumu futrālī. Mēs plānojam sensorus ievietot plastmasas kastītēs ar caurumiem, kuri no iekšpuses nosegti ar smalku tērauda sietu, un kastītes ar sensoru sistēmas barošanas-signālu vadu kabeli nostiprināt pie stieņa (caurules) tvertnes vidū vajadzīgajā augstumā. Cauruli var veidot 90 cm gari posmi ar vītņem galos un 10 cm gariem savienotājposmiem, kuriem sānos ir izurbti caurumi, lai izvadītu kabeli. Alternatīva iespēja – pievienot sensoru sistēmas elementus vajadzīgajā augstumā pie plastmasas caurules, kura tiek ievietota tvertnē pirms uzpildīšanas ar graudiem. (skice abiem variantiem – 2.5. attēls).

Ozona koncentrācija. Kā sensoru sistēma mitrumam, temperatūrai un ozona koncentrācijai testēts integrēts modulis no firmas www.jnrmcu.com (Ķīna) (2.6. attēls).



**2.6. att. RH, T° un O₃ sensoru sistēma RS-O3WS-N01-2-4-10, kas tiek testēta
darbam graudu tvertnē.**

Sistēmas parametri:

Barošana	12 - 24 V līdzstrāvas;
Ozona sensors	elektroķīmiskā zonde;
O ₃ mērījumu diapazons	0 - 10 ppm;
Datu apmaiņas ātrums	2400/4800/9600;
Darba temperatūra	-30 – 50 °C (20 – 40 °C nepārtraukti);
Mitrums vidē	0-100 % RH (15-95% RH);
Darba spiediens	0.9 – 1.1 atm.;
Izejas signāls	RS485, 4-20 mA, 0-5 V, 0-10 V.

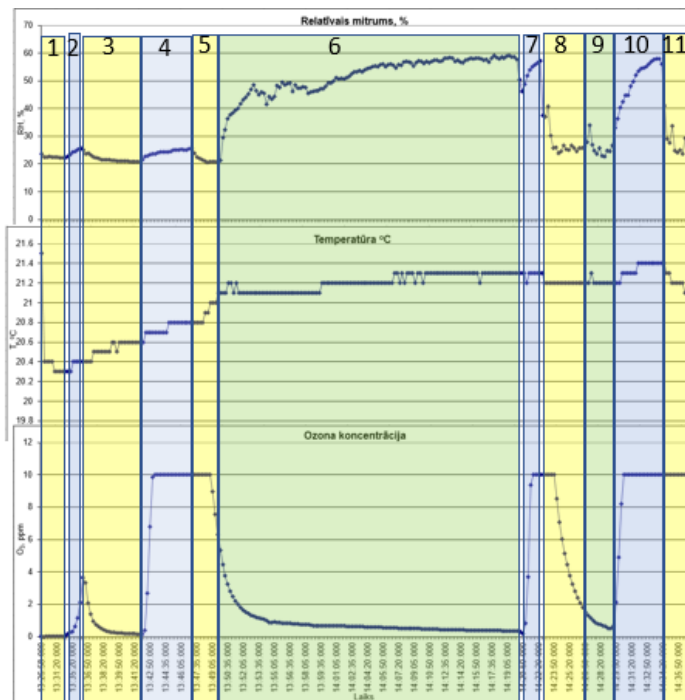
Pēc pirmajiem testiem laboratorijā (2.7. attēls) secināts, ka sensoru sistēma RS-O3WS-N01-2-4-10 būs pārāk jutīga ozona mērījumiem, un tiek skatīta iespēja visiem pieciem sensoriem tvertnē iegādāties sistēmas RS-O3WS-N01-2-4-20 (maksimālā ozona koncentrācija, kas tiks mērīta – >20 ppm).

² Chen, Chiachung. (2001). Moisture measurement of grain using humidity sensors. Transactions of the ASAE. 44. 10.13031/2013.

Sensoru sistēmas tests 2019. gada 16.aprīlī

Sensoru sistēmas testēšanai izmantots eksikators (10.5 litri) ar vāku; mitruma prekursors (piesātināts NaCl ūdens šķīdums*) un ozona ģenerators, kurš strādā režīmā 100 ppm pie 2.5 l/min. Veiktās darbības pa laika intervāliem (punkti ik pēc 15 sek):

- 1 – laboratorijas gaiss un temperatūra;
- 2 – pūsts iekšā ozons 1 min (24 ppm);
- 3 – vēdināts ar laboratorijas gaisu;
- 4 – pūsts iekšā ozons 5 min (122 ppm);
- 5 – vēdināts ar laboratorijas gaisu;
- 6 – ieliets 100 ml piesātināts NaCl šķīdums;
- 7 – pūsts iekšā ozons 1 min (24 ppm);
- 8 – vēdināts ar laboratorijas gaisu;
- 9 – uzlikts vāks eksikatoram ar NaCl šķ.;
- 10 – pūsts iekšā ozons 5 min (122 ppm);
- 11 – vēdināts ar laboratorijas gaisu.



*Pie 21 °C ilgāk gaidot jāsasniedz 75% RH: https://www.engineeringtoolbox.com/salt-humidity-d_1887.html

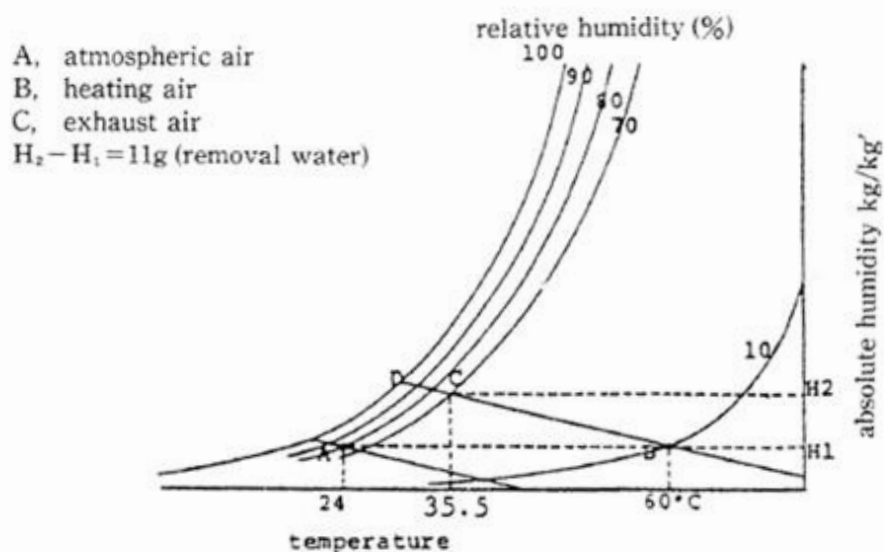
2.7.att. Sensoru sistēmas RS-O3WS-N01-2-4-10 pirmais tests laboratorijā.

Veikto eksperimentu atšifrējums pa kreisi (2.7. attēls). Pašā augšā RH sensors (skala %), vidū temperatūras sensors (skala °C), apakšā ozona sensors (skala ppm); laika skala minūtēs, punkti līknēs ik pēc 15 sekundēm). Redzams, ka ozona koncentrācija testiem izvēlēta par lielu, un virs sensoram noteiktās maksimālās koncentrācijas (10 ppm) signāls piesātinās.

Par temperatūru un mitrumu (RH+ T°C) sensoriem izvēlēta RH+T°C sensoru sistēma RS-WS-N01-2-3 no tās pašas firmas Ķīnā:

Graudu mitrums. Gaisa mitrums graudu starptelpā tvertnēs tiks noteikts gan ar RH+T⁰ un RH+T⁰+O₃ sensoru sistēmām dažādos slāņos, gan kontroles mērījumiem ar rokas instrumentu Wile 66. Pēc gaisa relatīvā mitruma RH, izmantojot matemātiskus aprēķinus, var noteikt graudu mitruma saturu. Sensoram jāatrodas graudos, un sasniedzot līdzsvara stāvokli (gaiss nemainās) relatīvais mitrums būs proporcionāls graudu mitruma saturam. Šinī metodē rādījumiem jāveic temperatūras korekcija, tādēļ temperatūras sensors atrodas blakus mitruma sensoram. Mūsdienu sensori ir jutīgi un ātri sasniedz līdzsvara stāvokli, tādēļ kaltēšanas laikā, ja gaiss apmainās lēni, gan mitruma sensors, gan temperatūras sensors sekos līdz graudu mitrumam.

Mitruma satura graudos nolasīšanai senāk izmantoja psihometrisku diagrammu (*psychrometric chart*). Tā saista atmosfēras gaisa mitrumu un temperatūru ar graudu mitruma saturu un temperatūru. Uzskata, ka kviešiem un miežiem var izmantot vienus un tos pašus datus (2.8. attēls).



2.8. att. Psihometriskā diagramma graudu mitruma satura noteikšanai pēc relatīvā mitruma un temperatūras datiem.

2.8. attēla psihometriskā diagramma izmantota, lai raksturotu graudu žūšanu, ja atmosfēras gaiss (punkts A) tiek uzsildīts līdz 35.5 °C (punkts C). Tad aizvadītā ūdens daudzumu raksturo $H_2 - H_1$.

Jaunākā zinātniskajā literatūrā atrodami vairāki pētījumi par relatīvā mitruma un temperatūras sensoru izmantošanu graudu mitruma satura noteikšanai. Praksē tiek izmantoti vairāki eksperimentāli noteikti vienādojumi³ – Hendersona, Čanga-Phosta [5] un Osvina. Piemēram, ja graudu mitruma saturu nosaka pēc modificēta Hendersona vienādojuma:

$$MC = \left[\frac{-\ln(1-RH)}{A(T+C)} \right]^{1/B},$$

kur MC ir mitruma saturs graudos (sausā bāze), RH relatīvais mitrums gaisā starp graudiem (decimālskaitļa formā), T – graudu temperatūra °C, A, B un C – konstantes.

Biežāk izmanto modificētu Čanga-Phosta vienādojumu:

$$MC = -\frac{1}{B} \ln \left[\frac{-(T+C) \ln(RH)}{A} \right],$$

kur cietajiem sarkanajiem vasaras kviešiem konstantes $A = 610.34$, $B = 0.15526$, un $C = 93.213$ (ASABE Standards, 2005b)⁴ [6]. No vienādojuma iegūtais mitruma saturs graudos ir izteikts slapjas bāzes mitruma saturā.

Kontroles mērījumi graudu mitruma saturam tiks veikti ar citu netiešo metodi – pretestības mērīšanu ar Wile 66 graudu mitruma mērītāju ar temperatūras zondi (2.9. attēls).

³ Chen, Chiachung. (2001). Moisture measurement of grain using humidity sensors. Transactions of the ASAE. 44. 10.13031/2013.

⁴ Asae Standards 2005: Standards Engineering Practices Data. (ASAE STANDARDS (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS)) Hardcover – August 1, 2005



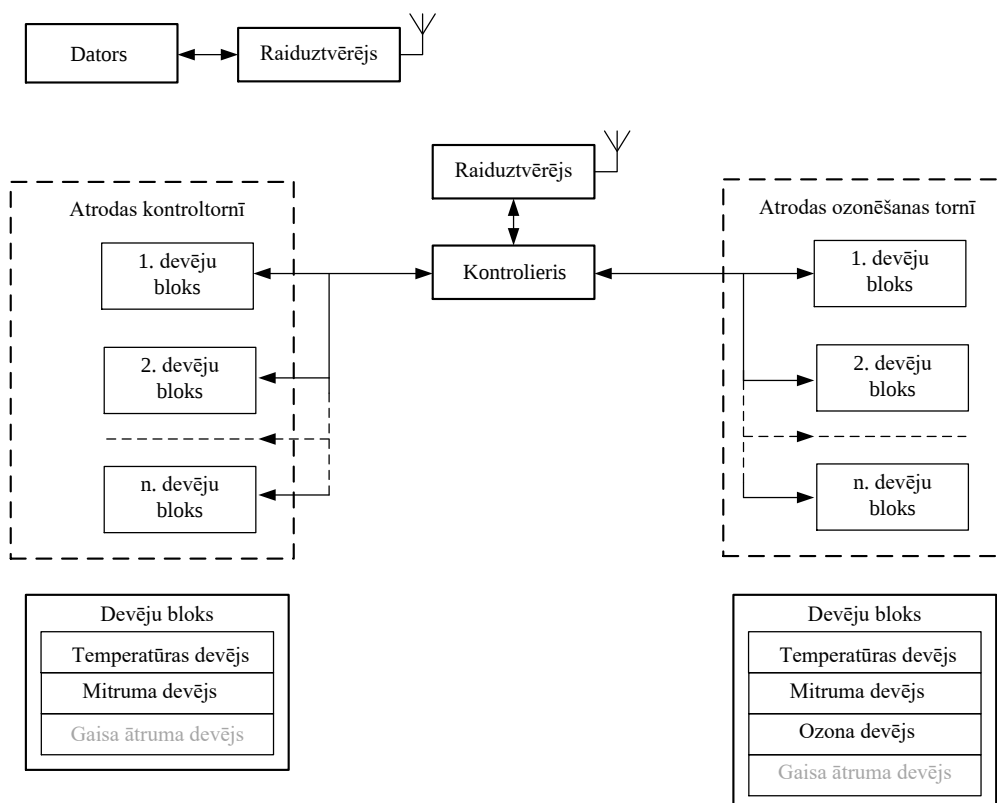
2.9. att. Graudu mitruma mērītājs Wile 66.

Graudu mitrumu un ūdens saturu gaisā saista noteiktas likumsakarības (kas ir funkcija no atmosfēras spiediena un temperatūras), tādēļ graudu mitruma mērīšanu var izmantot, lai kalibrētu digitālos mitruma sensorus.

Graudu temperatūra tvertnēs tiks noteikta gan ar RH sensoru $RH+T^0$ un $RH+T^0+O_3$ sensoru sistēmām dažādos slāņos, gan kontroles mērījumiem ar rokas instrumentiem.

2.2.3. Elektroniskās shēmas sensoru sistēmai un datu uztveršanas sistēmai izstrāde

Sensoru slēgumu blokshēma abās tvertnēs līdzīga (2.10. attēls). Kontrolieris izvēlētos laika intervālos (piemēram, 15 sekundes) savāc informāciju no visām pieslēgtajām sensoru sistēmām, veidojot datu tabulas, kuras reizi stundā (vai pēc izvēles kāda cita laika, vai arī reālā laika režīmā) pārraida uz datoru 200-300 m attālumā. Datorā būs datu noglabāšanas un attēlošanas programma, piemēram, slidošs 6-8 stundu grafiks visiem T^0 , RH un O_3 sensoru rādījumiem vienā un otrā tvertnē, un atsevišķi apkārtējā gaisā, abu tvertnu grafikos būs 5 temperatūras līknes no sensoriem dažādos slāņos, līdzīgi RH un O_3 līknes +ārējo sensoru dati.



2.10. att. Blokshēma sensoru sistēmu (attēlā devēju bloks) pievienošanai kontrollerim datu savākšanai.

Turklāt pēc graudu kondīcijas mitruma sasniegšanas paredzēta ozonēto graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana.

Datu reģistrācijas un attēlošanas sistēmas statuss uz 30.04.2019.:

- Izstrādāta sistēmas blokshēma.
- Realizēta sensoru datu nolasīšana, saglabāšana kontrolierī un iespēja tos saglabāt datorā izmantojot TCP/IP protokolu.
- Realizēta radioaite dators – dators.

2.3. Graudu kvalitātes novērtēšanas metodika

Analizējot pētījumus, kas veikti par ozona izmantošanu graudu apstrādei, var secināt, ka:

1. graudu kvalitāti ietekmē gan izmantotais ozona daudzums, gan ozonēšanas laiks [7];
2. ozonu izmanto, lai nodrošinātu mikrobioloģiski drošu produktu. *Fusarium graminearum* ir galvenais patogēns, kas atrodams graudos, jo sevišķi kviešos un miežos [10]. Pētījumos ir pierādīts, ka, graudus apstrādājot, trīs stundas ar ozonu *Fusarium graminearum* iespējams samazināt līdz 95%. Tāpat pētījumos ir pierādīta ozona spēja iznīcināt dažādus insektus, kas var būt graudos pat līdz 100% (atkarīgs no insekta veida, ozonēšanas laika un devas) [8]. Graudos būtiski ir samazināt mikotoksīnu saturu, ko arī ir iespējams paveikt izmantojot ozonu [9];
3. ozonēšana var ietekmēt cietes klīsterizēšanās procesu [8], kas ir būtisks faktors maizes gatavošanas procesā;
4. izmantojot ozonu, iespējams samazināt malšanas procesā nepieciešamo enerģiju, jo tiek samazināts ārējo apvalku daudzums un bojāti cietes graudi [10];
5. ir pētījumu, kuros analizēta ozona ietekme uz maizes, cepumu un makaronu kvalitāti.

Līdz ar to ozonētajiem kviešu graudiem un kontroles paraugam projekta realizācijas laikā analizēti dīgtspars un dīgtspēja, fizikāli ķīmiskie parametri (mitrums, ūdens aktivitāte), cietes klīsterizēšanās spēju un ūdens saistīšanas spēja, mikrobioloģiskie rādītāji (kopējais mikroorganismu skaits un pelējumi) un veikts kontrolcepiens.

Lai veiktu eksperimentus un noteiktu ozona ietekmi uz kviešu graudu kvalitāti, tad graudu paraugu ņemšana paredzēta vairākos slāņos ar attālumu starp tiem 1m.

Tā kā ozonētos graudus plānots izmantot kā sēklu, tad tiem ir nepieciešams noteikt dīgtsparu un dīgtspēju. Dīgtspara noteikšana – trīs dienās izdīgušo graudu skaits procentos. Dīgtspēja – piecās dienās izdīgušo graudu skaits procentos. Diedzēšanai izmanto 100 graudus, diedzēšanas temperatūra – 22 °C, nodrošinot patstāvīgu mitrumu.

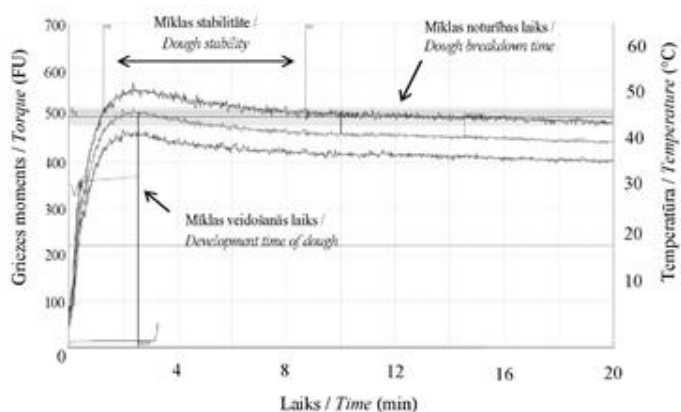
Graudu mitrums tiks noteikts saskaņā ar ISO 712:2009(en) *Cereals and cereal products – Determination of moisture content – Reference method*. Paraugs tiek izturēts 130±2 °C temperatūrā 45 min.

Parametrs, kam ir būtiska nozīme izstrādājumu derīguma termiņam, ir ūdens aktivitāte. Ūdens aktivitāte (a_w) parāda brīvā ūdens daudzumu, kas pieejams mikroorganismiem (baktērijām, pelējumiem un raugiem). Ūdens aktivitāte tiks noteikta, izmantojot ūdens aktivitātes mērītāju LabSwift-aw (AG Novasina, Switzerland).

Mikrobioloģiskās analīzēm paraugi sagatavošana notiks saskaņā ar ISO 6887-4:2017 standartu. Raugu un pelējumu noteikšanai izmantots Malt extract agar medium (Malt extract agar, Ref. 01-111, Scharlau, Spain), paraugu inkubējot 48 h 27±1 °C temperatūrā.

Savukārt kopējais mikroorganismu skaits tiks noteikts saskaņā ar ISO 4833-1:2013 standartu.

Praksē kviešu miltu reoloģiskās īpašības tiek analizētas izmantojot Brabender farinogrāfu. Ar Brabender farinogrāfu iespējams mīklai noteikt 4 rādītājus: ūdens absorbciju, mīklas veidošanās laiku, stabilitāti un mīklas izplūstamības pakāpi. 2.11. attēlā parādīta vispārīga farinogramma kviešu mīklai.



2.11. att. Brabender farinogrāfa standartlīkne kviešu miltiem.

Kviešu maizes kontrolcepiens tiks veikts, lai noskaidrotu vai no ozonētajiem graudiem ir iespējams izcept labas kvalitātes maizi.

Literatūra:

1. E.Bērziņš. Graudu kondicionēšana. Rīga, izd. Liesma, 1974. g., 121 lpp.
2. Штанько Р.И. Электроозонаторная установка для сушки зерна. Автореферат диссертации к.т.н., Россия, Зерноград, 2000, 22 стр.
3. F.Mendez, D.E. Maier, L.J. Mason, C.P. Woloshuk. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. *Journal of Stored Products Research* 39 (2003) 33–44.
4. Анискин В.И. и др. Способ сушки зерна и семян. Патент Российской Федерации. RU 2202168 C2, 2001.г.
5. Chen, Chiachung. (2001). Moisture measurement of grain using humidity sensors. *Transactions of the ASAE*. 44. 10.13031/2013.
6. Asae Standards 2005: Standards Engineering Practices Data. (ASAE STANDARDS (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS)) Hardcover – August 1, 2005
7. Avdeeva, V., Zorina, E., Bezgina, J., & Kolosova, O. (2018). Influence of ozone on germination and germinating energy of winter wheat seeds. *Engineering for Rural Development*, 17, 543–546. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N128>
8. Sandhu, H. P. S., Manthey, F. A., & Simsek, S. (2012). Ozone gas affects physical and chemical properties of wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1261–1268. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.003>
9. Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J., & Donnell, C. P. O. (2010). Application of ozone in grain processing. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.01.007>
10. Zhu, F. (2018). Effect of ozone treatment on the quality of grain products. *Food Chemistry*, 264(May), 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.047>

3. TVERTŅU, APRĪKOJUMA UN IEKĀRTU SAGATAVOŠANA

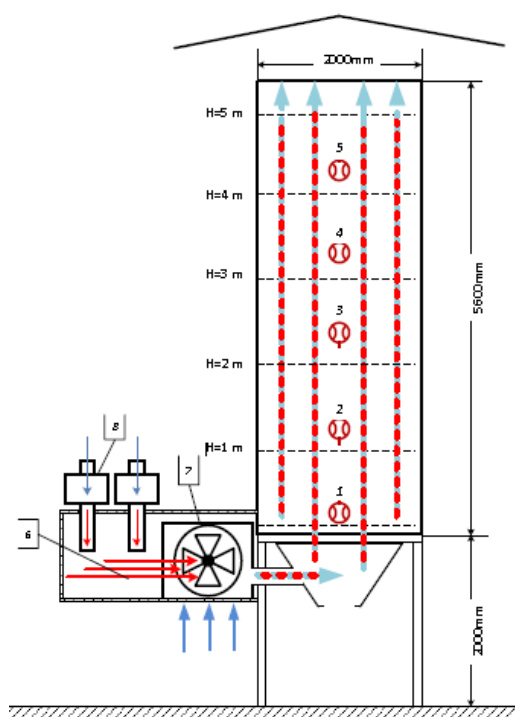
Atbilstoši projekta laika grafikam tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude pirms eksperimentiem veikta pirms 2019. g. un 2020. g. labības novākšanas sezonas, jeb projekta 2. un 4. posmā, veiktie pasākumi aprakstīti 3.1 un 3.2 apakšnodaļā.

3.1. Tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude 2019. gadā (2.posms)

Tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude.

Projekta ietvaros graudu kaltēšana ar aktīvo vēdināšanu paredzēta divās vienādās tvertnēs ar maksimālo kapacitāti 18 tonnas - vienā graudus vēdinot ar neuzsildītu āra gaisu - otrā neuzsildītajam āra gaisam pievienojot ozonu. Graudu pirmapstrādes punktu, graudus un vēdināšanas tvertnes saskaņā ar projekta nosacījumiem nodrošina zemnieku saimniecība "Mazkalniņi". Lai tvertnes sagatavotu eksperimentiem, nepieciešams:

- uzstādīt divus ventilatorus ar ražīgumu 7000 m³/h, darba rata ātrumu 2800 apgr./min un motora jaudu 4.0 kW (izvēlēti projekta pirmajā posmā) un pievienot ventilatoru katrai tvertnei;
- katram ventilatoram un ozona ģeneratoriem nodrošināt atsevišķu patērētās elektroenerģijas uzskaiti;
- ventilatoram, kuram tiks pieslēgti ozona ģeneratori, nodrošināt iespēju regulēt darba rata ātrumu un līdz ar to ražīgumu;
- katrā tvertnē uzstādīt piekari sensoru sistēmas stiprināšanai, uzstādot sensorus ik pa metram (skat. 3.1. attēlu), shematiski parādīta O₃, T°C, RH sensoru, ventilatora un ozona ģeneratoru uzstādīšana un pieslēgums tvertnei ar ozona padevi vēdināšanas gaisā).



3.1. att. Ventilatora (7), ozona ģeneratoru (8) un sensoru sistēmas (1 - 5) uzstādīšanas un pieslēguma shēma tvertnei ar ozona padevi vēdināšanas gaisā.

Tā kā telpa tvertņu tiešā tuvumā vajadzīga iekārtu apkalpošanai un uzraudzībai, ventilatoru un ozona ģeneratoru uzstādīšanai tika izveidota koka konstrukcijas platforma 2.50 m augstumā no grīdas. Uz platformas nostiprināti ventilatori un ozona ģeneratori (3.2. att.) un ar 320 mm diametra lokano cauruli un atlokiem pievienoti attiecīgajai tvertnei.

Katra ventilatora patērētās elektroenerģijas uzskaiti nodrošina atsevišķs skaitītājs, bet pirms ventilatora, kuram pieslēgti ozona ģeneratori uzstādīts frekvences regulators Kinda KD200, kas ļauj elektromotoram ar jaudu līdz 5 kW mainīt apgriezienus no 0 līdz nominālajiem, vienlaikus mainot elektroenerģijas patēriņu (3.3. att.). Tas nepieciešams, lai vajadzības gadījumā varētu mainīt ozona koncentrāciju vēdināšanas gaisā, kā arī lai samazinātu elektroenerģijas patēriņu.



3.2. att. Platforma ar uzstādītiem ventilatoriem un ozona padeves caurulēm.



3.3. att. Skaitītāju pieslēguma vieta.



3.4. att. Sensoru montāža uz caurules.

Kā piekare sensoru sistēmas stiprināšanai sākotnēji izvēlēta 40 mm diametra gofrēta dubultsienu caurule dažādos līmeņos izvietoto sensoru savienojošo vadu ievietošanai. Pie caurules ik pa metram ar skavām piestiprinātas piecas plastmasas kārbas ar izmēriem 200x150x80mm, kurām aptuveni 40% virsmas laukuma nosepts ar smalku metāla sietu (3.4. att.). Siets nodrošina graudu starptelpā esošā gaisa, ozona un mitruma piekļuvi sensoriem, bet norobežo tos no graudiem. Katrā kārbā ievietots pa vienam O_3 , T^0 , RH sensoram, kuri savā starpā atbilstoši savienoti un virs tvertnes pievienoti datu pārraides moduli (viens modulis katrai tvertnei), kurā ietilpst mikrokontrolieris ar atmiņu, barošanas avots un datu pārraides-uztveršanas modulis E-32 ar antenu.



3.5. att. Caurules stiprinājums.



3.6. att. Caurules ar sensoriem novietojums graudu tvertnē.



3.7. att. Sensoru kārbas ar aizsargjumiņiem.

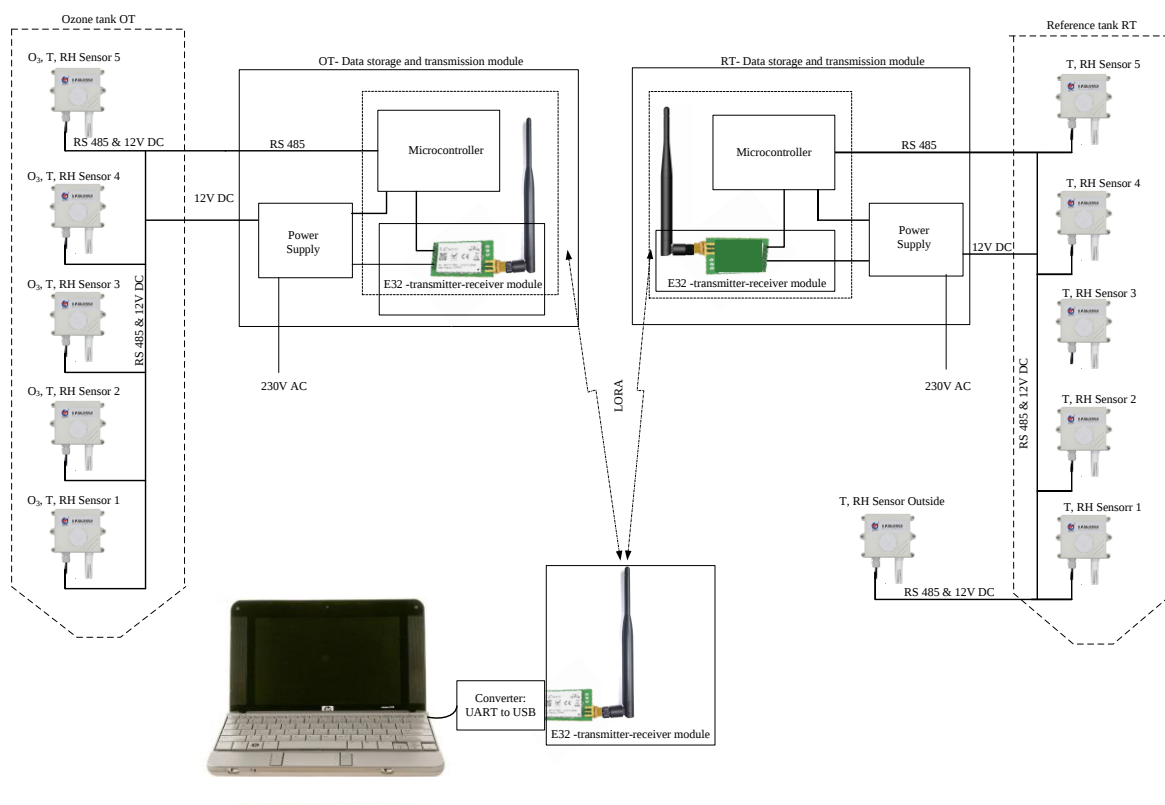
Šie elementi kopā veido sensoru sistēmu, kura ar minēto E-32 pārraides moduli nodod datus dzīvojamā telpā uzstādītam uztveršanas modulim, kas ar USB pārveidotāju pievienots datu uzkrāšanai paredzētam datoram.

Savukārt pie gofrētās caurules ar kārbu stiprināšanas skavām pievienota 6mm diametra tērauda trose, ar ko caurules augšgals un sensoru sistēma nostiprināta pie ēkas jumta konstrukcijas (3.5. att.), bet apakšgals – pie tvertnes koniskās daļas šķērssijas.

Tādējādi sensoru sistēma nostiprināta tvertnes centrā un sensori izvietoti vajadzīgajos augstumos (3.6. att.). Eksperimentu gaitā izrādījās, ka graudu spiediens uz gofrētās caurules gredzeniem un kārbu horizontālo daļu ir ievērojams un šādas caurules izturība ir nepietiekoša, tāpēc minētā caurule tika nomainīta ar gludu ūdensvada cauruli ar ārējo diametru 40mm. Graudu spiediena uz kārbu horizontālo virsmu samazināšanai virs tām tika uzstādīti slīpi metāla jumtiņi (3.7. att.).

3.1.1. Savākto datu pārraides kanāla ierīkošana, apstrāde, attēlošana un saglabāšana

Kaltēšanas procesa vadības sistēma sastāv no šādiem komponentiem (3.8. att.):

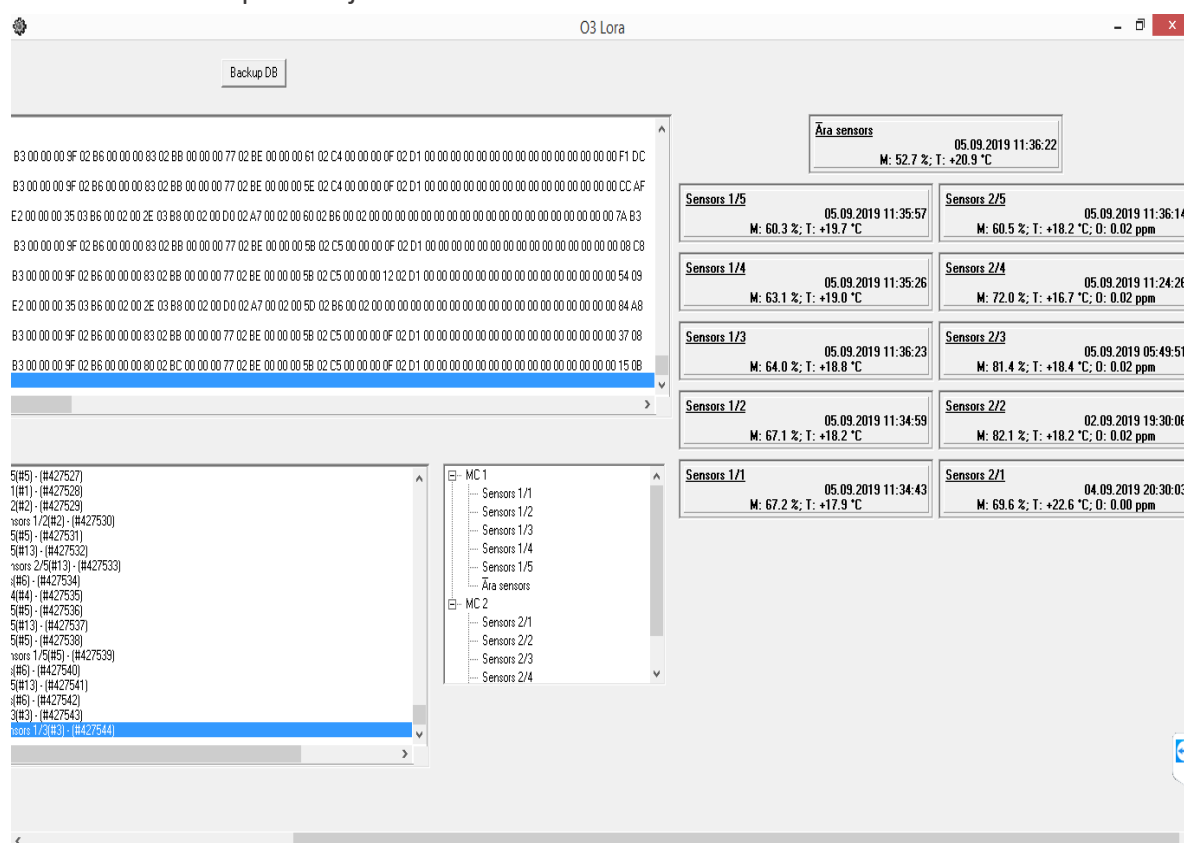


3.8. att. Kontroles un vadības sistēmas savienojumu shēma.

- sensori (5 gab.) katrā tvertnē (RT un OT tvertnes) un atsevišķi āra gaisa mitruma un temperatūras sensori;
- datu glabāšanas un pārraides moduļi (viens modulis katrai tvertnei), kurā ietilpst mikrokontrolieris ar atmiņu, barošanas avots un datu pārraides - uztveršanas modulis E-32 ar antenu;
- dators ar pievienotu USB pārveidotāju un E-32 raidītāja-uztvērēja moduli ar antenu.

Sensora savienojumu blokshēma abās tvertnēs (OT un RT) ir līdzīga (3.8. att.). Mikrokontrolieris un pievienotie sensori sazinās, izmantojot RS485 sakaru kanālu ar MODBUS RTU datu apmaiņas protokolu. Kontrolieris pieprasa (ik pēc 5 s) un saņem informāciju no visiem pievienotajiem sensoriem un to saglabā atmiņā. Sensora datu izmaiņas mikrokontrolieru atmiņā tiek reģistrētas tikai tad, ja atšķirība starp fiksētajiem datiem ir lielāka par noteikto vērtību (0.5 °C temperatūrai, 0.5% mitrumam un 0.3 PPM ozonam).

Raidītāja-uztvērēja moduli E-32 izmanto datu pārsūtīšanai starp kontrolleri un datoru. E-32 sērijas moduli ir UART bezvadu moduli, kuru pamatā ir SEMTECH SX1276 / SX1278 RF mikroshēma, datu apmaiņai pielietojot LoRa pārraides tehnoloģiju. Kad dators ir ieslēgts, mikrokontroliera apkopotie dati tiek pārsūtīti uz datoru. Datu apmaiņa tiek pieprasīta ik pēc 10 sekundēm. Dators satur servera, lietotāja un sistēmas administratora programmas. Servera programma (3.9. att.) izveido savienojumu ar datu savākšanas sistēmām un darbojas datu bāzē (balstoties uz Interbase programmatūru). Servera programma parāda arī visas sistēmas pašreizējo stāvokli.



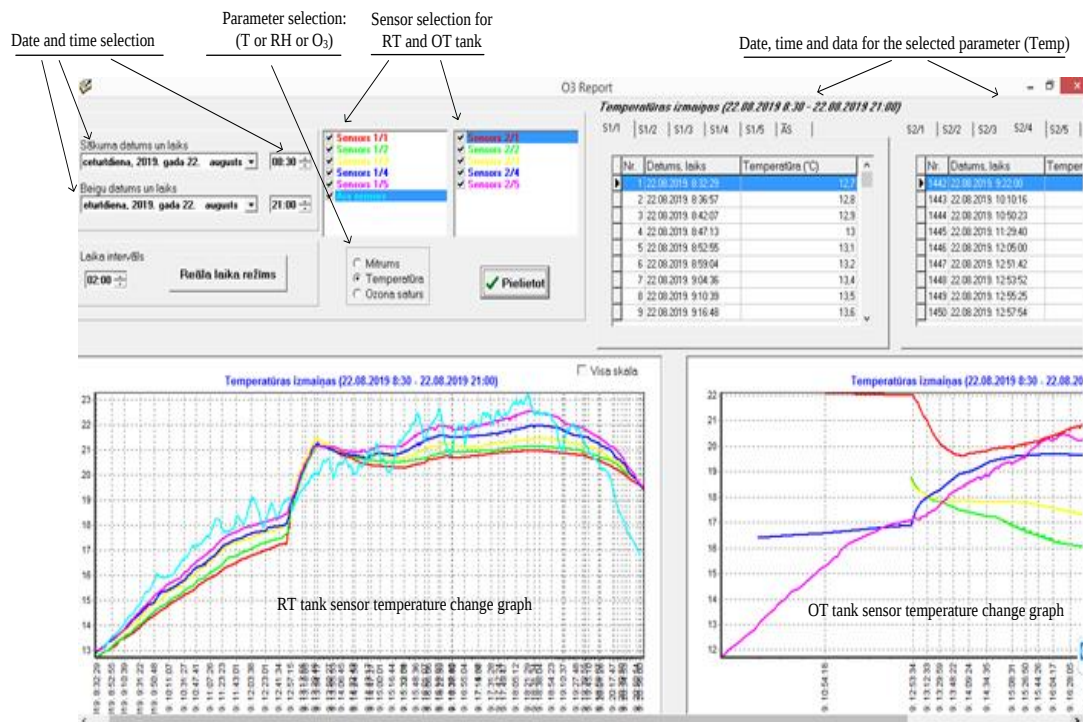
3.9. att. Servera programmas loga attēls.

Lietotāja programma (3.10.att.) darbojas ar datu bāzi un ļauj redzēt izvēlēto sensoru mērījumu izmaiņas reālā laika režīmā vai noteiktā laika intervālā (tabulas un diagrammas attēlojumā). Lietotāja programma dod iespēju izvēlēties konkrētā parametra (mitrums, temperatūra, ozona koncentrācija) mērījumu attēlojumu dažādos tvertnes slāņos izvēlētajā laika periodā (reālā laikā vai arī iepriekšējos datus izvēlētajā laika intervālā). Šos datus var pārsūtīt uz Excel.

3. TVERTŅU, APRĪKOJUMA UN IEKĀRTU SAGATAVOŠANA

28

Sistēmas administratora programma (3.11. att.) arī darbojas ar datu bāzi un ļauj redzēt visus notikumus, kas fiksēti datu bāzē (izvēlētajā formā, pielietojot datu filtrāciju: laika intervāls, notikumu tips u.t.t.).



3.10. att. Datorā aplūkojamo sensoru un parametra (mitrums, temperatūra vai ozons) izvēles logs (augšā pa kreisi), mērījumu attēlojuma reālā laikā logs (augšā pa labi), mērījumu grafiskā attēlojuma logi (apakšā).

O3 administrators

Notikumi 01.08.2019 0:00 - 27.08.2019 23:59

Datums, laiks	Pien. dat., laiks	Tips	Notikums	Lielums	Vieta
2019.08.05. 15:43:48	2019.08.05. 15:43:53	Ozons	Ozons saturs izmaiņa	52.1	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:43:54	2019.08.05. 15:43:56	Ozons	Ozons saturs izmaiņa	20.3	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:43:59	2019.08.05. 15:44:11	Mitrums	Mitruma izmaiņa	38.3	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:43:59	2019.08.05. 15:44:11	Ozons	Ozons saturs izmaiņa	9.4	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:44:04	2019.08.05. 15:44:14	Mitrums	Mitruma izmaiņa	38.5	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:44:04	2019.08.05. 15:44:14	Ozons	Ozons saturs izmaiņa	6.3	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:44:11	2019.08.05. 15:44:17	Ozons	Ozons saturs izmaiņa	0	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:47:41	2019.08.05. 15:47:48	Mitrums	Mitruma izmaiņa	39.4	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:47:57	2019.08.05. 15:48:03	Mitrums	Mitruma izmaiņa	38.8	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:49:12	2019.08.05. 15:49:19	Mitrums	Mitruma izmaiņa	38.2	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:49:12	2019.08.05. 15:49:19	Temperatūra	Temperatūras izmaiņa	24.1	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:51:32	2019.08.05. 15:51:40	Mitrums	Mitruma izmaiņa	37.6	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:52:16	2019.08.05. 15:52:19	Mitrums	Mitruma izmaiņa	37.1	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:53:00	2019.08.05. 15:53:11	Mitrums	Mitruma izmaiņa	36.6	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:54:09	2019.08.05. 15:54:15	Mitrums	Mitruma izmaiņa	37.2	Sensors 2/5
2019.08.05. 15:55:23	2019.08.05. 15:55:32	Mitrums	Mitruma izmaiņa	36.7	Sensors 2/5

Filtrācija

Sākuma datums un laiks: ceturtdiena, 2019. gada 1. augustā 00:00

Beigu datums un laiks: otrdiena, 2019. gada 27. augustā 23:59

Pēc notikumu tipa: Visi notikumi

Pēc vietas: Visas vietas

Pielietot

Aizvērt

Saglabāt datus

3.11. att. Sistēmas administratora programmas logs.

3.1.2. Sensoru sistēmas uzstādīšana kaltē, kalibrēšana, testēšana apkārtējā vidē

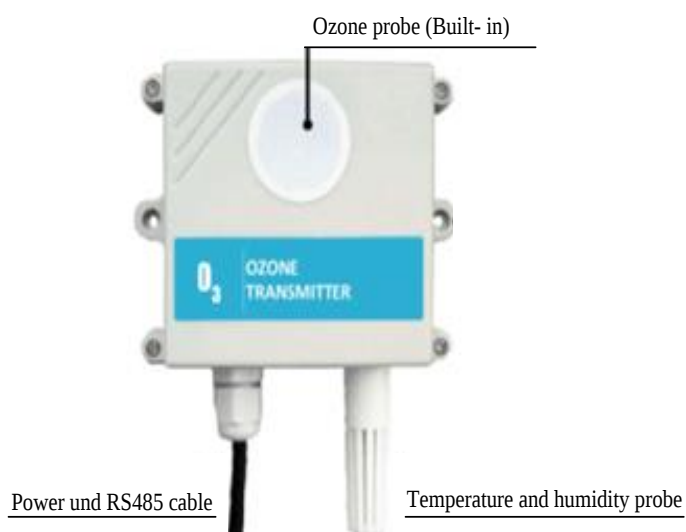
Ekspperimentu laikā ar stacionāri uzstādītiem skaitītājiem, sensoru sistēmu vai rokas instrumentiem mēra šādus parametrus:

- ar katru tvertni savienotā ventilatora enerģijas patēriņu;
- ozona ģeneratora enerģijas patēriņu;
- gaisa mitrumu (RH vienībās) abās tvertnēs graudu starptelpā ar attālumu starp sensoriem 1m;
- graudu temperatūru abās tvertnēs ar attālumu starp sensoriem 1m;
- ozona koncentrāciju tvertnē ar ozona padevi (OT) ar attālumu starp sensoriem 1m;
- apkārtējā gaisa mitrumu un temperatūru;
- graudu mitrumu tvertnes apakšējos un augšējā slānī periodiski kaltēšanas laikā;
- ozona koncentrāciju (OT) ieejā periodiski kaltēšanas laikā;
- izplūdes gaisa ātrumu un ozona koncentrāciju virs augšējā graudu slāņa abās tvertnēs periodiski kaltēšanas laikā.

Parametri 1; 2 tiek noteikti ar stacionāri uzstādītiem elektroenerģijas skaitītājiem, parametrus 3; 4; 5; 6 nosaka sensoru sistēma, lai noteiktu ventilatoru ieslēgšanas un izslēgšanas laiku tiek periodiski noteikti parametri 7, parametri 8; 9 tiek noteikti periodiski ar rokas instrumentiem, lai papildus kontrolētu kaltēšanas procesu,

Ekspperimentos izmantoti divi OPV-100.03 (ООО НПО "Жемчужина Руси", Krievija, <http://www.bakteriy.net/>) ozona ģeneratori ar kopējo ozona jaudu 200 g/h un aptuvenu uzstādīto jaudu 2 kW. Graudu mitrums paralēli sensoru sistēmas mērījumiem periodiski mērīts ar rokas instrumentu Wile 66 (FarmComp Oy, Somija), ozona koncentrācija ar rokas instrumentu QL-800-O3(QLOZONE, Ķīna).

No viena piegādātāja (Ķīna, www.jnrmcu.com) tika izvēlētas divas sensoru sistēmas: OT + RH sistēma RS-WS-N01-2-3 un OT + RH + O₃ sensoru sistēma RS-O3WS-N01-2-4-10 (3.12. att.).



3.12. att. Sensoru sistēmas RS-O3WS-N01-2-4-10 elements.

Sistēmas RS-O3WS-N01-2-4-10 parametri:

- Barošanas avots 12 – 24 V DC;
- Ozona sensora elektroķīmiskā zonde;
- O₃ mērīšanas diapazons 0 – 10 ppm;
- Datu apmaiņas ātrums 2400/4800/9600;
- Darba temperatūra -30 - +50°C (-20 - + 40°C nepārtraukti);
- Mitruma vidē 0 – 100% RH (15 – 95% RH);
- Darba spiediens 0.9 – 1.1 atm.;
- Izejas signāls RS485; Protokols Modbus RTU, datu pārraides ātrums: 4800bit /s.

Ozona noteikšanu veic ar miniatūru elektroķīmisko sensoru. Lielākai ozona koncentrācijai (līdz 20 ppm) tiek izmantots O₃ pusvadītāja sensors, kas integrēts ar cita ražotāja mitruma un temperatūras sensoriem. Abiem veidiem gāzes pieplūdes atvere ir pārklāta ar polimēra membrānu, kas ir ūdensnecaurlaidīga un var laist cauri gāzi, bet bloķēt mitrumu un cietās daļiņas.

Sensoru sistēmas ierīču novietojums tvertnē parādīts 3.1. att. Pie ozona ieplūdes ventilatora padotajā gaisā (poz. 6), kur tas ir bagātināts ar ozonu (200 g O₃ / h) ir augsts gaisa plūsmas ātrums (optimāli 7000 m³ / h), un atšķaidītā ozona koncentrācija būs aptuveni 0,028g O₃ / m³ gaisa (13.5 ppm), tāpēc šajā vietā ozona koncentrācija periodiski tiek mērīta ar rokas instrumentu. Slāņos vidējā ozona koncentrācija pazeminās.

3.1.3. Ozona ģeneratoru uzstādīšana, mēriekārtu uzstādīšana

Projekta otrajā posmā partnera SIA “Ozone Tech” galvenais uzdevums bija nodrošināt vienas graudu tvertnes ozonēšanu ar diviem ozona ģeneratoriem un veikt ozona koncentrācijas kontroles mērījumus ar portatīvo ozona sensoru. Divi ģeneratori tika izvēlēti, lai varētu nodrošināt vajadzīgo ražīgumu.

Pēc iepriekš veiktajiem aprēķiniem un iespēju izvērtēšanas tika noteikti ģeneratoru tehniskie parametri: kopējais ražīgums - vismaz 200 gramu ozona stundā; ģeneratori ozona ražošanai izmanto apkārtējo gaisu; dzesēšana ar gaisu; energopatēriņš ne vairāk par 15 vatiem uz vienu saražotā ozona gramu; vismaz 72 stundu nepārtrauktas darbības iespējamība. Pie ozona ģeneratoru izvēles tika ņemti vērā reālie darba apstākļi, kas ietekmē to darbību. Tie ir: putekļaina vide, jo ozonēšana notiek zemnieku saimniecībā graudu novākšanas laikā jūlijā un augusta mēnesī; temperatūras maiņas, kas ietekmē ģeneratoru dzesēšanu karstā laikā un iespējamo kondensāta veidošanos uz ozona izlādes virsmām; augsts gaisa mitrums, kas nelabvēlīgi ietekmē ģeneratoru darbību; ģeneratoru novietojums pie graudu torņa.

Zinot to, ka ozona tehnoloģiju izmantošana Latvijā ir maz izplatīta, bija problēmas ar ģeneratoru nomu. Šādi ģeneratori reti tiek turēti nomai, parasti nomai izmanto nelielas jaudas portatīvos ģeneratorus. Vienīgi SIA “Elmarks Pluss” bija pieejami ģeneratori, kuri atbilda tehniskajām prasībām. Ģeneratoru ražotājs ООО НПО Жемчужина Рысу, Krievija, modelis OPV 100.03. Tika noslēgts ģeneratoru nomas līgums ar SIA “Elmarks Pluss” uz projekta laiku.

Tā kā ģeneratori ir saistīti ar graudu tvertnes ventilatoru, ventilatori un ģeneratori tika uzstādīti uz platformas, 2.5 metru augstumā no zemes (3.13. att.)

Šāda risinājuma priekšrocības ir: ģeneratori atrodas zem jumta, aizsargāti lietus laikā un nakts laikā; mazāks putekļu daudzums; nodrošināti pret netīšiem bojājumiem. Trūkums šim novietojumam - karstās dienās zem jumta paaugstinās gaisa temperatūra, kas samazina ģeneratoru ražīgumu un traucē dzesēšanai.

Ģeneratori tika novietoti augstāk par ventilatoru, lai nebūtu jāizmanto papildus lokanie savienojumi, kas varētu samazinātu ozona reālo daudzumu. Parasti siltums lokanajos savienojumos samazina ozona daudzumu. Ģeneratori tika iemontēti viens otram blakus vertikālā stāvoklī, kas ir šā modeļa optimālais darba stāvoklis (3.14.att.).



3.13. att. Ozona ģeneratoru kopskats, caurules ozona padevei ventilatoram.

Lai darba laikā ģeneratorus aizsargātu no putekļiem, kuri rodas graudu apstrādes laikā, tiek izmantots gaisa filtrs. Tas nodrošina ģeneratorus ar tīru gaisu bez mehāniskiem piemaisījumiem, ko tie izmanto ozona ražošanai un procesa dzesēšanai. Pretējā gadījumā putekļi var pielipt pie ozona augstsprieguma koronizlādes stieniem, kas samazina ģeneratora ražīgumu un var novest pie bojājumiem. Viens filtrs nodrošina gaisa padevi abiem ģeneratoriem. Gaisa filtrs sastāv no koka korpusa, kas apvilks ar 5. kategorijas filtra materiāla un divām PVC 150mm pārejām. Filtrs ir novietots augstāk par ģeneratoriem un savienots ar tiem ar 150mm lokano alumīnija savienojumu (3.14.att.).



3.14. att. Gaisa filtra pieslēgums ģeneratoriem.



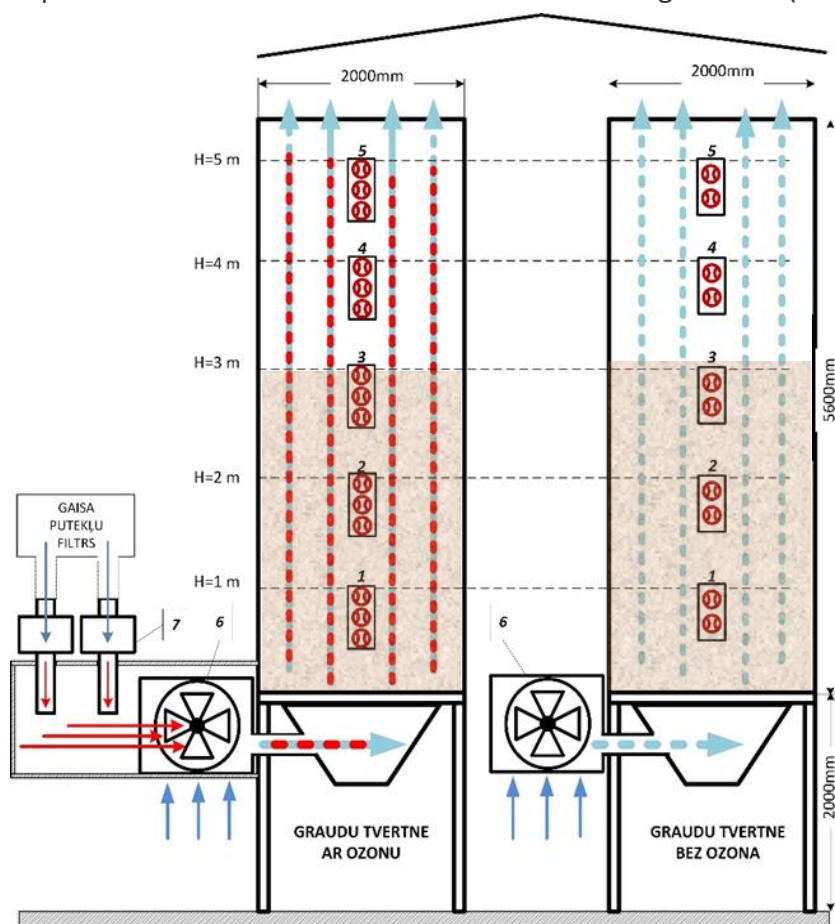
3.15. att. Portatīvais ozona koncentrācijas mērītājs QL-800-O3.

Ozona koncentrāciju graudu tvertnē mērija uzstādītie sensori, rezultātiem varēja sekot attālināti datorā. Ozona koncentrācijas kontrole pie graudu tvertnes ventilatora un graudu tvertnes augšā tika veikta arī ar portatīvo ozona koncentrācijas mērītāju QL-800-O3. (3.15 att.), mērījumu robežas 0 - 100 ppm. Ar šo mērītāju tika noteikta arī koncentrācija, lai konstatētu ozona plūsmas ilgumu no ģeneratora ieslēgšanas sākuma.

Ģeneratoru darba nodrošināšanai tika izveidota atsevišķa 220V elektropieslēguma vieta ar 6A automātisko drošinātāju. Ģeneratoru darba stundu uzskaitē tika izmantots elektroniskais darba stundu skaitītājs, bet patērētās enerģijas uzskaitē – elektroenerģijas skaitītājs. To ieslēgšana un izslēgšana tika veikta manuāli, vadoties no vēlamā ozonēšanas ilguma, gaisa mitruma un temperatūras.

3.2. Tvertņu, aprīkojuma un iekārtu sagatavošana un pārbaude 2020. gadā (4.posms)

Līdzīgi kā iepriekš, graudu kaltēšanai tika izmantotas divas tvertnes: references tvertne (graudu tvertne bez ozona padeves) un tvertne ar ozona padeves iespēju, taču 2020. gada graudi eksperimentiem tvertnēs tika iekrauti līdz 3.2 m augstumam (skat. 3.16. att.).



3.16.att. Vēdināšanas tvertņu shēma, tvertņu pildījums 2020. g. līdz 3,2m augstumam (tumšākā krāsā).

2019. gada veiktajos eksperimentos tika konstatēts, ka izmantojot zemnieku saimniecībā "Mazkalniņi" uzstādītās iekārtas tvertņu augšējo slāņos vēdināšana ir nepietiekoši efektīva, tāpēc 2020. gada eksperiments jāturpina ar aptuveni 3 m augstu graudu slāni.

Tāpat tika konstatēts, ka paralēli sensoru sistēmas darbībai, nepieciešams graudu paraugus ik pa metram ņemt mehāniski – ar zondi un to mitrumu noteikt ar mitruma mērītāju, jo pārrēķinu no gaisa mitruma graudu starptelpā uz graudu mitrumu 2019. gadā neizdevās atrisināt. Noskaidrots arī, ka izveidotā un tvertnēs uzstādītā sensoru sistēma strādāja atbilstoši prasībām, un pēc pārbaudes, kalibrēšanas un atkārtotas testēšanas tā izmantojama kaltēšanas procesa monitoringam un datu uzkrāšanai arī 2020. gadā.

Jūlija mēneša sākumā zemnieku saimniecībā “Mazkalniņi” veica tvertņu dezinfekciju, SIA “Ozone Tech” uzstādīja ozona ģeneratorus, tika veikta transportieru, priekštīrītāja, noriju, ventilatoru, ozona ģeneratoru pārbaude darbībā.

Eksperimentu laikā ar stacionāri uzstādītiem skaitītājiem, sensoru sistēmu vai rokas instrumentiem tika mērīti šādi parametri:

- ar katru tvertni savienotā ventilatora enerģijas patēriņš;
- ozona ģeneratora enerģijas patēriņš;
- gaisa mitrums (RH vienībās) abās tvertnēs graudu starptelpā ar attālumu starp sensoriem 1m;
- graudu temperatūra abās tvertnēs ar attālumu starp sensoriem 1m;
- ozona koncentrācija tvertnē ar ozona padevi (OT) ar attālumu starp sensoriem 1m;
- apkārtējā gaisa mitrums un temperatūra;
- graudu mitrums tvertnēs pa slāņiem periodiski kaltēšanas laikā ar rokas instrumentu;
- ozona koncentrācija OT ieejā un 2m dziļumā no augšas periodiski kaltēšanas laikā ar rokas instrumentu;
- izplūdes gaisa ātrums un ozona koncentrācija virs augšējā graudu slāņa abās tvertnēs periodiski kaltēšanas laikā ar rokas instrumentu.

3.2.1. Sensoru sistēmas uzstādīšana kaltē, sensoru sistēmas kalibrēšana, testēšana apkārtējā vidē

2020. gada graudu ražas novākšanas sezonas sākumā tika veikta iepriekšējā gadā izveidotās sensoru sistēmas darba spēju pārbaude, kas ietver sevī:

- sistēmas sensoru (T, RH, O3) rādījumu testēšanu un salīdzināšanu ar references ierīču rādījumiem;
- sensoru datu nolasīšanas un kontroles mikrokontrolieru funkcionalitātes pārbaudi;
- kontrollerī uzkrāto datu pārraides kontroli uz datu serveri (to nodrošina raidītāja - uztvērēja E-32 sērijas bezvadu modulis);
- personālajā datorā instalētās programmatūras (datu servera, lietotāja un sistēmas administratora programmas) darbības pārbaudi un lietotāja prasmes atjaunošanu.

Testējot sensoru sistēmu, secinājām, ka kopumā sensoru parametru vērtības iekļāvās ražotāja uzdotajās kļūdas robežās:

- temperatūras mērījumu precizitāte: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$;
- mitruma mērījumu precizitāte: $\pm 3\%\text{RH}$;
- ozona mērījuma izšķirtspēja: 0.01ppm.

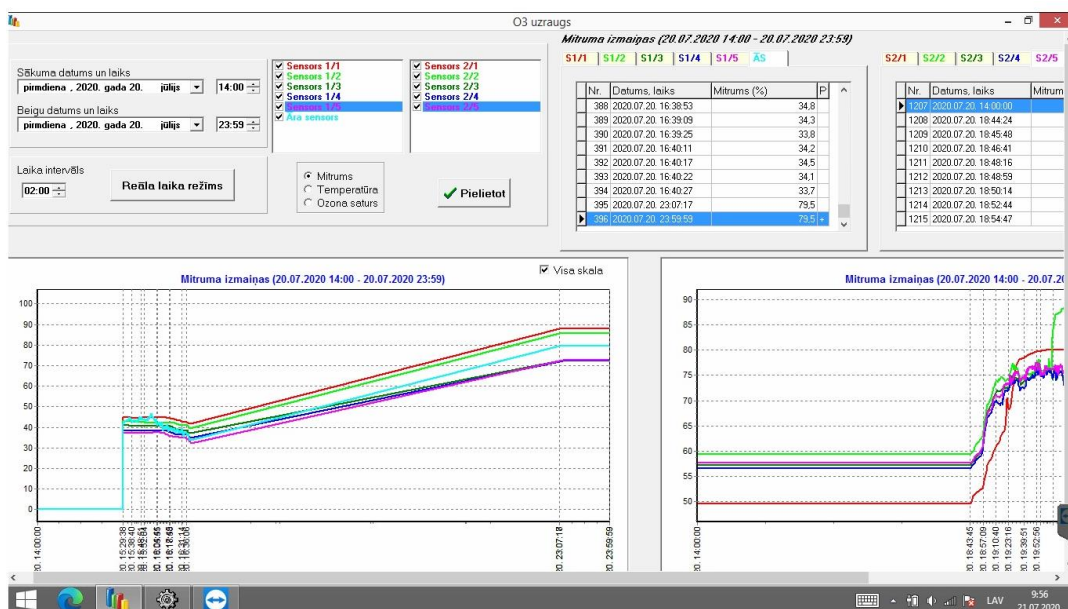
Tvertnē bez ozona padeves sensoru sistēmas pārbaudes laikā radās problēma datu maģistrālē starp sensoriem un mikrokontrolieri. Tāpēc operatīvi tika veikta mikrokontroliera, kā arī apkārtējas vides āra sensora nomaiņa. Lai sensoru sistēma turpinātu normāli fiksēt interesējošos parametrus, bija nepieciešama sistēmas elementu pāradresācija, piesaistot jaunajām komponentēm attiecīgās datu maģistrāles adreses. Problēmu, iespējams, varēja radīt kondensāta veidošanās datu maģistrālē vai sensoru pievienošanas punktos.

Pārbaudot nomainītās komponentes LU CFI laboratorijas apstākļos, viss darbojās normāli, kā arī datu plūsmas signāla līmeņi atbilda normas robežām.

Lietotāja programma darbojas ar datu bāzi un ļauj redzēt izvēlēto sensoru mērījumu izmaiņas reālā laika režīmā vai noteiktā laika intervālā (tabulas un diagrammas attēlojumā). Lietotāja programma dod iespēju izvēlēties konkrētā parametra (mitrums, temperatūra, ozona koncentrācija) mērījumu attēlojumu dažādos tvertnes slāņos izvēlētajā laika periodā - reālā laikā vai arī iepriekšējos (vēsturiskos) datus izvēlētajā laika intervālā. Šos datus var pārsūtīt uz Excel. Datu reģistrācijas piemēri parādīti 3.17. attēlā.

Iepriekšējā gadā LU CFI izstrādātā lietotāja programma veica ierakstus datu bāzē tikai tad, ja sensoru sistēma fiksēja jebkura parametra (T, RH vai O₃) diferenci starp iepriekšējo un pašreizējo parametru vērtībām. Šādi izvēlēta pieeja būtiski ļāva samazināt datu bāzes apjomu, nepiesārņojot to ar datiem, kuri kādu laika periodu paliek nemainīgi.

Diemžēl šādai datu uzkrāšanas pieejai ir arī trūkums. Ja izvēlamies kādu mums interesējošo graudu kaltēšanas un uzglabāšanas laika posmu, bet izvēlētajā laika intervālā kāds no parametriem nav mainījies, tad datu bāzē parametra vērtības nav, kas apgrūtina graudu kaltēšanas un uzglabāšanas monitoringa procesa vizualizāciju.



3.17. att. Reģistrēto datu attēlošanas piemērs.

Problēma tika atrisināta, pilnveidojot lietotāja programmatūru, piesaistot lietotāja interesējošajam laika posmam iepriekš (ārpus izvēlētajā intervālā) datu bāzē fiksēto parametra vērtību. Lietotāja programmatūras modifikācija būtiski atviegloja graudu kaltēšanas un uzglabāšanas datu analīzi un sniedza labāku kopējā procesa pārskatāmību.

4. GRAUDU KALTĒŠANAS AR AKTĪVO VĒDINĀŠANU UN GLABĀŠANAS, PIELIETOJOT OZONU, PĒTĪJUMI SAIMNIECĪBĀ

Atbilstoši projekta laika grafikam izmēģinājumi saimniecībā veikti 2019. g. un 2020. g. labības novākšanas sezonas laikā, jeb projekta 2. un 4. posmā, iegūtie rezultāti aprakstīti 4.1 un 4.2 apakšnodaļā, kopsavilkums par eksperimentu rezultātiem dots nodaļas beigās.

4.1. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu un glabāšanas, pielietojot ozonu, izmēģinājumi saimniecībā 2019. gadā (2.posms)

Ziemas kvieši tvertnēs izmēģinājumu uzsākšanai saimniecībā "Mazkalniņi" iekrauti 26.07.2019., izmēģinājumi turpinājās līdz 19.08.2019. Slāņa augstums aptuveni 5.1 m, sākotnējais graudu mitrums 23%, aptuvena graudu masa katrā tvertnē 17.4 t. Iespējamais aktīvās vēdināšanas uzsākšanas laiks, tās ilgums un ventilatoru izslēgšanas moments atkarīgs no četriem parametriem: gaisa mitruma un temperatūras, graudu mitruma un to temperatūras. Aktīvo vēdināšanu sāk, kad ārējā gaisa relatīvais mitrums un temperatūra sasniedz atbilstošo līdzsvara mitruma stāvokli un beidz, kad šie radītāji tuvojas kritiskajam punktam. Tāpēc vēdināšanas uzsākšanas un beigšanas laika noteikšanai ieteicams izmantot literatūra atrodamu nomogrammu [1], gaisa mitrumu un temperatūru iepriekš nosakot attiecīgi ar psihrometru un termometru. Jūlija beigās – augusta pirmajā pusē bezlietus dienās visbiežāk vēdināšanas ilgums bija plkst. 11.00 – 21.30. Naktī ventilatori bija izslēgti. Sensoru sistēmas reģistrētajiem parametriem (gaisa mitrums graudu starptelpā, temperatūra abās tvertnēs, ozona koncentrācija tvertnē ar ozona padevi) gan konkrētajā brīdī, gan par iepriekšējām dienām varēja sekot datorā gan zemnieku saimniecībā "Mazkalniņi", gan attālināti LLU Ulbrokas zinātnes centrā Ulbrokā. Tā kā katrā tvertnē sensori uzstādīti piecos līmeņos, katrā līmenī trīs sensori ozona tvertnē un divi sensori tvertnē bez ozona padeves, kā arī pa vienam sensoram apkārtēja gaisa mitruma un temperatūras reģistrēšanai, tad kopējais darbojošos sensoru skaits ir 27, kuri parametrus nosaka ik piecas sekundes. Kā minēts iepriekš, sensoru konstatēto datu izmaiņas mikrokontrolieru atmiņā tiek reģistrētas tikai tad, ja atšķirība starp fiksētajiem datiem ir lielāka par noteikto vērtību (0.5°C temperatūrai, 0.5% mitrumam un 0.3 PPM ozonam). Taču kopējais reģistrēto datu apjoms ir ļoti liels, tāpēc turpmāk izklāstīti kopējie procesa rezultāti un kā piemērs ievietoti mitruma, temperatūras un ozona koncentrācijas izmaiņu grafiki vienas dienas laikā tvertnē ar ozona padevi (4.1.att.). Grafiki iegūti, apstrādājot mērījumu attēlojumu reālā laikā un grafisko attēlojumu konkrētajā dienā.

Kā jau minēts, abu tvertņu vēdināšana uzsākta 26.07.2019. pie graudu mitruma tvertņu augšā un 1.5m dziļumā no augšas 23%. Kontrolei graudu mitrums noteikts trīs atkārtojumos ar rokas graudu mitruma mērītāju Wile 66 (*FarmComp Oy, Finland*), graudu paraugi 1.5 m dziļumā ņemti ar šim nolūkam paredzētu zondi. Ik dienas sekots sensoru sistēmas reģistrētajiem parametriem un katru otro dienu ņemti paraugi tvertņu augšā un 1.5 m dziļumā ar sekojošu mitruma noteikšanu ar minēto mitruma mērītāju. Konstatēts, ka augšējos slāņos graudu mitrums nedēļas laikā samazinās par 0.5-0.6% dienā, līdz sasniedz aptuveni 18% ozona tvertnē un 19% tvertnē bez ozona. Turpmākajā periodā graudu mitrums augšējos slāņos nemainās, kas izskaidrojams ar no apakšējiem slāņiem iznestā mitruma kondensēšanos tvertņu augšdaļā. Sensoru sistēma, reģistrējot gaisa mitrumu graudu starptelpā, pirmās nedēļas laikā konstatēja intensīvu mitruma samazināšanos apakšējā slānī, pēc tam arī otrajā slānī no apakšas.

Temperatūra pirmās nedēļas laikā pa slāņiem mainās robežās 15 – 26°C, augstāka tā ir augšējos slāņos. Ozona koncentrācija visaugstākā ir apakšējā slānī, samazinās otrajā un trešajā slānī, ceturtajā un piektajā slānī ir niecīga.

Periodiski ar rokas instrumentiem tika noteikts gaisa plūsmas ātrums tvertņu augšā, ozona koncentrācija pie ozona padeves ventilatora ieplūdes vadā un tvertnes augšā ar digitālo mērinstrumentu QL-800-O3(QLOZONE, Ķīna). Gaisa plūsma virs graudu slāņa atkarībā no mērinstrumenta novietojuma pret tvertnes centru ir 3.0 – 3.6m/min, jeb 0,05 – 0.06m/s, kas ir vismaz divas reizes mazāk par minimāli vajadzīgo graudu intensīvai vēdināšanai [1]. Ozona koncentrācija ventilatora ieplūdes vadā ir 15 – 18 ppm, kas pat pārsniedz plānoto koncentrāciju 13 ppm jeb 0.028 g ozona/m³ gaisa. Ozona koncentrācija tvertnes augšā ir aptuveni 0.1ppm, kas nozīmē, ka praktiski viss ozons ir absorbējies – to apstiprina arī sensoru sistēmas dati – ceturtajā un piektajā līmenī ozona koncentrācija ir niecīga.

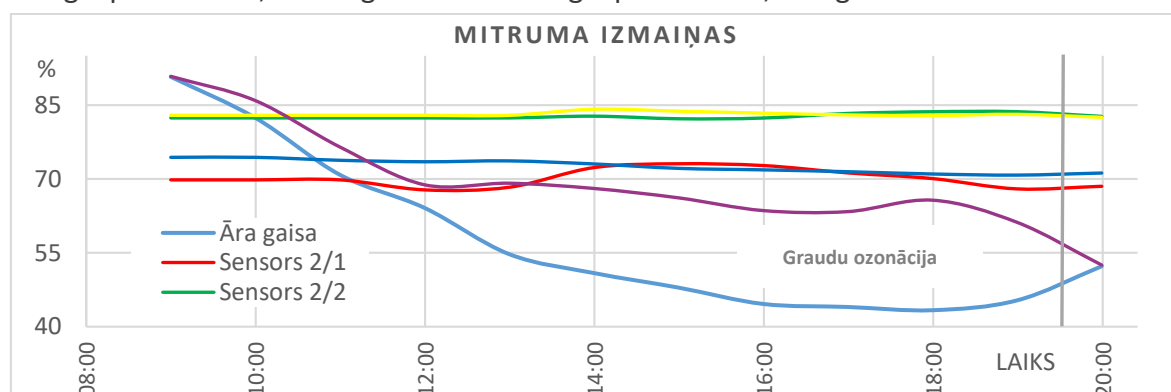
Otrās nedēļas beigās (07.08.2019.) tvertņu augšā un 1.5 m dziļumā mitrums samazinājies maz – līdz 17.5% ozona tvertnē un 18.5% tvertnē bez ozona., tajā pašā laikā tvertņu apakšdaļā graudi pārkaltēti – mitrums 11%. Sensoru sistēmas dati rāda, ka sākusies graudu kaltēšana trešajā slānī no apakšas.

Apkopojot divu nedēļu eksperimentu rezultātus, var secināt, ka ievērojama graudu kaltēšana ir notikusi pirmajos trīs slāņos no apakšas, turklāt pirmajā slānī graudi ir būtiski pārkaltēti. Cēlonis lielam graudu mitrumam augšējos slāņos acīmredzot ir nepietiekošs vēdināšanas gaisa ātrums graudu slānī (skat. iepriekšējās rindkopās minētos mērījumu rezultātus), jeb nepietiekošs īpatnējais gaisa izlietojums m³/m³ h – gaisa kubikmetri uz 1m³ graudu stundā. Mūsu gadījumā šis rādītājs ir 350m³/m³.h, optimāli būtu 500 – 550 [1]. Tā kā ventilatoru ražīgumu palielināt nav iespējams, procesa intensificēšanai tika pieņemts lēmums graudu slāņa augstumu tvertnēs samazināt aptuveni uz pusi, daļu sausāko graudu no tvertņu apakšas izlaižot un nogādājot pārdošanai. Rezultātā no abām tvertnēm nogādāts pārdošanai 18.2t graudu, no ozona tvertnes ar vidējo mitrumu 17.5, no tvertnes bez ozona padeves ar vidējo mitrumu 17.8%.

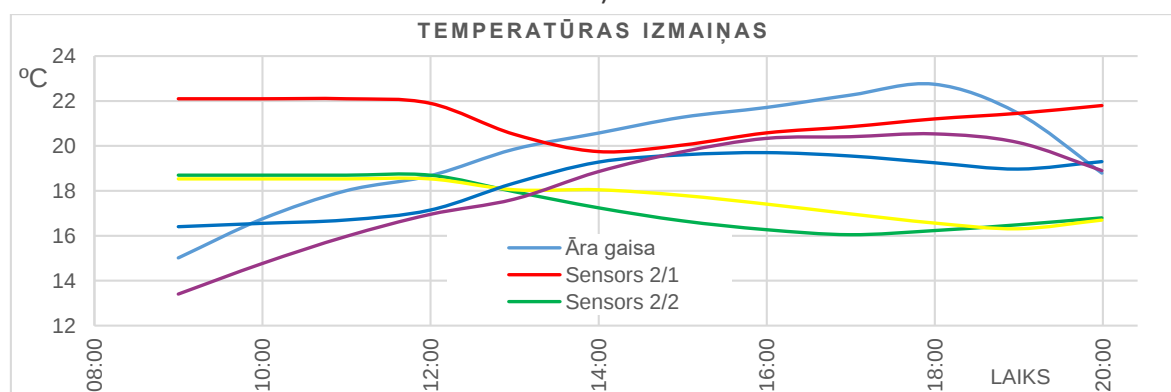
No 11.08.2019. turpināta vēdināšana atlikušajiem graudiem - aptuveni ½ tvertņu tilpuma. Turpināts parametru monitorings ar sensoru sistēmu un periodiski kontrolmērījumi ar rokas instrumentiem. Tvertņu augšā un 1.5 m dziļumā mitrums sākotnēji 18.0 % ozona tvertnē un 19.0% tvertnē bez ozona, tvertņu apakšdaļā attiecīgi 15.0% un 16.3%. Tā kā intensīva ozona piesaiste graudiem vairs nav sagaidāma, ozona ģenerators darbināts tikai periodiski – galvenokārt mērījumu ar rokas instrumentiem veikšanai. Gaisa plūsma virs graudu slāņa vidēji 9.1m/min, jeb 0.15m/s, tātad trīs reizes lielāka nekā pie pilnas tvertnes un tuva optimālajai. Ozona koncentrācija ventilatora ieplūdes vadā tāpat 15 - 18 ppm, savukārt virs graudu slāņa 1.5-1.7ppm, tvertnes augšā 0.7-1.0 ppm, tātad šāds ozona ģenerators ražīgums ir pilnīgi pietiekams aptuveni 3m bieža graudu slāņa apstrādei.

Turpinot aktīvo vēdināšanu, nākamajās dienās salīdzinoši strauji samazinājās graudu mitrums tvertņu apakšējos slāņos, taču tvertņu augšā mitrums pat nedaudz pieauga. Aptuveni pēc nedēļas tvertņu apakšdaļā graudu mitrums jau bija 11-12% un vēl pēc divām dienām pat 10-11%, tāpēc vēdināšana tika pārtraukta. 20.08.2019. nogādāts pārdošanai 14.6t graudu, no ozona tvertnes ar vidējo mitrumu 15.2%, no tvertnes bez ozona padeves ar vidējo mitrumu 15.4%.

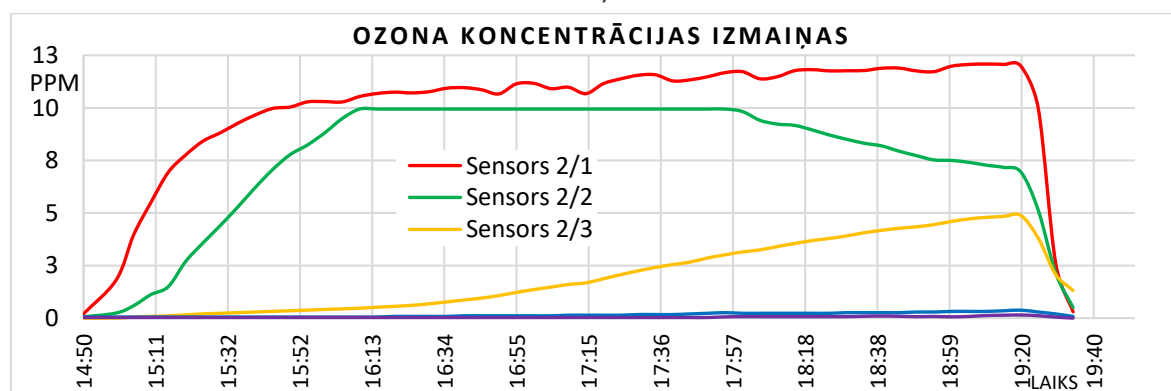
Lai ilustrētu sensoru sistēmas darbību, 4.1. attēlā apskatāmas tvertnē ar ozona padevi reģistrēto parametru izmaiņas apkopotā veidā vienas dienas laikā. Tika vēdināti vasaras kvieši ar sākotnējo mitrumu 14.5%, slāņa augstums 5.20m, tātad sensori Nr. 5 atradās tuvu graudu slāņa augšējai robežai, kas ietekmēja to rādījumus. Ventilators ieslēgts plkst. 13.00, izslēgts plkst. 20.00, ozona ģenerators ieslēgts plkst. 15.00, izslēgts 19.00.



a)



b)



c)

4.1. att. Apkopotie sensoru sistēmas fiksētie rezultāti ozona tvertnē vienas dienas laikā.

Kā redzams 4.1. attēlā, relatīvā mitruma graudu starptelpā izmaiņu grafikos, reāls mitruma samazinājums (no 73% uz 67%) ir noticis tikai pirmā sensora zonā, pēc plkst. 19.00, pieaugot āra gaisa mitrumam un samazinoties temperatūrai, pieaug arī šā sensora uzrādītais mitrums.

Otrā, trešā un ceturtā sensora zonā dēļ neilgā vēdināšanas laika vēā ņemamas relatīvā mitruma izmaiņas nav notikušas. Savukārt piektā sensora rādījumi dēļ novietojuma tuvu graudu slāņa augšējai robežai lielā mērā seko āra gaisa sensora rādījumiem.

Arī vēā ņemamas temperatūras izmaiņas ir notikušas tikai pirmā sensora zonā – ieslēdzot ventilatoru, tā nedaudz krītas, pēc tam visu laiku kāpj proporcionāli āra gaisa temperatūras kāpumam. Iespējams, to ietekmē arī augstā ozona koncentrācija pirmā sensora zonā. Otrā un trešā sensora zonā temperatūra nedaudz samazinās no pirmā sensora zonas iznestā mitruma ietekmē. Līdzīgi arī ceturtā sensora zonā. Piekta sensora zonā temperatūra seko āra gaisa temperatūrai dēļ tā novietojuma.

Pirmā un otrā sensora zonā koncentrācija pakāpeniski pieaug pirmās stundas laikā, pēc tam pirmā sensora zonā ir tuvu maksimālajai, atbilstoši ģeneratora un ventilatora ražīgumam, maksimāli iespējamā koncentrācija ir 13.5 ppm. Pēc trīs stundu darba ozona koncentrācija pirmajās zonās sāk kristies, kas atbilst literatūras datiem [3], ka maksimālā ozona piesaiste notiek pirmajās stundās. Trešajā zonā ozona koncentrācija pieaug pakāpeniski, savukārt līdz ceturtā un piektā sensora zonai nonāk niecīga daļa ozona. To apstiprina mērījumi ar digitālo rokas instrumentu – ozona koncentrācija virs graudu slāņa ir dažas desmitdaļas ppm.

Secinājumi par 2019. g. (2. posma) izmēģinājumu saimniecībā rezultātiem

1. sākotnēji (26.07.- 9.08.2019.) graudu slāņa augstums pārsniedza 5m, tāpēc nebija iespējams sasniegt vajadzīgo gaisa plūsmas ātrumu graudos, un augšējos slāņos graudu kaltēšana notika nepietiekoši, savukārt apakšējos slāņos graudi tika pārkaltēti. Ozona koncentrācija tikai pirmajā un otrajā slānī bija optimāla, trešajā aptuveni puse no vajadzīgās, augstāk ozona iedarbība bija minimāla;
2. pie graudu slāņa augstuma 3m (11.08. – 20.08.2019.) bija iespējams nodrošināt vajadzīgo gaisa plūsmas ātrumu (0.15m/s) un ozona koncentrāciju, līdz ar to pietiekošu kaltēšanas intensitāti, taču pārliecinoši konstatēt parametru atšķirības abās tvertnēs neizdevās;
3. literatūrā [2], [3] norādīts, ka intensīva ozona piesaiste notiek pirmo 24 stundu laikā, bet šajā gadījumā graudi jau vairākus desmitus stundu bija apstrādāti ar nelielu ozona koncentrāciju iepriekšējā etapa laikā;
4. eksperimentu laikā gan ar sensoru sistēmu, gan rokas instrumentiem, gan pie graudu pārdošanas pastāvīgi konstatēts neliels (0.3 – 0.5%) graudu mitruma samazinājums ozona tvertnē, salīdzinot ar tvertni bez ozona piedevas vēdināšanas gaisā, taču tehnisku un metodisku nepilnību dēļ metodes priekšrocības pārliecinoši nav pierādītas. Tāpēc, iepriekš novēršot minētās nepilnības, eksperimenti jāturpina 2020. gada labības novākšanas sezonā, veicot aktīvo vēdināšanu abās tvertnēs 3.0 – 3.5m augstam graudu slānim;
5. izstrādātā un tvertnēs uzstādītā sensoru sistēmas strādāja bez atteikumiem, nodrošinot iespēju sekot vēdināšanas režīmiem datorā gan saimniecībā, gan attālināti. Īpaši svarīga ražošanas apstākļos bija iespēja kontrolēt graudu temperatūru tvertnēs pa slāņiem pie augsta graudu sākotnējā mitruma - virs 20 – 21%.
6. eksperimentu laikā pierādīts, ka izmantojot aktīvo vēdināšanu var sagatavot Ekstra kvalitātes pārtikas graudus, mitrumu pazeminot par 7.5 – 8.0%;

7. provizoriski vērtējot, ozona pielietošana īsā vēdināšanas ciklā (2 – 3 dienas) ļauj graudu mitrumu tvertnes apakšējos slāņos samazināt par 1%, salīdzinot ar vēdināšanu bez ozona.

4.2. Graudu kaltēšanas ar aktīvo vēdināšanu un glabāšanas, pielietojot ozonu, izmēģinājumi saimniecībā 2020. gadā (4. posms)

Iepriekšējā apakšnodaļā 4.1 minēts, ka izmēģinājumi 2019. g. galvenokārt notika ar 5.5 m augstu graudu slāni, tika konstatēts neliels graudu mitruma samazinājums ozona tvertnē, salīdzinot ar tvertni bez ozona. Konstatēts arī, ka ventilatoru ražīgums 5.5 m augstam graudu slānim ir nepietiekams un 2020. g. izmēģinājums jāveic ar 3.0 – 3.5 m augstu graudu slāni. Noskaidrots arī, ka izveidotā un tvertnēs uzstādītā sensoru sistēma strādāja atbilstoši prasībām, un tā pēc šīs atskaites 3.2.1 punktā aprakstītās pārbaudes un uzlabošanas tika izmantota kaltēšanas procesa monitoringam un datu uzkrāšanai arī 2020. g. Eksperimentu metodika un lietotie instrumenti aprakstīta atskaites otrajā nodaļā, mērāmie parametri vēlreiz minēti atskaites 3.2. punktā. Papildus 2019. g. uzstādītajai sensoru sistēmai ozona tvertnē uzstādīta caurule ar garumu 2m ozona koncentrācijas periodiskai noteikšanai ar rokas instrumentu (kontrolei) 2m dziļumā (4.3. att.).



4.2. att. 22% mitru kviešu sabērums tvertnē
tuvplānā.



4.3. att. Sensoru kārbas un caurule
ozona koncentrācijas kontrolei.

Ziemas kvieši izmēģinājumiem tvertnēs daļēji iekrauti 20.07. plkst. 21.00 aptuveni 5.5 t katrā tvertnē ar mitrumu 25%, tvertņu pildīšana līdz aptuveni 3.2 m augstumam pabeigta 21.07., iekraujot graudus ar 22% mitrumu. Tātad vidējais graudu mitrums katrā tvertnē 23.5%. Kviešu sabērums ar 22% mitrumu tvertnē tuvplānā parādīts 4.2.attēlā. Kopējais graudu daudzums katrā tvertnē aptuveni 10.85 t., tvertnes piepildītas nedaudz pāri pusei. Abu tvertņu vēdināšana uzsākta 21.07. pēc iekraušanas pabeigšanas. Vēdināšana tika turpināta ik dienas, ventilatorus ieslēdzot, kad ārējā gaisa relatīvais mitrums un temperatūra sasniedz līdzsvara mitruma stāvokli, un izslēdzot, kad šie rādītāji tuvojas kritiskajam punktam. Novākšanas sezonas sākumā bezlietus dienās vēdināšanas laiks visbiežāk bija plkst. 11.00 - 21.30. Naktī ventilatori bija izslēgti. Vēdināšanas procesa monitorings notika ar sensoru sistēmu, papildus procesu raksturojošie parametri (graudu mitrums dažādos slāņos, ozona koncentrācija, vēdināšanas gaisa ātrums) periodiski tika noteikti ar rokas instrumentiem. Ozona ģenerators ieslēgts 23.07. un turpmāk periodiski darbināts līdz ar ventilatoru ieslēgšanu.

Graudu mitruma izmaiņas kaltēšanas gaitā tvertnē ar ozona padevi (Ozons) un tvertnē bez ozona padeves (Bez ozona), mitrumu periodiski nosakot ar rokas instrumentu, parādītas 4.1. tabulā. Graudu paraugi mitruma noteikšanai tvertņu vairākos slāņos (1m no augšas, 2m no augšas, 3m no augšas) ņemti ar šim nolūkam paredzētu zondi.

4.1.tabula

Graudu mitruma izmaiņas kaltēšanas laikā izmēģinājumu tvertnēs pa slāņiem

Datums	23.07.2020.		28.07.2020.		3.08.2020.		6.08.2020.		12.08.2020.	
	Ozons	Bez ozona	Ozons	Bez ozona	Ozons	Bez ozona	Ozons	Bez ozona	Ozons	Bez ozona
Tvertnes augšā	22.0	22.0	22.0	22.0	19.0	19.0	18.0	18.0	18.0	18.0
1m no augšas	22.0	22.0	22.0	22.0	19.0	19.0	17.5	18.0	17.5	18.0
2m no augšas	nav datu	nav datu	22.0	22.0	18.0	19.0	17.5	18.0	16.5	17.5
3m no augšas	nav datu	nav datu	15.0	18.0	12.0	14.0	10.0	11.0	9.5	10.0
Tvertnes apakšā	13.0	14.0	11.0	12.0	10.0	10.0	9.0	9.0	8.0	9.0

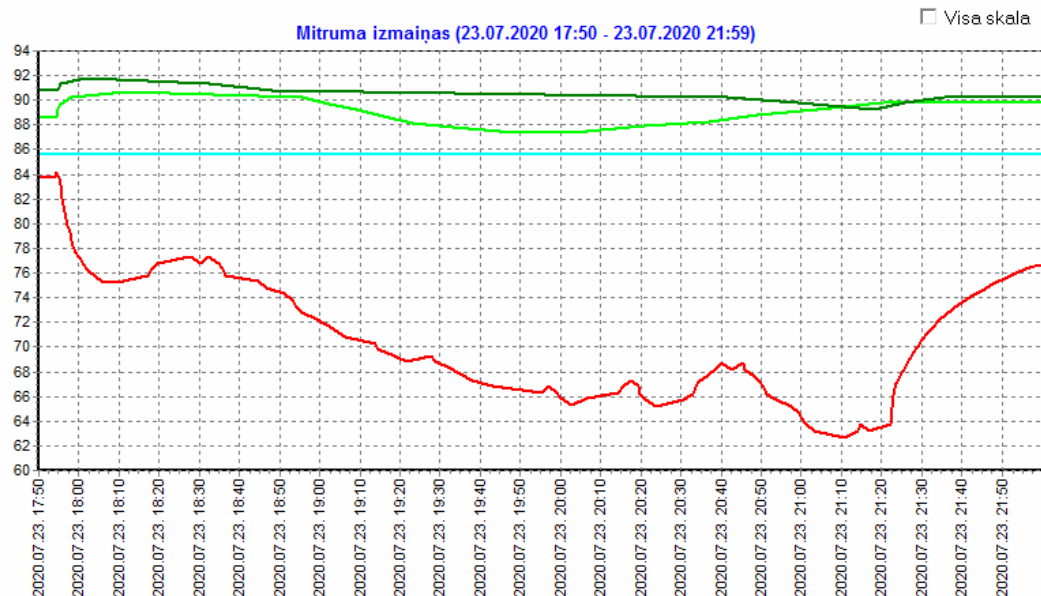
Graudi tvertnēs vēdināti kopā 22 dienas – 22.07. - 12.08.2020., šajā laikā ventilatori darbināti 136 stundas vai vidēji 6.18 stundas dienā. Kā redzams 4.1. tabulā, tvertnes dažādos slāņos graudu mitrums mainījies dažādi - tvertnes apakšā jau pēc vienas dienas vēdināšanas graudi ir sasnieguši kondīcijas mitrumu, turklāt tvertnē ar ozona padevi mitrums ir par 1% zemāks. Turpmākajā vēdināšanas gaitā graudi tvertņu apakšā tiek pārkaltēti - līdzīgi kā konstatēts 2019. g. Nākamajā slānī - 3m no augšas - ozona iedarbība redzama piecas dienas pēc vēdināšanas uzsākšanas - 28.07. - kad graudu mitrums ozona tvertnē ir par 3% mazāks nekā tvertnē bez ozona padeves. Graudu ozonēšanas efekts šajā slānī redzams arī turpmākajā kaltēšanas gaitā, taču, graudiem kļūstot sausākiem, tas pakāpeniski samazinās. 12.08. graudu mitrums ozona tvertnē ir tikai par 0.5% mazāks nekā tvertnē bez ozona padeves un graudi arī šajā slānī tiek pārkaltēti. Tehnisku iemeslu dēļ 23.07. nebija iespējams noteikt graudu mitrumu. Savukārt slānī 2m no augšas ozona iedarbība konstatējama 12 dienas pēc vēdināšanas uzsākšanas - 03.08., kad graudu mitrums tvertnē ar ozona padevi ir par 1% mazāks, neliela mitruma starpība saglabājas līdz kaltēšanas perioda beigām. Slānī 1m no augšas ozonēšanas efekts parādās aptuveni piecpadsmitajā dienā pēc vēdināšanas uzsākšanas un ir tikai 0.5%. Savukārt augšējā slānī ozona iedarbība nav konstatējama - abās tvertnēs graudu mitrums ir vienāds un 22 dienu laikā ir samazinājies par 4%.

Eksperimentu laikā apstiprinājās literatūrā sastopamie apgalvojumi [3], [4], ka ozona iedarbība ir efektīva vēdināšanas perioda sākumā - līdz dažām dienām, kad ozons intensīvi piesaista graudu mitrumu. Tas redzams arī tabulā - rindās “3m no augšas” un “tvertnes apakšā”.

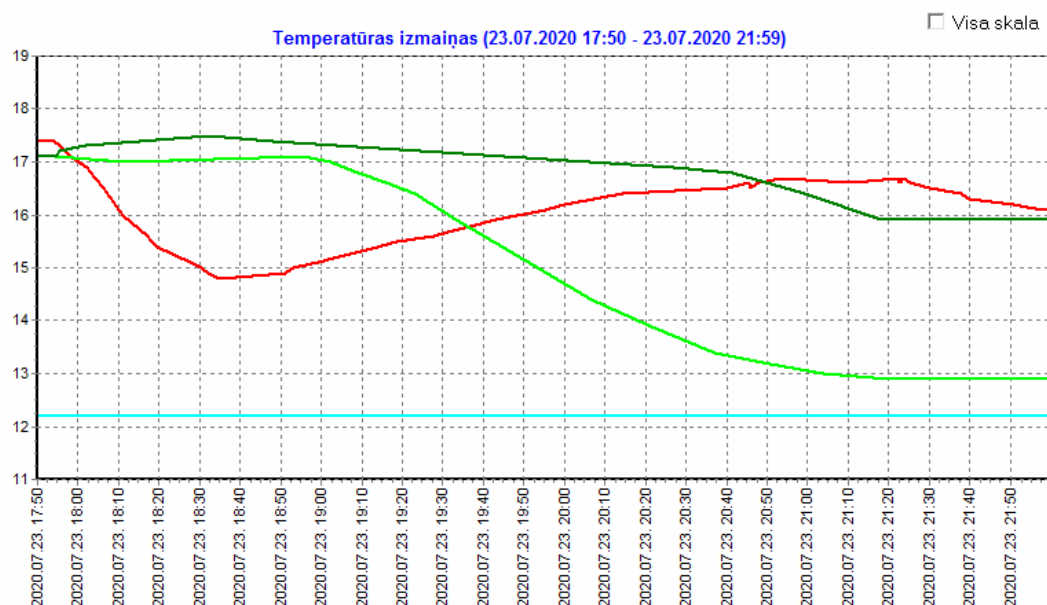
Periodiski ar rokas instrumentu tika noteikts gaisa plūsmas ātrums tvertnēs virs augšējā graudu slāņa, kā arī ozona koncentrācija dažādās vietās. Gaisa plūsmas ātrums tika mērīts, novietojot mērinstrumentu piecos simetriskos punktos virs graudu slāņa vairākos atkārtojumos un pēc tam aprēķinot vidējo. 2020. g. mērījumā tika konstatēts gaisa plūsmas ātrums 0.8 – 0.9 m/s, kas ir 1.5 – 1.6 reizes vairāk, salīdzinot ar 2019. g. mērījumiem (0.5 – 0.6 m s⁻¹) virs 5,1m augsta graudu slāņa. Taču arī 2020.g. plūsmas ātrums atpaliek no optimālā graudu intensīvai vēdināšanai - 1.2 m/s [1].

Ozona koncentrācija ar rokas instrumentu periodiski tika mērīta ventilatora ieplūdes atverē, virs graudu slāņa un 2m no augšas, atverot 4.3. attēlā parādītās 2m garās graudos vertikāli ievietotās caurules aizbāzni un virs tās, novietojot mērinstrumentu. 2m no augšas ozona koncentrācija bija aptuveni 4 ppm. Ieplūdes atverē koncentrācija bija analogiska kā 2019. g. 15 – 17 ppm, kas pārsniedz plānoto 13 ppm jeb 0,028 g ozona/m³ gaisa. Ozona koncentrācija virs augšējā slāņa vēdināšanas sākumā nav konstatējama, aptuveni pēc divām stundām tā bija 0.1 - 0.3 ppm robežās, augstāka vērtība konstatēta pie sausākiem graudiem. Līdzīgu koncentrāciju rāda arī sensoru sistēmas mērījumi. Kopumā ozona koncentrācija atbilst plānotajai.

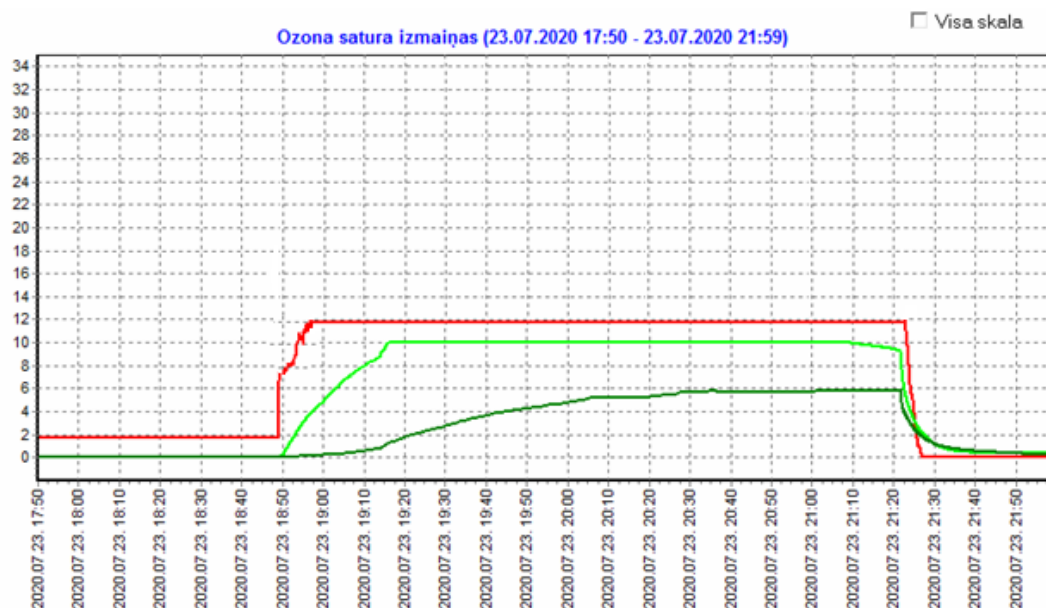
4.4. attēlā parādīti sensoru sistēmas fiksētie rezultāti ozona tvertnē vienas dienas laikā. Vēdināšana uzsākta plkst. 17.55, ozona ģenerators ieslēgts plkst.18.50.



a)



b)



c)

4.4.att. Sensoru sistēmas fiksētie rezultāti ozona tvertnē vienas dienas laikā.

Kā parādīts attēlā 4.4.a, apakšējā slānī (sarkanā līnija) mitrums graudu starptelpā strauji samazinās pēc ventilatora ieslēgšanas, pēc ozona ģeneratora ieslēgšanas turpina kristies pakāpeniski. Līdz ar iekārtu izslēgšanu plkst. 21.25, mitrums atkal strauji pieaug. Nākamajos slāņos izmaiņas ir daudz mazākas (zaļās līnijas). Temperatūras izmaiņas vēdināšanas laikā novērojamas 4 °C robežās (4.4.b. att.), turklāt apakšējā slānī pēc neliela krituma temperatūra pieaug, nākamajos slāņos nedaudz krītas visu vēdināšanas laiku. Šāds temperatūras līkņu izmaiņu raksturs tika novērots arī 2019. gada eksperimentos. Kā parādīts 4.4.c attēlā, ozona koncentrācija strauji pieaug apakšējā slānī (sarkanā līnija), otrajā un trešajā slānī no apakšas (zaļās līnijas) pieaugums ir lēzenāks. Līdz ar iekārtu izslēgšanu ozona koncentrācija strauji krītas.

Salīdzinot 2020. gada eksperimentu rezultātus ar 2019. gada rezultātiem, var secināt, ka šā gada rezultāti pārliecinošāk pierāda ozona pielietošanas lietderību. Kā redzams 4.1 tabulā, jau pēc sešu dienu vēdināšanas ozona tvertnē 1m no tvertnes apakšas graudu mitrums ir par 3% mazāks nekā tvertnē bez ozona padeves, kas ir būtiski. Turpinot aktīvo vēdināšanu un mitrumu samazinot zem kondīcijas mitruma 14% (graudus pārkaltējot), šī starpība samazinās, jo sausos graudos ozons nedod efektu. Arī slānī 2m no tvertnes apakšas graudu mitruma starpība abās tvertnēs ir 1%, gan tikai pēc 12 dienu vēdināšanas. Vismazākā ozonēšanas efektivitāte parādās 3m no tvertnes apakšas - 0.5% graudu mitruma starpība un tikai pēc 15 dienu vēdināšanas, augšējā graudu slānī graudu mitrums ir abās tvertnēs vienāds, jo kā jau minēts, ozona koncentrācija virs graudu slāņa ir niecīga, turklāt augšējā slānī daļēji kondensējas no zemākiem slāņiem iznestais mitrums.

Nemot vērā to, ka apakšējos slāņos graudi ir pārkaltēti, kā arī 2019. gada pieredzi, ka graudu mitruma pazemināšana tvertņu augšdaļā zem 17 – 18% prasītu vēl aptuveni nedēļu ilgu aktīvo vēdināšanu, 12.08. tika pieņemts lēmums aktīvo vēdināšanu pārtraukt un graudus nogādāt pārdošanai. Graudu kvalitātes rādītāji pārdošanas laikā parādīti 2. tabulā.

Rezultātā 13.08. nogādāts pārdošanai 9.98t pārtikas kviešu ar kvalitātes kategoriju B1 un mitrumu 16.9% no ozona tvertnes un 10.14t pārtikas kviešu ar kvalitātes kategoriju B3 un mitrumu 16.7% no tvertnes bez ozona padeves. Rezultāts, ka tvertnē bez ozona padeves konstatēts mazāks graudu mitrums, izskaidrojams ar graudu nepilnīgu sajaukšanos, izlaižot no tvertnes un parauga ņemšanas metodiku pie graudu pārdošanas.

4. 2. tabula

Aktīvi vēdināto graudu kvalitātes rādītāji, nogādājot pārdošanai 13.08.2020.

Tvertne Nr. 1 (ar ozonu)				Tvertne Nr. 2 (bez ozona)			
Produkcija: Kvieši pārtikas (B1) Svērumi:				Produkcija: Kvieši pārtikas (B3) Svērumi:			
Bruto (t)	Tara (t)	Neto (t)	iesk. (t)	Bruto	Tara (t)	Neto (t)	iesk. (t)
20.360	10.380	9.980	9.643	20.560	10.420	10.140	9.822
Kvalitātes rādītāji:							
Mitrums, %		16.9				16.7	
Piemaisījumi, %		0.2				0.2	
Proteīns, %		14.2				13.9	
Krišanas sk.		358.0				357.0	
Lipeklis, %		28.8				28.8	
Tilpummasa, g/l		76.0				74.0	

Vēdināšanai 22.07. - 12.08.2020. tvertnē ar ozona padevi patērēts 246.6 kWh elektroenerģijas, ozona ģeneratora darbināšanai 58.1 kWh, kopā 304.7 kWh, tvertnē bez ozona padeves patērēts 263.1 kWh. Pieņemot vidējo elektroenerģijas cenu 0.151 EUR/kWh [5], tās izmaksa tvertnes ar ozona padevi vēdināšanai ir 46.0 EUR vai 0.70 EUR/t%. Tā kā nepieciešamās jaudas ozona ģeneratora nomas maksa ir 33 EUR/dienā un ģeneratoru būtu lietderīgi darbināt trīs dienas, tad ģeneratora īpatnējā nomas izmaksa būtu 1.51 EUR/t%. Tvertnes bez ozona padeves elektroenerģijas izmaksa vēdināšanai ir 39.7 EUR vai 0.58 EUR/t%. 2019. g. šie rādītāji bija 0.56 EUR/t/% tvertnei ar ozona padevi un 0.48 EUR/t/% tvertnei bez ozona. Salīdzinājumam vidējā pakalpojuma cena graudu kaltēšanai ir 4.08 EUR/t% [6]. Nedaudz lielākas īpatnējās izmaksas 2020. g., salīdzinot ar 2019. g., izskaidrojamas ar to, ka 2020. g. tika vēdināts mazāks graudu daudzums.

Veiktie aprēķini pierāda aktīvās vēdināšanas priekšrocības, salīdzinot ar kaltēšanas kā pakalpojuma izmantošanu. Jāatzīmē gan, ka nepieciešamas vēdināšanas iekārtas un process ir daudz ilgāks, salīdzinot ar tradicionālo kaltēšanu.

Secinājumi par 2020. g. (4.posma) izmēģinājumu saimniecībā rezultātiem

1. Ozona aktīva piesaiste mitros graudos (22-25%) notiek vēdināšanas sākumā un apakšējos graudu slāņos, līdz ar graudu mitruma samazināšanos un slāņa biezuma palielināšanos krītas arī ozona pielietojšanas efekts.
2. Pēc sešu dienu ilgas metru bieža mitru graudu slāņa vēdināšanas ar ozona koncentrāciju 0.028 g ozona/m³ gaisa un īpatnējo gaisa izlietojumu 350 m³/m³ h (kubikmetri gaisa uz kubikmetru graudu stundā) mitrums ir par 3% zemāks nekā graudiem bez ozona piedevas vēdināšanas gaisā, kondīcijas mitrums metru biežā slānī ar ozona piedevu tiek sasniegts par 3 dienām ātrāk nekā bez ozona.

3. Divu metru biezā slānī graudu mitrums pazeminās ievērojami lēnāk un ozona pielietošanas efekts ir mazāks, pēc 12 dienu vēdināšanas mitrums ir 18% graudiem ar ozona piedevu vēdināšanas gaisā un 19% bez ozona.
4. Trīs metru biezā slānī 22 dienu (136 stundu) vēdināšanas laikā mitrums samazinājies tikai attiecīgi par 4.5 un 4.0%, ozona iedarbības rezultāts minimāls.

Kopsavilkums par izmēģinājumu saimniecībā rezultātiem 2019.-2020. gadā (2.un 4. posms)

1. Ozonu ar iepriekš minēto koncentrāciju pie minētā īpatnējā gaisa izlietojuma lietderīgi pielietot graudu aktīvajā vēdināšanā ar slāņa biezumu līdz 1.5m, maksimāli 2m. Pie sākotnējā mitruma 22 – 23% 1m biezā slānī ozona pielietošana dotu kaltēšanas laika saīsināšanu par 3 dienām, 1.5m – par 2 dienām, 2m – par 1 dienu, salīdzinot ar aktīvo vēdināšanu bez ozona pielietošanas.
2. Īpatnējās izmaksas EUR/t/% aktīvajai vēdināšanai ar ozona pielietošanu būtu nedaudz lielākas nekā bez ozona (sadārdzina ozona ģeneratora noma), taču ieguvums būtu saīsinātais kaltēšanas laiks - pie 1m bieža graudu slāņa par 25%, un līdz ar to arī elektroenerģijas ietaupījums.
3. Īpatnējās kaltēšanas izmaksas EUR/t% jebkurā no šiem variantiem būtu mazākas nekā vidējās pakalpojuma cenas, taču kaltēšanas laiks ievērojami ilgāks.
4. Tā kā vertikālās tvertnēs nav racionāli vēdināt 1 – 2m biezu graudu slāni, ozona pielietošana varētu būt lietderīga uz grīdas izvietotās aktīvās vēdināšanas ierīcēs. Šādas tehnoloģijas režīmi un parametri būtu noskaidrojami cita projekta ietvaros.
5. Izstrādātā un tvertnēs uzstādītā sensoru sistēmas strādāja bez atteikumiem, nodrošinot iespēju sekot vēdināšanas režīmiem datorā gan saimniecībā, gan attālināti. Īpaši svarīga ražošanas apstākļos bija iespēja kontrolēt graudu temperatūru tvertnēs pa slāņiem pie augsta graudu sākotnējā mitruma - virs 20 - 21%.
6. Eksperimentu laikā pierādīts, ka izmantojot aktīvo vēdināšanu var sagatavot Ekstra kvalitātes pārtikas graudus, mitrumu pazeminot par 7.0 - 8.0%.

Literatūra:

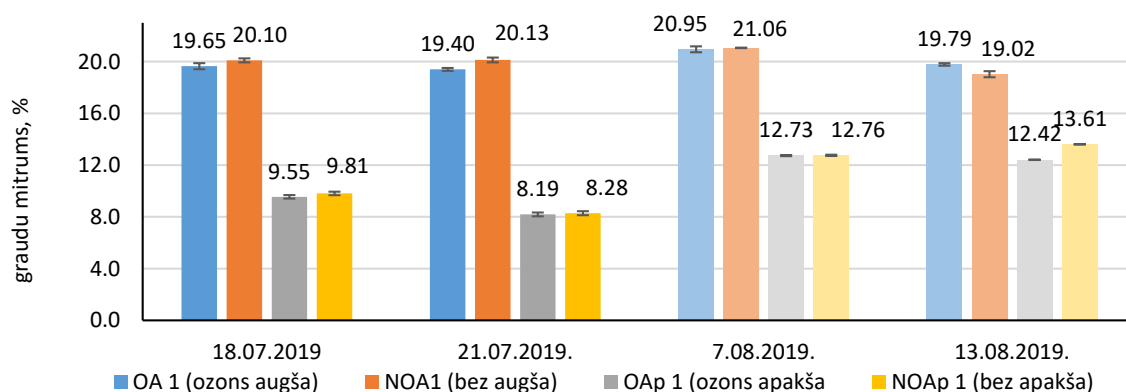
1. E. Bērziņš. Graudu kondicionēšana. 1.–41. lpp, Rīga, Liesma, 1984.
2. Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J., & Donnell, C. P. O. (2010). Application of ozone in grain processing. Journal of Cereal Science, 51(3), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.01.007>
3. Троцкая Т.П. Электроактивирование процессов сушки растительных материалов. Автореферат диссертации доктора технических наук. 32с., Москва, ГАУ, 1998.
4. Granella S. J. et.al. Effect of drying and ozonation process on naturally contaminated wheat seeds. Journal of cereal science 80, 2018, pp. 205 – 211.
[DOI: 10.1016/j.jcs.2018.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.03.003)
5. CSP datubāze Vide un enerģētika. Gada dati. ENG 193 Elektroenerģijas vidējās cenas mājāsaimniecībā EUR/kWh.
6. LLKC. Tehnisko pakalpojumu vidējās cenas Latvijā 2019. g.

5. OZONĒTU GRAUDU BIOĻĢISKO ĪPAŠĪBU UN KVALITĀTES GLABĀŠANAS LAIKĀ NOVĒRTĒŠANA

Atbilstoši projekta laika grafikam graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana veikta pēc 2019. g. un 2020. g. labības novākšanas sezonas, jeb projekta 2. - 3. un 4. - 5. posmā, iegūtie rezultāti aprakstīti 5.1 un 5.2 apakšnodaļā, kopsavilkums par rezultātiem dots nodaļas beigās.

5.1. Graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana 2019.–2020. gadā (2.–3. posms)

Lai noskaidrotu ozona ietekmi uz graudu dīgtspēju, mitrumu, ūdens aktivitāti un mikrobioloģisko drošību, tika veikti eksperimenti – 18.07.2019. un 07.08.2019. tika novākti un ielikti uzglabāšanas tvertnēs kviešu graudi. Tā kā graudi ir dzīvs organisms un tajos arī pēc novākšanas turpinās dažādi bioloģiskie procesi, tad visi eksperimenti, kas saistīti ar ozona ietekmes uz graudu dīgtspēju, tika pārnesti uz vēlāku laika posmu, jo nepieciešams, lai graudi nobriestu. Lai graudus ilglaicīgi uzglabātu, tad nepieciešams nodrošināt tiem optimālu mitrumu (kviešu graudiem ne vairāk kā 14%), kā arī projekta galvenais mērķis ir noskaidrot vai iespējams veikt kviešu graudu kaltēšanu ar ozonu, tad graudu paraugiem, tika noteikts šis rādītājs (5.1.att.). Graudu mitrumam paraugi ņemti no uzglabāšanas tvertņu augšas (OA1 un NOA1) virsējā slānī un tvertņu apakšas (OAp1 un NOAp1). Graudu mitrums noteikts saskaņā ar LVS 272:2000, visi mērījumi veikti trīs atkārtojumos, un atskaitē doti vidējie rādītāji.



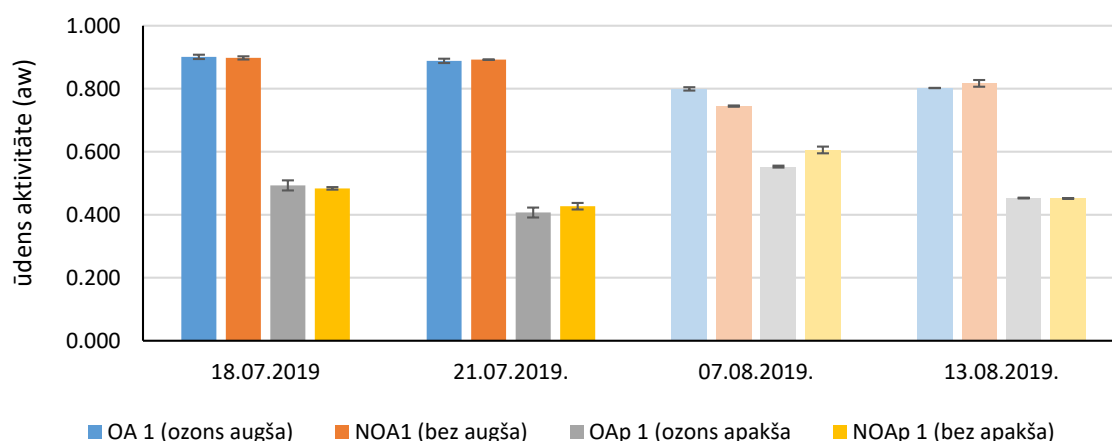
5.1. att. Kviešu graudu mitruma satura izmaiņas uzglabāšanas laikā.

OA1 – ozonēti graudi tvertnes augšā, OAp1 – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA1 – neozonēti graudi tvertnes augšā, NOAp1 – neozonēti graudi tvertnes apakšā

Pirmajā eksperimentu sērijā (18.07.-21.07.2019.) konstatēts, ka nepastāv būtiskas atšķirības ($p > 0.05$) kviešu graudu paraugu mitruma saturā tvertnes augšā, ja ozonēšana veikta četras dienas. Arī ozona izmantošana būtiski neietekmēja kviešu graudu mitruma saturu. Jāatzīmē, ka abās eksperimentu sērijās tika konstatēts, ka ir ļoti liela mitruma atšķirība graudu mitrumā tiem, kuri ir tvertņu augšā un apakšā (līdz 10%). Turpmākajiem eksperimentiem jāņem vērā, ka nepieciešami papildu pasākumi graudu apmaišanai, lai veidotos vienmērīgāks mitruma sadalījums paraugos. Arī ozonēšana (abas eksperimentu sērijās) būtiski neietekmēja mitruma saturu paraugos. Pirmajā eksperimentu sērijā jau 18.07. tvertņu apakšā tika konstatēts ļoti zems mitruma saturs – 8.19% (OAp1) – 9.81% (NOAp1).

Otrajā eksperimentu sērijā (07.08. - 13.08.2019.) tika novērotas līdzīgas tendences kā pirmajā, taču pēc nedēļas netika konstatēts tik zems mitruma saturs kā pirmajā, bet problēma ar lielo mitruma diferencei starp tvertņu augšu un apakšu saglabājās.

Visbiežāk pārtikas produktu un to izejvielu bojāšanos izraisa dažāda veida mikroorganismi. Mikroorganismu attīstībai labvēlīgi apstākļi ir paaugstināts produkta vai izejvielas mitrums, kā arī brīvais ūdens produktā vai izejvielā. 5.2. att. apkopoti eksperimentu rezultāti par ūdens aktivitātes izmaiņām kviešu graudu uzglabāšanas laikā un 5.1. tabulā kopējo mikroorganismu izmaiņas kviešu graudos ar un bez ozonēšanas.



5.2. att. Kviešu graudu ūdens aktivitātes (a_w) izmaiņas uzglabāšanas laikā.

OA1 – ozonēti graudi tvertnes augšā, OAp1 – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA1 – neozonēti graudi tvertnes augšā, NOAp1 – neozonēti graudi tvertnes apakšā.

Kā redzams 5.2. att., tad ozonēšana būtiski neietekmē kviešu graudu ūdens aktivitāti, bet to būtiski ietekmē paraugu ņemšanas vieta – tvertnes augša vai apakša. Visiem paraugiem, kas, ņemti tvertņu augšās, ir ļoti augsta ūdens aktivitāte – <0.800 , kas nozīmē, to, ka ir pietiekami daudz brīvā ūdens, kas viegli pieejams mikroorganismiem. Tas sasaucas ar eksperimentu gaitu (skatīt 5.1. tabulu), kad 18.07. un 21.07. ņemtajiem kviešu graudu paraugiem nebija iespējams pēc piecām dienām noteikt mikroorganismus, jo paraugi bija sabojājušies – sapelējuši. Kviešu graudiem, kas tika paņemti no tvertņu apakšas, neatkarīgi no apstrādes veida, ir zema ūdens aktivitāte ($0.400 - 0.500$).

5.1. tabula

Kopējais mikroorganismu skaits analizētajos kviešu graudu paraugos

Paraugšs	Kopējais mikroorganismu skaits, KVV g ⁻¹			
	18.07.2019	21.07.2019.	07.08.2019.	13.08.2019.
OA 1 (ozons augša)	n.d	n.d.	7994a	2410a
NOA 1 (bez augša)	n.d.	n.d.	18137b	12311b
OAp 1 (ozons apakša)	457	0	5975a	1319a
NOAp 1 (bez apakša)	312	4198	25108b	18894b

OA1 – ozonēti graudi tvertnes augšā, OAp1 – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA1 – neozonēti graudi tvertnes augšā, NOAp1 – neozonēti graudi tvertnes apakšā; n.d. – nav datu; dažādi burti kolonās parāda būtisku atšķirību ($p < 0.05$).

Maksimāli pieļaujamais kopējo mikroorganismu daudzums pārtikas produktos nedrīkst pārsniegt $10 \times 5 \text{ KVV g}^{-1}$.

Kviešu graudi pēc pirmajām veiktajām analīzēm tika atstāti uzglabāšanai istabas temperatūrā līdz analīžu veikšanai. Pētījumiem šajā atskaites periodā netika analizēti kviešu graudu paraugi, kas tika ņemti no tvertņu augšas, jo tie bija ar ļoti augstu mitruma saturu – virs 19%, jo paraugi sāka pelēt un nebija izmantojami turpmākiem pētījumiem. 5.2. tabulā apkopoti dati par kviešu graudu kvalitāti pēc uzglabāšanas.

5.2. tabula

Kviešu graudu kvalitāte pēc graudu uzglabāšanas

Parauga Nr.	Mitrums, %	Olbaltumvielas, g 100 g ⁻¹	Ciete, g 100 g ⁻¹	Lipeklis, %	Krišanas skaitlis, s
NAp*18.07.2019.	11.4	16.4	63.4	36.9	237
OAp**18.07.2019.	11.4	16.0	63.9	36.2	299
NAp21.07.2019.	10.4	16.3	63.2	36.4	264
OAp21.07.2019.	10.2	15.9	64.0	35.6	317
NAp7.08.2019.	11.4	16.2	62.7	34.8	331
OAp7.08.2019.	11.3	16.3	62.7	35.7	345
NAp13.08.2019.	13.9	16.4	63.6	35.5	306
OAp13.08.2019.	13.0	16.3	63.9	36.3	325
N03.02.2020.	14.2	16.0	65.2	35.5	297
O03.02.2020.	14.4	16.1	64.4	35.3	229

* NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; **OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā

Saskaņā ar LR MK noteikumiem Nr. 461 (12.08.214.) Prasības pārtikas kvalitātes shēmām, to ieviešanas, darbības, uzraudzības un kontroles kārtība, kviešiem jāatbilst sekojošām kvalitātes prasībām:

- mitrums – ne vairāk kā 14%;
- olbaltumvielu saturs – ne mazāk kā 12.5%
- krišanas skaitlis – ne mazāk kā 220 s.

Lai kviešu graudus varētu izmantot maizes gatavošanai, būtisks kvalitātes rādītājs ir lipekļa saturs. Minimālais lipekļa saturs, lai pagatavotu labas kvalitātes maizi, ir 28%. Visiem analizētajiem kviešu paraugiem lipekļa saturs ir no 34.8% (NAp 07.08.2019.) līdz 36.9% (NAp 18.07.2019.), kas ir normas robežās.

Olbaltumvielu saturs kviešu graudos var būt robežās no 7 – 20 g 100 g⁻¹, bet optimālais olbaltumvielu saturs maizes cepšanai ir 12 – 14 g 100 g⁻¹. Analizētajiem kviešu graudiem ir salīdzinoši augsts olbaltumvielu saturs – 15.9 – 16.4 g 100 g⁻¹. Netika novērots, ka olbaltumvielu saturu būtiski ietekmētu tas, ka kviešu graudi apstrādāti ar ozonu. Kviešu graudiem, kas paredzēti maizes cepšanai, svarīgs kvalitātes rādītājs ir krišanas skaitlis. Krišanas skaitlis raksturo graudos esošo amilolītisko fermentu (α – un β – amilāžu) aktivitāti un graudos esošās cietes kvalitāti. Graudiem krišanas skaitlis var būt robežās no 60 s (zems, graudi dīguši) līdz 400 s (augsts, fermenti neaktīvi). Optimālais krišanas skaitlis kviešu graudiem, kas paredzēti maizes cepšanai ir 200 – 250 s. Pētījumā izmantotajiem kviešu graudiem konstatēts, ka krišanas skaitlis ir robežās no 229 s (O 03.02.2020.) līdz 345 s (OAp 07.08.2019.).

Analizējot iegūtos rezultātus, var secināt, ka ozonēšana būtiski neietekmē kviešu graudu paraugu kvalitātes rādītājus.

Zinātniskajā literatūrā ir dati par to, ka graudu apstrāde ar ozonu var ietekmēt to dīgtsparu (trīs dienās izdīgušo graudu skaits) un dīgtspēju (piecās dienās izdīgušo graudu skaits). Līdz ar to jau 2019. gada vasarā tika veikta graudiem pārbaude uz to dīgtsparu un dīgtspēju. Graudu dīgtspēja un dīgtspara noteikšanas metodoloģija:

- petrī platē ieliek filtrpapīru;
- saskaita 100 graudus un ieliek sagatavotajā petrī platē;
- uzlej 4 ml krāna ūdens;
- novieto tumšā vietā istabas temperatūrā (22 ± 2 °C).

Tā kā graudi bija tikko nokulti, tad eksperimenta laikā neizdīga neviens grauds – dīgtspars un dīgtspēja 0%. Tas varētu būt saistīts ar to, ka kviešu graudi bija tikko novākti un tiem tīri fizioloģiski nebija spējīgi atkal dīgt. Līdz ar to atskaites periodā tika veiktas atkārtotas analīzes, veicot to dīgtspara un dīgtspējas analīzes (5.3. tabula).

5.3. tabula

Kviešu graudu dīgtspars un dīgtspēja

Parauga Nr.	Izdīgušo graudu skaits, %			
	dīgtspars		dīgtspēja	
NAp*18.07.2019.	93		100	
OAp**18.07.2019.	96		100	
NAp21.07.2019.	88		90	
OAp21.07.2019.	89		100	

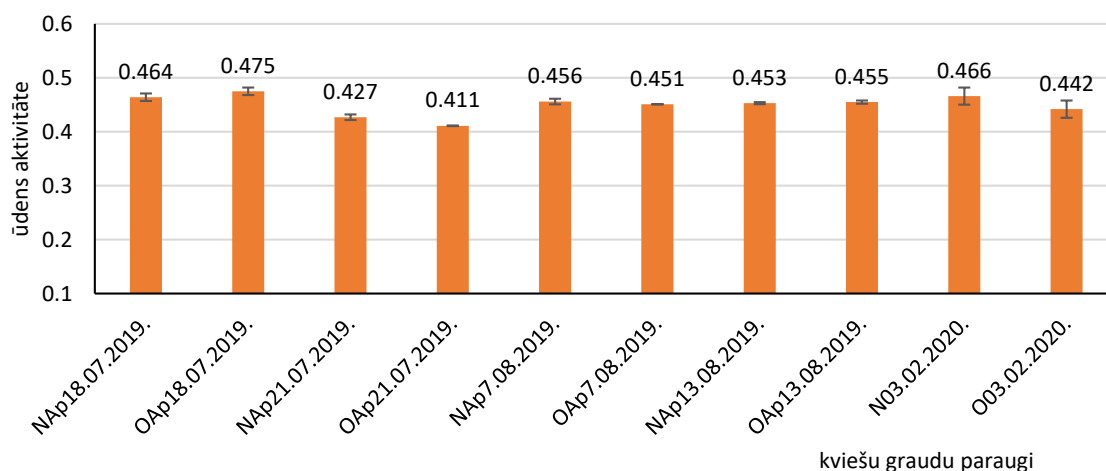
Parauga Nr.	Izdīgušo graudu skaits, %			
	dīgtspars		dīgtspēja	
NAp07.08.2019.	58		82	
OAp07.08.2019.	84		96	
NAp13.08.2019.	25		48	
OAp13.08.2019.	38		75	
N03.02.2020.	37		56	
O03.02.2020.	77		97	

* NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; **OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā.

Dīgtspēja ir svarīgs rādītājs, jo no tā ir atkarīgs tas, cik daudz graudu uz lauka izdīgs un kāda būs raža. Augsta dīgtspēja (virs 90%) tika konstatēta NAp*18.07.2019., OAp**18.07.2019., NAp21.07.2019., OAp 21.07.2019. un O 03.02.2020. paraugiem; vidēja (75 – 89%) – OAp 13.08.2019. un NAp 07.08.2019. un slikta (mazāk par 75%) – N 03.02.2020. un NAp 13.08.2019. Ozonēšana ietekmē graudu dīgtspēju – to iespējams veicināt.

Visiem eksperimentos izmantotajiem kviešu graudiem, kas tika apstrādāti ar ozonu dīgspēja bija augstāka nekā neapstrādātiem.

Pētījumos par ozona izmantošanu dažādiem pārtikas produktiem tiek uzsvērts, ka tas būtiski ietekmē mikroorganismu attīstību. Mikroorganismu attīstību būtiski ietekmē izejvielas / produkta mitrums un ūdens aktivitāte. Ūdens aktivitāte atspoguļo brīvā ūdens aktivitāti pārtikas produktā. Tā ir augsta, ja ir robežās no 0.9–1.0, savukārt sausiem produktiem ūdens aktivitāte var būt 0.4–0.6. 5.3. attēlā apkopota ūdens aktivitāte kviešu graudiem pēc uzglabāšanas. Kviešu graudi tika uzglabāti sausās telpās, tad to ūdens aktivitāte ir 0.411–0.466, kas norāda, ka tā ir ar zemu brīvo brīvā ūdens aktivitāti graudos.



5.3. attēls Kviešu graudu ūdens aktivitāte pēc uzglabāšanas.

* NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; **OPAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā

5.4. tabula

Kopējo mikroorganismu izmaiņas uzglabāšanas laikā

Parauga Nr.	Kopējais mikroorganismu skaits, KVV g ⁻¹	
	tūlīt pēc novākšanas	pēc uzglabāšanas
NAp 18.07.2019.	n.d	231
OPAp 18.07.2019.	n.d	n.d
NAp 21.07.2019.	n.d	300
OPAp 21.07.2019.	n.d	n.d.
NAp 07.08.2019.	5415	9861
OPAp 07.08.2019.	3965	2759
NAp 13.08.2019.	2943	5842
OPAp 13.08.2019.	284	250
N0 03.02.2020.	–	555
O0 03.02.2020.	–	234

* * NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; **OPAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā

Kviešu maizes kontrolcepienam izmantotas sekojošas izejvielas:

1. pilngraudu kviešu milti – 300 g;
2. sāls – 3 g;
3. sausais maizes raugs – 5 g;
4. ūdens – 250 ml.

Kontrolcepienos netika mainīts ūdens daudzums, lai varētu redzēt, kā tas ietekmēs mīklas un maizes īpašības. Kviešu maizes kontrolcepiens veikts sekojošos tehnoloģiskajos parametros:

1. mīklas mīcīšanas laiks – 8 min (3 min – lēni un 5 min – ātri)
 2. raudzēšanas laiks – 20 min;
 3. mīklas dalīšana – mīklas gabala masa – 251 ± 1 g;
 4. mīklas pēc raudzēšana – 30 min; 37 ± 1 °C temperatūrā un 80 – 85% relatīvajā gaisa mitrumā pēcraudzēšanas kamerā;
 5. cepšana rotācijas tipa krāsnī – 15 min; cepšanas temperatūra – 190 – 210 °C temperatūrā; tvaiks sākumā – 3 s.
- 5.5. tabulā apkopts kviešu maizes kontrolcepienu raksturojums.

5.5. tabula

Kviešu graudu kontrolcepiena kopsavilkums

Parauga Nr.	Paraugu raksturojums			
NAp*18.07.2019.				mīkla mazliet cieta, bet viegli veidojama; mīkla pēcraudzēšanas kamerā izskatījās labi uzrūgusi un stabili struktūru, taču krāsnī maizes virsma iekrita; maizes mīkstumā izteiktas poras.
OAp**18.07.2019.				maizes forma izteikta; maizes mīkstums ar viemērīgā porām.
NAp21.07.2019.				mīkla pēcraudzēšanas kamerā izskatījās labi uzrūgusi un stabili struktūru, taču krāsnī maizes virsma iekrita; lielas, nevienmērīgas poras.
OAp21.07.2019.				maizes forma izteikta; maizes mīkstums mazliet ķepīgs ar neizteiktu porainību.
NAp7.08.2019.				

Parauga Nr.	Paraugu raksturojums			
OAp7.08.2019.				
NAP13.08.2019.				maizes forma vienmērīga, bet neizteikta;
OAp13.08.2019.				neizteikta porainība; maizes mīkstums ķepīgs.
N03.02.2020.				maizes forma izteikta;
O03.02.2020.				maizes mīkstums mazliet ķepīgs ar neizteiktu porainību.

*NAP – neozonēti graudi tvertnes apakšā; **OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā

Izvērtējot iegūtos kontrolcepiena rezultātus, var secināt, ka ozonēšana būtiski nav ietekmējusi kviešu graudu cepamīpašības. Maizes paraugi, kas gatavoti no 07.08. un 13.08.2019. ņemtajiem kviešu graudiem, ir ar ķepīgu maizes mīkstumu un neizteiktām porām. Tas varētu būt saistīts ar to, ka paraugiem ir augsts krišanas skaitlis un mīklai bija nepieciešams pievienot lielāku ūdens daudzumu, kas nodrošinātu labvēlīgākus apstākļus fermentu darbībai.

Maizes cepšanā būtiski ir iekļaut aprēķinos zudumus, kas rodas maizes cepšanas laikā, nocepumu. Atkarībā no maizes masas, cepšanas veida un temperatūras maizes nocepums var būt 6–10%.

Eksperimentos izmantoto kviešu graudu nocepums ir sekojošs:

1. NAP 18.07.2019. – 9.59% un OAp 18.07.2019. – 9.55% ($p>0.05$);
2. NAP 21.07.2019. – 8.39% un OAp 21.07.2019. – 8.00% ($p>0.05$);
3. NAP 07.08.2019. – 8.42% un OAp 07.08.2019. – 8.74% ($p>0.05$);
4. NAP 13.08.2019. – 4.04% un OAp 13.08.2019. – 4.54% ($p>0.05$);
5. N0 03.02.2020. – 9.00% un O 03.02.2020. – 9.32% ($p>0.05$).

Ja uz kviešu maizes nocepuma rezultātiem skatās vai to ietekmējis, graudu apstrāde ar ozonu, tad jāsecina, ka to būtiski neietekmē.

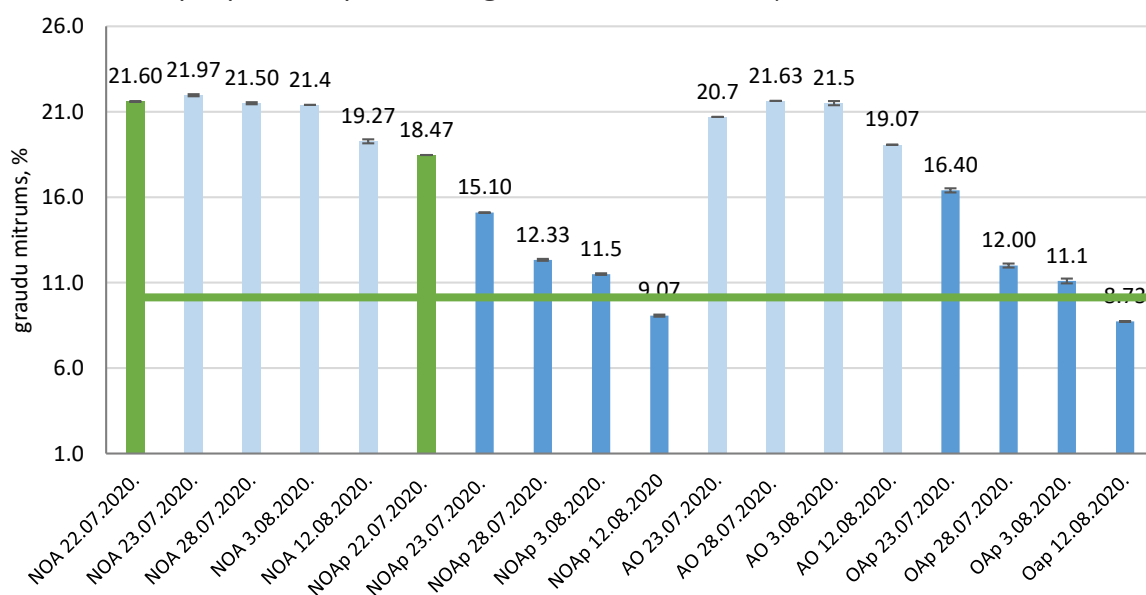
Taču būtiski mazāks nocepums tika konstatēts divas reizes mazāks nocepums nekā pārējiem paraugiem, kas var būt saistīts ar to, ka maizes kukulītis bija mazāka tilpuma.

5.2. Graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšana 2020.–2021. gadā (4.–5. posms)

Šajā pētījuma posmā saglabāta iepriekšējā gadā izveidotā shēma, ka graudu paraugi bioloģisko īpašību un kvalitātes novērtēšanai glabāšanas laikā tiek ņemti tvertnes augšā (A) un apakšā (Ap). Kviešu graudiem veiktas visas paredzētās analīzes (mitrums, ūdens aktivitāte, olbaltumvielu, cietes un lipekļa saturs un mikrobioloģiskās) attiecīgajā dienā pēc graudu paraugu paņemšanas. Diemžēl kviešu graudu paraugiem, kuriem mitruma saturs bija virs 15%, nebija iespējams noteikt graudu dīgtsparu, dīgtspēju un cepamīpašības, jo tie nebija saglabājami un sabojās. Kā zināmu dīgtspējas un dīgtspara noteikšanu var veikt ne ātrāk kā mēnesi pēc graudu nokulšanas.

5.2.1. Graudu fizikāli – ķīmisko parametru analīze

5.4. attēlā apkopoti dati par kviešu graudu mitruma izmaiņām kaltēšanas laikā.



5.4.attēls Analizēto kviešu graudu mitrums, %.

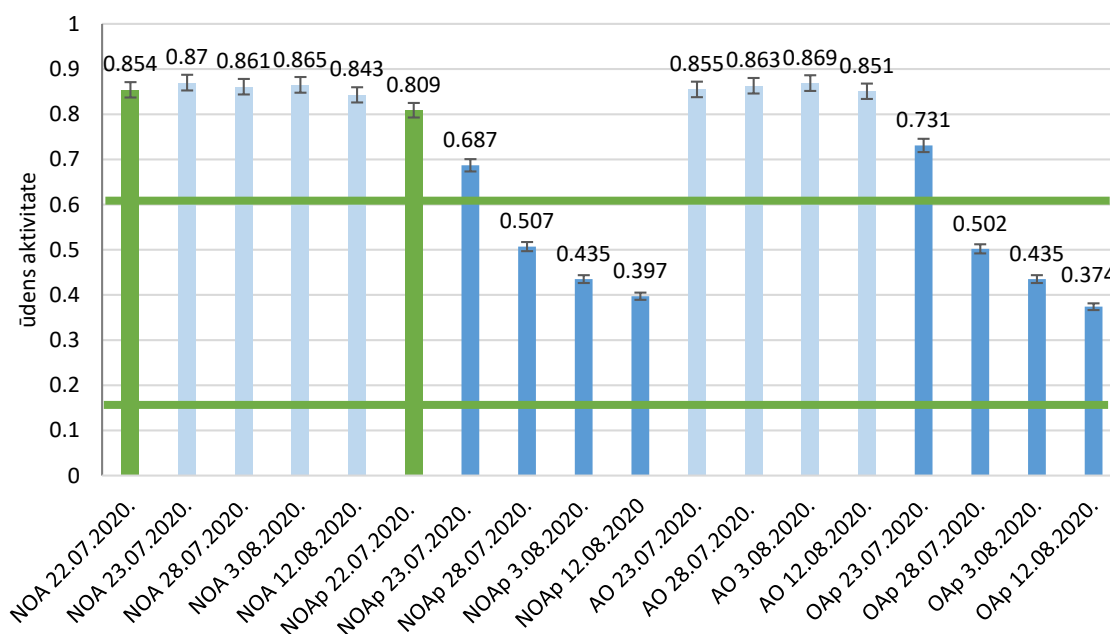
* NOAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA – neozonēti graudi tvertnes augšā, AO.

Analizēto kviešu graudu mitrums tūlīt pēc novākšanas ir ļoti augsts – $21.60 \pm 0.06\%$ (5.4. att.). Pētījuma analīžu rezultāti parāda, ka kviešu graudu paraugu ar ozonu un bez ozona, kas ņemti no tvertnes augšas visu pētījuma laiku ir augsts mitruma saturs ($21.60 \pm 0.06\%$ - paraugs NOA 22.07.2020. – $19.27 \pm 0.12\%$ - paraugs NOA 12.08.2020.). Kviešu graudus, kas ir ar mitruma saturu, kas augstāks par 15% ir neiespējams uzglabāt ilglaicīgi, jo paaugstinātais mitruma saturs ir labvēlīga vide, lai notiktu graudu bojāšanās vai to sakaršana. Visiem analizētajiem paraugiem, kas ņemti no tvertņu augšas (bez ozona (NO) un ar ozonu (O)), mitrums arī kaltēšanas pēdējā dienā ir augsts – virs 19.0%. Savukārt kviešu graudu paraugiem, kas ņemti no tvertņu apakšās, vienas dienas kaltēšanas laikā mitrums ir būtiski samazinājies.

Vienas nedēļas laikā analizēto kviešu graudu mitrums ir būtiski samazinājies un ir zem 14%, kas ir optimāls, lai graudus uzglabātu. Jāatzīst, ka kviešu graudiem, kas analizēm ņemti no tvertņu apakšas, mitruma saturs kaltēšanas beigās ir salīdzinoši zems – $9.07 \pm 0.06\%$ (NOAp 12.08.2020.) un $8.73 \pm 0.14\%$ (OAp 12.08.2020.), kas varētu ietekmēt graudu cepamīpašības. Arī šī gada pētījumā ir konstatēta tāda pati tendence kā pagājušajā gadā, ka ir ļoti liela mitruma atšķirība (līdz 10%) graudu mitrumā tiem, kuri ir tvertņu augšā un apakšā.

Kā redzams 4.2. tabulā, kas raksturo graudu mitrumu kaltēšanas beigās - nogādājot realizācijai, tad, ja kviešu graudi tiek sajaukti, iepildot tos transportlīdzeklī, to vidējais mitrums ir 16.7 – 16.9%. Tas nozīmē, ka būtu nepieciešami papildu pasākumi graudu sajaukšanai jau kaltēšanas laikā, lai veidotos vienmērīgāks mitruma sadalījums paraugos visā kaltēšanas laikā.

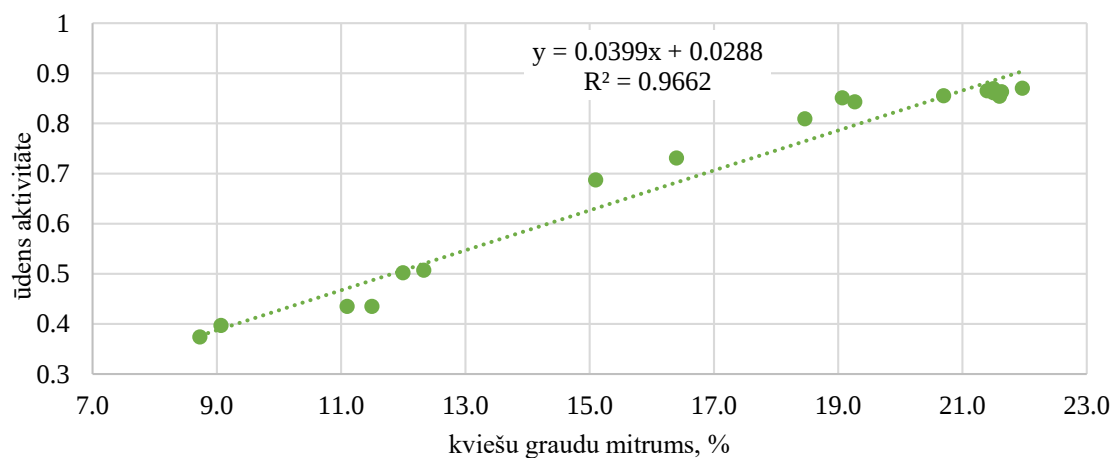
5.5. attēlā apkopota informācija par kviešu graudu ūdens aktivitātes izmaiņām kaltēšanas laikā ar vai bez ozona.



* NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA – neozonēti graudi tvertnes augšā, AO – ozonēti graudi tvertnes augšā

5.5.attēls Analizēto kviešu graudu ūdens aktivitāte.

Analizējot pētījumā iegūtos rezultātus, var secināt, ka ozonēšana būtiski neietekmē ($p > 0.05$) kviešu graudu ūdens aktivitāti, bet to būtiski ietekmē ($p < 0.05$) paraugu ņemšanas vieta – tvertnes augšā vai apakšā. Visiem analizētajiem paraugiem, kas ņemti no tvertņu augšas (bez ozona (NO) un ar ozonu (O)), ūdens aktivitāte arī kaltēšanas pēdējā dienā ir augsta – virs 0.800 un tā būtiski nemainās uzglabāšanas laikā. Savukārt kviešu graudu paraugiem, kas ņemti no tvertņu apakšas, vienas dienas kaltēšanas laikā ūdens aktivitāte būtiski ir mainījusies – no 0.809 līdz 0.687 tvertnē bez ozona un 0.731 – tvertnē ar ozonu (skat.5.5. att.) Vienas nedēļas laikā analizēto kviešu graudu ūdens aktivitāte ir būtiski samazinājusies un ir zem 0.600, kas liecina par to, ka šāda vide ir mazāk labvēlīga dažādu mikroorganismu attīstībai.



5.6.attēls Korelācija starp kviešu graudu mitrumu un ūdens aktivitāti.

Analizējot iegūtos datus, var secināt, ka pastāv cieša lineāra korelācija ($r=0.983$) starp kviešu graudu mitrumu un ūdens aktivitāti – jo zemāks graudu mitruma saturs, jo zemāka to ūdens aktivitāte.

5.2.2. Graudu mikrobioloģisko rādītāju analīze uzglabāšanas laikā

5.6. tabulā apkopoti rezultāti par kopējo mikroorganismu skaita (MAFAM) un pelējumu un raugu izmaiņām kviešu graudos kaltēšanas laikā.

5.6. tabula

Mikrobioloģisko rādītāju izmaiņas kaltēšanas laikā

Paraugi	MAFAM, KVV 1 g ⁻¹	Pelējumi, raugi KVV 1 g ⁻¹
NOA 22.07.2020.	6070	8010
NOA 23.07.2020.	7413	7964
NOA 28.07.2020.	7523	7363
NOA 03.08.2020.	8523	7200
NOA 12.08.2020.	10523	7533
NOAp 22.07.2020.	11473 ¹	8010
NOAp 23.07.2020.	9467	6939
NOAp 28.07.2020.	6930	6270
NOAp 03.08.2020.	6150	4857
NOAp 12.08.2020.	4150	2190
AO 23.07.2020.	8083	5083
AO 28.07.2020.	6453	8651
AO 03.08.2020.	4453	518
AO 12.08.2020.	3453	543
OAp 23.07.2020.	7767	6787
OAp 28.07.2020.	4553	663
OAp 03.08.2020.	1219	455
Oap 12.08.2020.	387	198

* NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA – neozonēti graudi tvertnes augšā, AO – ozonēti graudi tvertnes augšā.

¹ Šeit varētu būt augstais mikroorganismu skaits, jo paraugi tika analizēti pēc nedēļas – augstais mitruma saturs un apkārtējie apstākļi to varēja ietekmēt.

Tā kā maksimāli pieļaujamais kopējo mikroorganismu daudzums pārtikas produktos nedrīkst pārsniegt $10 \times 5 \text{ KVV g}^{-1}$, tad pēc pētījumā iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka analizētajos kviešu graudos kopējais mikroorganismu daudzums nepārsniedz pieļaujamās normas, bet graudu ozonēšana var būtiski samazināt kopējo mikroorganismu daudzumu.

5.2.3. Graudu ķīmiskā sastāva izmaiņas uzglabāšanas laikā

5.7. tabulā apkopta informācija par kviešu graudu kvalitātes rādītājiem.

5.7.tabula

Graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes novērtējums

Kviešu graudu paraugs	Olbaltumvielas, %	Lipeklis, %	Ciete, %
NOA 22.07.2020.	13.67	25.03	68.73
NOA 23.07.2020.	13.57	24.30	68.90
NOA 28.07.2020.	13.73	25.23	68.83
NOA 3.08.2020.	13.60	24.70	69.00
NOAp 22.07.2020.	13.73	27.37	67.73
NOAp 23.07.2020.	14.87	31.00	65.53
NOAp 28.07.2020.	14.00	30.07	65.33
NOAp 3.08.2020.	13.80	28.90	65.10
NOAp 12.08.2020.	13.93	30.10	65.66
AO 23.07.2020.	13.77	25.47	68.33
OA 28.07.2020.	13.83	25.17	68.50
OA 3.08.2020.	13.80	25.70	68.90
OA 12.08.2020.	13.28	25.56	68.08
OAp 23.07.2020.	13.80	28.80	67.07
OAp 28.07.2020.	13.63	29.20	65.57
OAp 3.08.2020.	13.60	28.70	65.40
OAp 12.08.2020.	13.59	28.76	65.36

* NAp – neozonēti graudi tvertnes apakšā; OAp – ozonēti graudi tvertnes apakšā, NOA – neozonēti graudi tvertnes augšā, AO – ozonēti graudi tvertnes augšā

Nepieciešamais olbaltumvielu jeb proteīna saturs kviešu graudos var būt robežās no 7–20%, bet optimālais saturs maizes cepšanai ir 12–14%. Kviešu graudos olbaltumvielu saturs ir robežās, lai tos uzskatītu par atbilstošiem maizes cepšanai. Olbaltumvielu saturu kviešu graudos būtiski neietekmēja ($p > 0.05$) ne tas, no kurienes paraugs paņemts – tvertnes augša vai apakša, ne kaltēšanas laiks. Tādas pašas tendences novērotas arī ar kviešu graudos noteikto cietes saturu. Līdz ar to var secināt, ka kviešu graudu apstrāde ar ozonu būtiski neietekmē ($p > 0.05$) olbaltumvielu un cietes saturu.

Lai kviešu graudus varētu izmantot maizes gatavošanai, būtisks kvalitātes rādītājs ir lipekļa saturs. Minimālais lipekļa saturs, lai pagatavotu labas kvalitātes maizi, ir 23%. Analizētajiem kviešu paraugiem lipekļa saturs visos paraugos ir vairāk par 23%, līdz ar to tie atbilst labas kvalitātes graudiem, ko iespējams izmantot maizes ražošanai.

Kopsavilkums par graudu bioloģisko īpašību un kvalitātes glabāšanas laikā novērtēšanas rezultātiem 2019.–2021. gadā (2.–5. posms)

1. Kviešu graudu apstrāde ar ozonu, kāda tā tika veikta šajā pētījumā, būtiski neietekmē olbaltumvielu, cietes un lipekļa saturu graudos un līdz ar to arī maizes cepamīpašības, un tie atbilst labas kvalitātes graudiem, ko iespējams izmantot maizes ražošanai.
2. Analizētajos kviešu graudos kopējais mikroorganismu daudzums nepārsniedza pieļaujamās normas. Taču graudu apstrāde ar ozonu arī šādā gadījumā būtiski samazina mikroorganismu, pelējumu un raugu saturu glabājamajos graudos.
3. Ozonēšana ietekmē graudu dīgtspēju, to veicinot. Visiem eksperimentos izmantotajiem kviešu graudiem, kas tika apstrādāti ar ozonu, dīgtspēja bija augstāka nekā neapstrādātiem.
4. Turpmāk būtu aktuāli veikt plašākus pētījumus par ozona apstrādes ietekmi uz graudu dīgtspēju, jo literatūrā par šo jautājumu ir pretrunīgi viedokļi un šā pētījuma apjoms nav pietiekošs secinājumu 3.punktā minētā apgalvojuma plašai popularizēšanai.

6. ZIŅOJUMU UN PUBLIKĀCIJU SAGATAVOŠANA

Par projekta rezultātiem sagatavotas un publicētas piecas zinātniskas publikācijas, sagatavotas un publicētas četras populārzinātniskas publikācijas. Nolasīti pieci referāti starptautiskās zinātniskās konferencēs. Par projekta gala rezultātiem ziņots graudu audzētājiem noslēguma seminārā - lauku dienā. Publikācijas un referātus apliecinošu dokumentu kopijas pievienotas attiecīgo posmu pārskatiem.

6.1. Nolasītie referāti starptautiskās zinātniskās konferencēs:

1. J. Kleperis, A. Kristins, J. Veinbergs, I. Gvardina, Daini. Viesturs, A. Rucins, E. Straumite, B.Sloka, J. Bruveris. Application of ozone in grain drying: autonomous sensor system construction and peculiarities. /The 9th international scientific conference "Rural Development 2019: Research and innovation for bioeconomy", Kaunas, Lithuania, 26 - 28 September, 2019. Aleksandras Stulginskis University, Ministry of Agriculture of the Republic of Lithuania. Kaunas. Referents J. Kleperis.
2. A. Rucins, D. Viesturs, A. Kristins, J.Bruveris. Investigations in intensification of grain drying by active ventilation applying ozone. /19th International scientific conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 20 - 22, 2020 [elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Referents A. Ruciņš.
3. E. Straumite, A. Rucins, D. Viesturs, J. Kleperis, A. Kristins. Evaluation of ozone influence on wheat grain quality during active drying. / 12th International conference Biosystems Engineering, Tartu, Estonia, May 5-7, 2021. Referente E.Straumite
4. A. Rucins, E. Straumite, D. Viesturs, A. Kristins. Investigations in ozone application for active ventilation of grain/20th International scientific conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 27 - 28, 2021 [elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Referents A. Ruciņš.
5. A. Rucins, E. Straumite, D. Viesturs, A. Kristins. Studies of the possibilities to use ozone for the grain storage. / 13th International Scientific Practical Conference "Environment. Technology. Resources". Rezekne, Latvia, June 17-18, 2021, Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Engineering. Referente E.Straumite

6.2. Publicētās zinātniskās un populārzinātniskās publikācijas:

1. J. Kleperis, A. Kristins, J. Veinbergs, I. Gvardina, D. Viesturs, A. Ruciņš, E.Straumite, B.Sloka, J. Bruveris (2019) Application of ozone in grain drying: autonomous sensor system construction and peculiarities. In: *Proceedings of the 9th international scientific conference "Rural Development 2019: Research and innovation for bioeconomy"*, Kaunas, Lithuania, 26 – 28 September, Aleksandras Stulginskis University, Ministry of Agriculture of the Republic of Lithuania. Kaunas, 2019. 34–39pp, Article DOI: <http://doi.org/10.15544/RD.2019.029>
2. Rucins, D. Viesturs, A. Kristins, J. Bruveris (2020) Investigations in intensification of grain drying by active ventilation applying ozone. In: 19th International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings, Jelgava, Latvia, May 20 - 22, 2020 [elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava, 2020. Vol. 19, 231 – 237 pp. ISSN 1691-5976.

<http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2020/Papers/TF057.pdf> ,

[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088425109&doi=10.22616%2FERDev2020.19.TF057&partnerID=40&md5=235ffcb768ce15c0930470bc8dc8f952)

[85088425109&doi=10.22616%2FERDev2020.19.TF057&partnerID=40&md5=235ffcb768ce15c0930470bc8dc8f952](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088425109&doi=10.22616%2FERDev2020.19.TF057&partnerID=40&md5=235ffcb768ce15c0930470bc8dc8f952)

3. A. Rucins, E. Straumite, D. Viesturs, A. Kristins (2021) Investigations in ozone application for active ventilation of grain. In: *20th International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings*, Jelgava, Latvia, May 26 - 28, 2021.

[elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava, 2021. Vol. 20, 386 - 392 pp.

<http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2021/Papers/TF080.pdf>

4. Rucins, E. Straumite, D. Viesturs, A. Kristins. Studies of the possibilities to use ozone for the grain storage. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. May 17. - 18. 06. 2021. Volume 3, 304 – 309.

<https://doi.org/10.17770/etr2021vol3.6519>

5. E. Straumite, A. Rucins, D. Viesturs, J. Kleperis, A. Kristins (2021) Evaluation of ozone influence on wheat grain quality during active drying. *Agronomy Research*, Vol. 19 (S3), p. 1308–1317.

<https://doi.org/10.15159/AR.21.053>

Populārzinātniskās publikācijas

1. D. Viesturs, A. Rucins, A. Kristiņš, J. Brūveris, S. Cēsnieks. Par eksperimentiem graudu aktīvajā vēdināšanā, lietojot ozonu. Žurnāls "Saimnieks LV" Nr.3 (189), aprīlis 2020, 64.–65. lpp., (populārzinātnisks raksts).

2. D. Viesturs, A. Ruciņš, A. Kristiņš, S. Cēsnieks. Graudu aktīvā vēdināšana, izmantojot ozonu. Žurnāls "Saimnieks LV" Nr.3 (201), aprīlis 2021, 90.–92. lpp., (populārzinātnisks raksts).

3. LLU inženieri eksperimentē un graudu kaltēšanā pielieto ozonu. Publikācija EIP tīklā, publicēta LLU interneta vietnē 23.03. 2020.

[https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5b-](https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5b-EjrbxAhXlsYsKHY_bDf8QFjAAegQIBxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.llu.lv%2F%2Ffraksts%2F2021-03-08%2Fllu-inzenieri-eksperimente-un-graudu-kaltesana-pielieto-ozonu&usg=AOvVaw2eS40-IXqf2tgYZxu8mzN)

[EjrbxAhXlsYsKHY_bDf8QFjAAegQIBxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.llu.lv%2F%2Ffraksts%2F2021-03-08%2Fllu-inzenieri-eksperimente-un-graudu-kaltesana-pielieto-ozonu&usg=AOvVaw2eS40-IXqf2tgYZxu8mzN](https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5b-EjrbxAhXlsYsKHY_bDf8QFjAAegQIBxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.llu.lv%2F%2Ffraksts%2F2021-03-08%2Fllu-inzenieri-eksperimente-un-graudu-kaltesana-pielieto-ozonu&usg=AOvVaw2eS40-IXqf2tgYZxu8mzN)

4. Graudu kaltēšanā pielieto ozonu. Publikācija Valsts Lauku tīklā, publicēta Valsts Lauku tīkla interneta vietnē 27.03. 2020.

[https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5b-](https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5b-EjrbxAhXlsYsKHY_bDf8QFjABegQIBBAD&url=http%3A%2F%2Fwww.laukutikls.lv%2Fnozares%2Flauku-telpa%2Ffraksti%2Fgraudu-kaltesana-pielieto-ozonu&usg=AOvVaw3DqZHNRo-wGo5DgB2ru4Sx)

[EjrbxAhXlsYsKHY_bDf8QFjABegQIBBAD&url=http%3A%2F%2Fwww.laukutikls.lv%2Fnozares%2Flauku-telpa%2Ffraksti%2Fgraudu-kaltesana-pielieto-ozonu&usg=AOvVaw3DqZHNRo-wGo5DgB2ru4Sx](https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5b-EjrbxAhXlsYsKHY_bDf8QFjABegQIBBAD&url=http%3A%2F%2Fwww.laukutikls.lv%2Fnozares%2Flauku-telpa%2Ffraksti%2Fgraudu-kaltesana-pielieto-ozonu&usg=AOvVaw3DqZHNRo-wGo5DgB2ru4Sx)

Ziņojumi

1. Projekta noslēguma seminārs Graudaugu mēslošana un inovatīvas tehnoloģijas graudu kaltēšanā. ZS "Kadiķi M.A.", Mālupe, Mālupe pagasts, Alūksnes novads 29.06.2021. prezentēti Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai (ELFLA) pasākumā "Sadarbība" projekta Nr. 18-00-A01620-000003 "Tehnoloģijas izstrāde graudu kaltēšanai ar aktīvo vēdināšanu pielietojot ozonu" ietvaros sasniegtie rezultāti.

7. KOPSAVILKUMS PAR PROJEKTA REZULTĀTIEM

Projekta darbības laiks 01.11.2018. – 30.06.2021. (pagarināts par diviem mēnešiem sakarā ar ilgstoši pastāvējušo ārkārtas situāciju). Ar Lēmuma par projekta piešķiršanu 4. pielikumā noteikto un kalendāro plānu projekts sadalīts piecos posmos pa sešiem mēnešiem. Katra posma noslēgumā sagatavots un iesniegts LAD Pārskats par posmā veiktajām darbībām, kopā 5 pārskati, kā arī Atskaite – kopsavilkums par projekta rezultātiem.

Izstrādāta un pārbaudīta zemnieku saimniecībā “Mazkalniņi” tehnoloģija graudu ar sākotnējo mitrumu līdz 22 – 23% kaltēšanai ar aktīvo vēdināšanu pie īpatnējā gaisa izlietojums $350 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ h}$ – gaisa kubikmetri uz 1 m^3 graudu stundā, pielietojot ozonu ar koncentrāciju $0.028 \text{ g ozona}/\text{m}^3 \text{ gaisa}$, kas ļauj saīsināt kaltēšanas laiku un līdz ar to samazināt elektroenerģijas patēriņu, kā arī nodrošina graudu kvalitatīvu saglabāšanu.

Svarīgākās projekta izpildes gaitā gūtās praktiski izmantojamās atziņas un citi sasniegumi:

- ozona aktīva piesaiste mitros graudos (22 – 23%) notiek vēdināšanas sākumā un apakšējos graudu slāņos, līdz ar graudu mitruma samazināšanos un slāņa biezuma palielināšanos krītas arī ozona pielietošanas efekts;
- ozonu ar minēto koncentrāciju un vēdināšanas parametriem lietderīgi pielietot graudu ar sākotnējo mitrumu līdz 22 – 23% aktīvajā vēdināšanā ar slāņa biezumu līdz 1.5m, maksimāli 2m. Ozona pielietošana 1m biezā slānī dod kaltēšanas laika saīsināšanu par 3 dienām, 1.5m – par 2 dienām, 2m – par 1 dienu, salīdzinot ar aktīvo vēdināšanu bez ozona pielietošanas;
- izstrādātā un tvertnēs uzstādītā sensoru sistēmas strādāja bez atteikumiem, nodrošinot iespēju sekot temperatūrai, mitrumam un ozona koncentrācijai tvertnēs pa slāņiem, gan saimniecībā, gan attālināti datorā. Īpaši svarīga ražošanas apstākļos bija iespēja kontrolēt graudu temperatūru tvertnēs pa slāņiem pie augsta graudu sākotnējā mitruma;
- eksperimentu laikā pierādīts, ka, izmantojot aktīvo vēdināšanu, var sagatavot Ekstra kvalitātes pārtikas graudus, mitrumu pazeminot par 7.5 – 8.0%;
- glabātajos kviešu graudos kopējais mikroorganismu daudzums nepārsniedza pieļaujamās normas, taču graudu apstrāde ar ozonu arī šādā gadījumā būtiski samazināja mikroorganismu, pelējumu un raugu saturu glabātajos graudos, nodrošinot graudu kvalitatīvu saglabāšanu;
- kviešu graudu apstrāde ar ozonu, kāda tā tika veikta šajā pētījumā, būtiski neietekmē olbaltumvielu, cietes un lipekļa saturu graudos un līdz ar to arī maizes cepamīpašības, un tie atbilst labas kvalitātes graudiem, ko iespējams izmantot maizes ražošanai;
- ozonēšana ietekmē graudu dīgtspēju, to veicinot, visiem eksperimentos izmantotajiem kviešu graudu paraugiem, kas tika apstrādāti ar ozonu, dīgtspēja bija augstāka nekā neapstrādātiem, taču eksperimentu apjoms nopietnu secinājumu izdarīšanai nepietiekošs.