

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte  
Latvia University of Life Sciences and Technologies  
Lauksaimniecības fakultāte  
Faculty of Agriculture



Latvijas  
Biozinātņu un  
tehnoloģiju  
universitāte

Mg. geogr. Ilze Dimante 

## KARTUPEĻU SĪKBUMBUĻU AUDZĒŠANAS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAS IESPĒJU IZVĒRTĒJUMS

### ***EVALUATION OF POSSIBILITIES TO INCREASE EFFICIENCY OF POTATO MINITUBER PRODUCTION***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS  
zinātnes doktora (Ph.D.) grāda iegūšanai  
lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnēs, mežzinātnē

*SUMMARY*  
*of the Doctoral Thesis for the doctoral degree Doctor of Science (Ph.D.)*  
*in Agriculture, Forestry and Fisheries Sciences*

Jelgava  
2022

**Darba zinātniskā vadītāja / Scientific supervisor:** Dr.agr. Zinta Gaile

**Darba recenzenti / Reviewers:** Dr.biol. Ina Alsiņa  
Dr. agr. Gunita Bimšteine  
Dr. agr. Līga Lepse

**Promocijas darba aizstāvēšana** paredzēta Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnes, mežzinātne ar specializāciju “Lauksaimniecība” Promocijas padomes atklātajā sēdē 2022. gada 16. decembrī plkst. 10.00, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātē, 123. auditorijā, Lielā ielā 2, Jelgavā

*The defence of Thesis will held in open session of the Promotion Board in Field of Agriculture and Fisheries Sciences, Forest science with specialization “Agriculture” on month x, 2022 at x in room 123, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Liela Street 2, Jelgava.*

**Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu** var iepazīties Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgava.

*The thesis and summary are available at the Fundamental Library of Latvia University of Life sciences and Technologies, Liela Street 2, Jelgava.*

**Atsauksmes lūdzu sūtīt** Lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnes, mežzinātnes ar specializāciju “Lauksaimniecība” promocijas padomes sekretārei Dr. sc. ing. Ingrīdai Augšpolei, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001.

*References are welcome to be sent to Dr. sc. ing. Ingrīda Augšpole, the Secretary of the Promotion Board in Field of Agriculture and Fisheries Sciences, Forest science with specialization “Agriculture”, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Liela Street 2, Jelgava, LV-3001.*

**Darba pabeigšanu atbalstīja** ESF projekts Nr. 8.2.2.0/20/I/001 „LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeļi”

*The completion of the work was supported by the ESF project No. 8.2.2.0/20/I/001 "Transition of LLU to the new doctoral funding model"*

## SATURS / CONTENTS

IEVADS .....	4
MATERIĀLI UN METODIKA .....	7
Kartupeļu mikroaugu stādījuma biezības ietekmes uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem novērtēšanas metodika .....	7
Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos.....	9
Lauka vērtības aprēķināšana sīkbumbuļiem .....	13
Mikroaugu stādīšanas biezības ekonomiskās efektivitātes izvērtēšana .....	13
Metodika mikroaugu audzēšanas paņēmienā pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšanai .....	15
Datu apstrādes metodes .....	17
REZULTĀTI .....	18
Kartupeļu mikroaugu stādījuma biezības ietekme uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem .....	18
Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos.....	25
Sīkbumbuļu lauka vērtība .....	32
Mikroaugu stādīšanas biezības paaugstināšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums.....	35
Mikroaugu audzēšanas paņēmienā pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā.....	38
SECINĀJUMI .....	42
PATEICĪBAS .....	44
INTRODUCTION .....	45
MATERIALS AND METHODS .....	48
Methodology for evaluating the effect of potato microplant planting density on yield parameters of minitubers .....	48
Evaluation of the field performance of minitubers.....	50
Calculation of field value.....	54
Methodology to examine the aftereffects of the propagation method of microplants on the number and yield of minitubers in a greenhouse .....	56
Data statistical analysis.....	57
RESULTS .....	59
Effect of planting density of potato microplants on yield related traits of minitubers .....	59
Field performance of minitubers.....	63
Field value of minitubers .....	67
Evaluation of the economic efficiency of changes in microplant planting density.....	68
The effect of propagation method of microplants on the number and yield of minitubers in a greenhouse .....	70
CONCLUSIONS .....	72
ACKNOWLEDGMENTS .....	74
PĒTĪJUMA REZULTĀTU APROBĀCIJA / APPROBATION OF THE SCIENTIFIC WORK.....	75

## IEVADS

Kartupeļu (*Solanum tuberosum* L.) ražošana ir viena no būtiskām laukkopības nozarēm Latvijā, kas nodrošina kartupeļus tiešam patēriņam un pārstrādei. Viens no tās attīstības priekšnoteikumiem ir kvalitatīva sēklas materiāla pieejamība un izmantošana. Zinātnieki pasaулē prognozē, ka sakarā ar klimata pārmaiņām un pieaugošo slimību, tajā skaitā vīrusslimību, izplatību, kartupeļu sēklaudzēšanai labvēlīgākie rajoni arvien vairāk novirzīsies uz Ziemeļu reģioniem. Šobrīd ES un Latvijā pastāvošā kartupeļu sēklaudzēšanas shēma nosaka, ka līdz sertificētam sēklas materiālam iespējamas 7 lauka paaudzes. Tomēr Ziemeļvalstu pētnieki paredz, ka patogēnu izplatība būtiski pieauga arī šajā reģionā. Latvijas apstākļos jau šobrīd kvalitatīva sēklas materiāla audzēšana uz lauka ir apgrūtināta, jo ir augsta kartupeļu vīrusu pārnesēju (laputu – *Aphis spp.*) izplatība. Viens no risinājumiem, kā paaugstināt sēklas pieejamību, ir sīkbumbuļu (PBTC kategorijas sēklas materiāls) audzēšanas efektivitātes palielināšana segtās platībās. Jau sīkbumbuļu audzēšanas procesā palielinot iegūtās sēklas iznākumu, būtu iespējams samazināt lauka paaudžu skaitu, kas īpaši nozīmīgi varētu būt šķirnēm, kurās ir vairāk ieņemīgas pret vīrusslimībām. Vairākās valstīs (pamatā Dienvidamerikā, Āfrikā un Āzijā) jau ir ieviesta tā dēvētā 3G stratēģija, kas paredz iegūt sertificētu sēklu trīs lauka paaudzēs. Lai sasniegtu 3G stratēģijas mērķi, uzsvars tiek likts uz pirmās sēklu paaudzes, jeb sīkbumbuļu ražošanas apjomu palielināšanu.

Latvijā līdz šim maz veikti pētījumi kartupeļu sēklaudzēšanā, īpaši sakotnējā sēklaudzēšanā. Nozīmīgākie pētījumi līdz 20. gs. 90. gadu sākumam veikti saistībā ar vīrusslimību ietekmi uz ražu kartupeļu stādījumos. Tāpat pagājušajā gadsimtā ir bijuši atsevišķi pētījumi par kartupeļu sēklas ražu atkarībā no iestādīto bumbuļu lieluma un stādīšanas attāluma starp tiem. Sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas (audzēšana kastēs, plēves dobēs un rulonos) uzsāktas pētīt šī gadsimta sākumā, tomēr par rezultātiem publicēts tikai viens darbs.

Arzemju pieredze sīkbumbuļu audzēšanā ne vienmēr ir tieši izmantojama, jo kritiski jāvērtē iespējas ieguldīt papildus resursus gan tehnoloģijās, gan darbaspēkā. Arī ārzemēs ir veikts samērā maz tādu pētījumu, kuros būtu vērtēta sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāte ne tikai *per se*, bet gan sasaistot to ar pavairošanas koeficientu pirmajā lauka paaudzē. Reti vērtēta sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskā efektivitāte, bet Latvijā līdz šim nav bijuši šāda veida pētījumi. Izvērtējot kvantitatīvos ražas datus pirmajā lauka paaudzē, pētījumos maz pievērsta uzmanība tieši sēklas iznākumam atkarībā no iestādīto sīkbumbuļu izmēra vai masas.

Trūkst informācijas arī par mikroaugu *in vitro* audzēšanas tehnoloģijas (modificēta barotne, dažādi audzēšanas trauki) iespējamo pēcietekmi uz sīkbumbuļu ražu siltumnīcā un iespējām samazināt ražošanas izmaksas, vienkāršojot pielietotās tehnoloģijas.

## **Pētījuma mērķis**

Izvērtēt kartupeļu sīkbumbuļu ražošanas efektivitātes paaugstināšanas iespējas atkarībā no mikroaugu stādīšanas biezības siltumnīcā, lai nodrošinātu augstu un kvalitatīvu nākamās kategorijas kartupeļu sēklas materiāla ražu lauka apstākļos.

## **Darba uzdevumi**

1. Novērtēt kartupeļu mikroaugu stādījuma biezības paaugstināšanas ietekmi uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem siltumnīcā dažādām šķirnēm.
2. Izvērtēt sīkbumbuļu frakcijas ietekmi uz kartupeļu augu attīstību un sēklas bumbuļu ražu pirmajā ražošanas gadā uz lauka dažādām šķirnēm.
3. Noteikt lauka vērtību siltumnīcas platības vienībai un vienam mikroaugam, atkarībā no to stādīšanas biezības siltumnīcā.
4. Veikt mikroaugu stādīšanas biezības izmaiņu ekonomiskās efektivitātes izvērtējumu.
5. Noskaidrot mikroaugu audzēšanas paņēmienā ietekmi uz mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm un sekojošu pēcietekmi uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā.

## **Darba hipotēze**

Kartupeļu sīkbumbuļu audzēšanas agronomisko efektivitāti iespējams paaugstināt, neveicot nozīmīgus finansiālus un tehnoloģiskus ieguldījumus, tomēr agronomiski efektīvākā audzēšanas tehnoloģija ne vienmēr ir arī ekonomiski efektīvākā.

## **Aizstāvamās tēzes**

1. Sabiezinot kartupeļu mikroaugu stādījumu siltumnīcā, sīkbumbuļu skaits laukuma vienībā būtiski pieaug, bet samazinās viena sīkbumbuļa masa. Vienlaicīgi samazinās arī sīkbumbuļu skaits no viena mikroauga jeb pavairošanas koeficients.
2. Kartupeļu augu attīstība no sīkbumbuļiem un iegūstamo sēklas bumbuļu raža (skaits un masa no platības) ir atkarīgi no iestādīto sīkbumbuļu lieluma (frakcijas). Pastāv būtiskas atšķirības starp šķirnēm.
3. Lauka vērtība siltumnīcas platības vienībai pieaug, paaugstinot mikroaugu stādīšanas biezību, bet tai pašā laikā lauka vērtība vienam mikroaugam samazinās.
4. Paaugstinot mikroaugu stādīšanas biezību siltumnīcā, pieaug to audzēšanas agronomiskā efektivitāte (sīkbumbuļu skaits  $1\text{ m}^{-2}$  un  $1\text{ m}^2$  lauka vērtība), bet ekonomiskā efektivitāte ir atkarīga no mikroaugu un sīkbumbuļu vērtības: vai tā ir pašizmaksai vai tirgus cena.
5. Mikroaugu pavairošanai pēdējā pasāža izmantotā paņēmienā vienkāršošana ļauj samazināt mikroaugu ražošanas izmaksas, neatstājot negatīvu ietekmi uz sekojošo sīkbumbulu ražu.

## **Promocijas darba novitāte**

1. Latvijā nav vērtēta augu attīstība un raža no sīkbumbuļiem pirmajā laukā paaudzē atkarībā no to lieluma (frakcijas).
2. Apvienojot datus par sīkbumbuļu audzēšanas rezultātiem siltumnīcā atkarībā no pielietotās mikroaugu stādīšanas biezības un attiecīgajā tehnoloģijā iegūto sīkbumbuļu agronomisko sniegumu laukā apstākļos atkarībā no to lieluma (frakcijas), izveidots inovatīvs laukā vērtības koncepts un atbilstošas formulas.
3. Līdz šim Latvijā nekad nav veikts sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums atkarībā no pielietotās audzēšanas tehnoloģijas. Pirma reizi Latvijā pielietota parciālā budžeta un robežieņemumu likmes analīze, lai novērtētu audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ekonomisko efektu.
4. Latvijā līdz šim nav vērtēts mikroaugu audzēšanas paņēmienā ietekmē radušos kartupeļu augu morfoloģijas izmaiņu iespējamais pēcefekts uz sīkbumbuļu ražu siltumnīcā.

## **Pētījuma rezultātu aprobācija**

Par šī pētījuma rezultātiem sagatavotas 7 publikācijas, piecas no tām indeksētas *Scopus* vai *Web of Science* datubāzēs. Sniegti 6 mutiskie un 5 stenda ziņojumi zinātniskās konferencēs un semināros.

## MATERIĀLI UN METODIKA

Promocijas darba pētījuma eksperimentālā daļa veikta laika periodā no 2014. līdz 2017. gadam kopā trīs izmēģinājumos.

Laikā no 2014. līdz 2016. g. veikti divi atsevišķi izmēģinājumi, kuros izmantotas trīs kartupeļu šķirnes ‘Monta’ (agrīna šķirne), ‘Prelma’ (vidēji agrīna) un ‘Mandaga’ (vidēji vēlīna), kurās izveidotas Agroresursu un ekonomikas institūtā (AREI):

- I. Izmēģinājums sīkbumbuļu audzēšanas siltumnīcā, lai novērtētu mikroaugu stādījuma biezības (audzēšanas tehnoloģijas) paaugstināšanas ietekmi uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem siltumnīcā dažādām šķirnēm. Iegūtie dati izmantoti agronomiskās un ekonomiskās efektivitātes novērtēšanai, lauka vērtības aprēķināšanai.
- II. Lauka izmēģinājums, lai izvērtētu sīkbumbuļu frakcijas ietekmi uz kartupeļu augu attīstību un sēklas bumbuļu ražu pirmajā ražošanas gadā uz lauka dažādām šķirnēm. Iegūtie dati izmantoti agronomiskās un ekonomiskās efektivitātes novērtēšanai, lauka vērtības aprēķināšanai.

2014. un 2017. gadā veikts kombinēts izmēģinājums, lai noskaidrotu barotnes sastāva un mikroaugu audzēšanas trauka ietekmi uz mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm un sekojošu pēcietekmi uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā. Vērtētas divas šķirnes (‘Monta’ un ‘Prelma’). Izmēģinājums veikts divos posmos.

- III.a. Izmēģinājums laboratorijā, mikroaugu pavairošanai izmantojot dažadas barotnes un audzēšanas traukus, rezultātā novērtēta mikroaugu morfoloģija atkarībā no audzēšanas varianta.
  - III.b. Izmēģinājums siltumnīcā, audzējot III.a. izmēģinājumā iegūtos mikroaugus, lai izvērtētu iespējamo pēcietekmi uz sīkbumbuļu ražu.
- Ekonomiskās efektivitātes izvērtējums, izmantojot izmēģinājumos iegūtos datus, veikts 2020. un 2021. gadā.

### Kartupeļu mikroaugu stādījuma biezības ietekmes uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem novērtēšanas metodika

Pētījuma varianti un to sakārtojums. Pētījumam nepieciešamos kartupeļu šķirņu mikroaugus pavairoja AREI Kartupeļu atveselošanas laboratorijā. Pēc nepieciešamā mikroaugu daudzuma iegūšanas tos stādīja četros dažādos biezības (MSB) variantos:

- 63 mikroaugi  $m^{-2}$  jeb MSB63
- 95 mikroaugi  $m^{-2}$  jeb MSB95
- 142 mikroaugi  $m^{-2}$  jeb MSB142

- 184 mikroaugi  $m^{-2}$  jeb MSB184

Mikroaugus stādīja AREI PBTC kategorijas sēklas materiāla jeb sīkbumbuļu audzēšanai paredzētajā plēves seguma siltumnīcā Priekuļos.

Izmēģinājums iekārtots, izmantojot dalīto lauciņu metodi trīs atkārtojumos. Pirmās pakāpes randomizēti izvietotos lauciņus veidoja šķirnes (trīs šķirnes jeb trīs varianti), bet otrs pakāpes lauciņus veidoja mikroaugu stādīšanas biezības (četras MSB jeb četri varianti), kas bija randomizēti izvietotas pirmās pakāpes lauciņa ietvaros. Lai izslēgtu malas efektu, kā arī samazinātu konkurenci starp dažādām stādīšanas biezībām, ap katru pētāmo otrs pakāpes lauciņu (kasti) tika izvietotas kastes ar attiecīgās šķirnes mikroaugiem stādītiem attiecīgajā biezībā, līdz ar to vienā otrs pakāpes lauciņā ietilpa piecas kastes. Kopā izmēģinājumā bija 12 varianti (trīs šķirnes  $\times$  četras MSB).

Augu audzēšanai izmantoto kastu izmērs bija  $0.55\text{ m} \times 0.35\text{ m} \times 0.20\text{ m}$  (garums  $\times$  platums  $\times$  augstums), jeb virsmas platība –  $0.19\text{ m}^2$ . Tām bija gaisu un ūdeni caurlaidīgi sāni un pamatne. Kastes iepildītā substrāta dzīlums bija  $0.13\text{ m}$ , tādējādi substrāta tilpums kastē bija  $0.025\text{ m}^3$ .

Lai nodrošinātu to, ka katram mikroaugu MSB variantam katrā kastē un katrā atkārtojumā būtu vienāds attālums starp augiem, kā arī mikroaugu izvietojums būtu vienāds, kastēs tika izveidotas 35 iedobes (septiņas iedobes piecās rindās), kuru dzīlums bija  $0.08\text{ m}$ , bet diametrs  $0.02\text{ m}$ , attālums starp iedobēm bija  $0.07\text{ m}$ .

Lai iegūtu augstāko MSB jeb  $184\text{ mikroaugus }m^{-2}$ , tos stādīja katrā izveidotajā iedobē jeb 35 mikroaugus vienā kastē, bet, lai iegūtu zemākas biezības, noteikts daudzums iedobju palika tukšas, katras MSB ietvaros saglabājot vienādu attālumu starp mikroaugiem.

#### Mikroaugu stādīšana, augu kopšana siltumnīcā un ražas novākšana.

Mikroaugus stādīja iepriekš sagatavotā un pilnībā samitrinātā kūdras substrātā (izmantoja sfagnu kūdru, kam pievienoja makro un mikroelementus, pH KCl noregulēts līdz 5.3), kurš bija sabērts kastēs. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Prelma’ tika nodrošināts 77–79 dienas ilgs veģetācijas periods, bet šķirnei ‘Mandaga’ tas bija 90–94 dienas ilgs.

Augus laistīja saskaņā ar AREI pieņemto praksi jeb pirmās četras nedēļas katru dienu, turpmāk laistīšanu samazināja līdz trīs reizēm nedēļām. Sākoties augu novecošanai, samazināja arī laistīšanas apjomu un substrātu uzturēja viegli mitru.

Trīs reizes audzēšanas sezonā pielietoja ārpussakņu mēslošanu, uz augu lapām smidzinot makro un mikroelementus saturošu šķīdumu. Lai profilaktiski ierobežotu laputu (*Apis spp.*) izplatību, ārpussakņu mēslojumam pievienoja insekticīdu.

Vēdināšana siltumnīcā nodrošināta caur logiem, kuri izvietoti grīdas līmenī abās siltumnīcas pusēs, kā arī caur griestu lūku, kura stiepjas visā siltumnīcas garumā; audzēšanas apstākļi jāuzskata tikai par daļēji kontrolētiem. Karstākajās vasaras dienās gaisa temperatūra siltumnīcā pakāpās līdz  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  un pat vairāk, kas nav labvēlīgi kartupeļu attīstībai. Tomēr tas atbilst faktiskajai

sīkbumbuļu ražošanas situācijai AREI.

Ražu novāca ar rokām, izmantojot sīkbumbuļu novākšanai konstruētu galdu ar sietu, uz kura izber kastes saturu.

Veiktie novērojumi. Pēc ražas novākšanas sīkbumbuļi šķiroti šādās frakcijās pēc to masas gramos:

1.  $<3.00$  g – turpmāk netiek izmantoti
2.  $3.00\text{--}4.99$  g – **f1**
3.  $5.00\text{--}9.99$  g – **f2**
4.  $10.00\text{--}19.99$  g – **f3**
5.  $\geq 20.00$  g – **f4**

Noteikts sīkbumbuļu skaits un raža ( $\text{kg m}^{-2}$ ) katrā no frakcijām. Atsevišķās frakcijās iegūtie dati summēti, lai noteiktu sīkbumbuļu skaitu un ražu no kastes.

Dati par sīkbumbuļu skaitu un ražu izmantoti, lai aprēķinātu vidējo  $>3$  g smagu sīkbumbuļu skaitu no viena iestādītā mikroauga jeb pavairošanas koeficientu, sīkbumbuļu skaitu no  $1 \text{ m}^2$ , sīkbumbuļu ražu no  $1 \text{ m}^2$  un viena sīkbumbuļa vidējo masu.

Aprēķinos izmantoti dati tikai par vairāk nekā 3 g smagākiem sīkbumbuļiem tāpēc, ka konkrētajos ražošanas apstākļos mazus ( $<3$  g) sīkbumbuļus nav iespējams pietiekami kvalitatīvi uzglabāt, jo lielās virsmas laukuma:tilpuma attiecības dēļ tie iztvaiko intensīvāk nekā lielāki bumbuļi un savīst. Šī iemesla dēļ sīkbumbuļi, kuri vieglāki par 3 g, Latvijā netiek izmantoti tālākai pavairošanai.

Konstatēts arī, ka esošajos ražošanas apstākļos to skaita izvērtējums kopējā datu analīzē nav nozīmīgs, jo  $<3$  g sīkbumbuļu daudzumu būtiski neietekmēja audzēšanas gads ( $p=0.149$  vidēji visām šķirnēm un MSB), kā arī nebija būtiskas atšķirības starp atkārtojumiem ( $p=0.419$  vidēji visām šķirnēm un MSB).

### Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstāklos

Izmēģinājumi veikti AREI kartupeļu selekcijas un šķirņu salīdzināšanas vajadzībām iekārtotajos integrētās audzēšanas laukos Priekuļos. Attiecīgi pētījuma izmēģinājumos pielietoja AREI kartupeļu selekcijā un izmēģinājumos vispārīgi izmantoto audzēšanas tehnoloģiju.

#### Lauka izmēģinājumu metodika un audzēšanas apstākļi.

Pētījuma varianti un to sakārtojums. Lauka izmēģinājumā pētīja divus faktorus: šķirne ('Monta', 'Prelma', 'Mandaga') un sīkbumbuļu frakcija (SbF; kopā 4 frakcijas). Tādējādi kopā bija 12 pētījuma varianti. Lauka izmēģinājums tika iekārtots pēc dalīto lauciņu metodes. Pirmās pakāpes lauciņi bija šķirnes, bet otrs pakāpes lauciņi bija sīkbumbuļu frakcija. Pirmajā pētījuma gadā (2014. g.) materiāla trūkuma dēļ pielietoti trīs atkārtojumi, bet otrajā (2015. g.) un trešajā (2016. g.) gadā – četri atkārtojumi. Gan pirmās, gan otrs pakāpes lauciņi katrā no pētījuma gadiem tika randomizēti – otrs pakāpes lauciņi pilnībā randomizēti

pirmās pakāpes lauciņa ietvaros, bet pirmās pakāpes lauciņi – bloka jeb atkārtojuma ietvaros.

Attālums starp vagām bija 0.70 m, attālums starp sīkbumbuļiem vagā – 0.20 m. Lauciņa lielums bija 6.72 m<sup>2</sup>. Lai izslēgtu konkurenci starp ceriem no dažādām sīkbumbuļu frakcijām, kā arī lai novērstu malas efektu, novērojumi un ar ražu saistītie mērījumi veikti lauciņa divu vidējo vagu ceriem, neņemot vērā arī pa vienam malējam ceram katras vagas galā. Līdz ar to uzskaites lauciņa izmērs bija 2.8 m<sup>2</sup>, ko veidoja 20 ceri.

Sīkbumbuļu sagatavošana stādīšanai, stādīšana un novākšana. Lauka izmēģinājumos izmantoja PBTC sēklaudzēšanas siltumnīcā veiktajā pētījumā iegūtos četru frakciju (f1–f4) sīkbumbuļus. Pirmajā pētījuma gadā izmantoti 2013. gadā sēklaudzēšanas vajadzībām izaudzētie sīkbumbuļu.

Pirms stādīšanas sīkbumbuļus divas nedēļas iediedzēja. Sīkbumbuļus stādīja un novāca ar rokām. Veģetācijas periods šķirnei ‘Monta’ bija 91, 78 un 80 diena atbilstoši 2014., 2015. un 2016. gadā, šķirnei ‘Prelma’ 92, 79 un 80 dienas, bet šķirnei ‘Mandaga’ veģetācijas periods bija 112, 94 un 98 dienas atbilstošajos gados.

Agrotehniskie pasākumi. Visos gados izmēģinājumi iekārtoti velēnu podzolētā augsnē, kurās granulometriskais sastāvs bija mālsmilts, ar vidēju līdz augstu nodrošinājumu ar fosforu un kāliju, un skābu līdz vidēji skābu, tomēr kartupeļu audzēšanai atbilstošu, augsnē reakciju (1. tab.) Priekšaugšs atkarībā no gada bija ziemas rudzi vai ziemas tritikāle. Mēslošanai izmantoja minerālmēslus NPK 12:11:18, nodrošinot tūrvielā NPK 60:55:90 kg ha<sup>-1</sup>. Mēslošanai sekoja augsnē dziļirdināšana un vagu veidošana.

1. tabula / Table 1

**Augsnes agroķimiskie rādītāji lauka izmēģinājumos, 2014–2016. g. /  
Soil agrochemical properties in field trials, 2014–2016**

Rādītāji / Indices	2014	2015	2016
Velēnu podzolētā augsne, mālsmilts / Sod-podzolic loamy sand			
pH KCL	4.5	5.0	5.3
Organiskās vielas saturs augsnē, g kg <sup>-1</sup> / <i>Organic matter content, , g kg<sup>-1</sup></i>	21	21	18
K <sub>2</sub> O mg kg <sup>-1</sup>	189	142	143
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , mg kg <sup>-1</sup>	164	150	120

Pirms herbicīdu pielietošanas lauku vienu līdz divas reizes reizes vagoja. Pirms augsnēs herbicīda smidzināšanas veidoja augstās vagas. Vēlāk pielietoja herbicīdu vārpatas ierobežošanai.

Profilaktiskai laputu un kartupeļu lapgrauža (*Leptinotarsa decemlineata*) ierobežošanai veica stādījumu apstrādi ar insekticīdu.

Lapu slimību (kartupeļu lakstu puve (ier. *Phytophthora infestans*) un

kartupeļu lapu sausplankumainības (ier. *Alternaria* spp.) izplatību ierobežoja, smidzinot sistēmas, pieskares un sistēmas-pieskares iedarbības fungicīdus.

#### Meteoroloģisko apstāklu raksturojums lauka izmēģinājuma laikā.

Audzēšanas sezonas sākums 2014. gadā bija labvēlīgs straujai augu sadīgšanai, jo vidējā diennakts temperatūra bija augstāka nekā ilggadīgie dati. Nokrišņu daudzums maija otrajā un trešajā dekādē pārsniedza normu, kas ļāva augsnē uzkrāties pietiekošam mitruma daudzumam, lai relatīvi sausākajā jūnija pirmajā dekādē augsne neizžūtu. Samērā vēsais un arī pārmitrais jūnija turpinājums aizkavēja augu tālāko attīstību. Pēc tam attīstību veicināja siltais jūlijis. Mēneša pirmajā dekādē nokrišņi vēl pārsniedza normu, bet pēc tam kļuva ievērojamī sausāks, tomēr netika novērota augsnes izžūšana agrākos periodos valdošo lietavu dēļ. Augusta pirmā dekāde bija silta un mēreni mitra, vēlāk kļuva vēsāks un ievērojami pieauga nokrišņu daudzums. Lietainās dienas nedaudz aizkavēja ražas novākšanu, bet jau sezonas laikā lietusgāžu un sekojošā sausuma dēļ sablīvētā augsne darbu apgrūtināja.

Atšķirībā no 2014. gada, 2015. gada maija otrā puse raksturojās ar gaisa temperatūru, kura bija zemāka par normu, bet nokrišņi bija normas robežās. Lai arī kartupeļus stādīja otrās dekādes noslēgumā, tomēr līdz tam valdošais vēsais un mitrais laiks neveicināja augsnes iesilšanu. Kartupeļu sadīgšana pēc iestādīšanas vēsajā augsnē, kā arī valdot pazeminātai gaisa temperatūrai, aizkavējās. Jūnija pirmajā un otrajā dekādē gaisa temperatūra bija tuva normai, tomēr mazais nokrišņu daudzums pirmajā un otrajā jūnija dekādēs radīja sausumu, kas ievērojami aizkavēja augu attīstību. Tikai mēneša trešajā dekādē nokrišņu daudzums pieauga līdz normai un apstākļi kļuva labvēlīgāki kartupeļu attīstībai, īpaši ziedēšanas sākumā, kad uzsākas jaunās ražas veidošanās. Turpmākie meteoroloģisko apstākļi 2015. gada veģetācijas sezona bija labvēlīgi kartupeļu augšanai un attīstībai, pietiekošais mitruma daudzums jūlijā pirmajā un otrajā dekādēs veicināja jauno ražas bumbuļu piebriešanu.

Pēdējā pētījuma gadā jeb 2016. gada audzēšanas sezona maija diennakts vidējā temperatūra otrajā dekādē atbilda normai, bet trešajā dekādē gaisa temperatūra jau pārsniedza normu. Lai gan nokrišņu daudzums šajā periodā bija ļoti zems, mitruma saturs augsnē bija pietiekošs pateicoties ievērojamajam nokrišņu daudzumam aprīlī. Līdzīgi apstākļi turpinājās arī jūnija pirmajā dekādē (temperatūra atbilstoša normai, bet nokrišņu daudzums zem normas), tomēr temperatūra, kas bija augstāka nekā 2015. gadā šajā periodā, 2016. gadā kopumā veicināja samērā strauju sadīgšanu, salīdzinot ar 2015. gadu. Turpmāk nokrišņu daudzums katrā no dekādēm ievērojami pārsniedza normu. Raksturīgas bija arī lietusgāzes, kuru rezultātā starp vagām veidojās lāmas un notika augsnes sablīvēšanās, šī iemesla dēļ aizkavējās lakstu sakļaušanās vagās. Tikai jūlijā trešajā dekādē iestājās relatīvi sausāks periods. Gaisa temperatūra kopumā bija tuva normai un ievērojamās novirzes virs normas novērotas tikai jūnija un jūlijā trešajās dekādēs, gaisa temperatūras pazemināšanās augusta pirmajās divās dekādēs un pēc tam paaugstināšanās mēneša beigās būtiski neietekmēja jau izveidojušos ražu, bet lielais augsnes mitrums apgrūtināja tās novākšanu un

uzglabāšanu.

### **Lauka izmēģinājumā veiktie novērojumi un ražas analīze.**

Augu sadīgšanas uzskaitē veikta divas līdz trīs reizes nedēļā. Par sadīgušiem uzskatīja augus, kas sasniegusi atbilst 09.-10. AE pēc BBCH skalas. Katru variantu uzskatīja par sadīgušu, kad šo etapu sasniedza 50% no augiem. Lai novērtētu tālāko augu attīstību, sadīgšanas uzskaiti turpināja un fiksēja datumu, kad bija sadīguši 80% no augiem. Gadījumos, kad uz lauka nevarēja precīzi novērtēt laiku, kad bija sadīguši 50 un 80% augu, veica lineāro interpolāciju, lai aprēķinātu datumu, kad attīstības etaps varēja būt iestājies. Kopējo sadīgušo augu skaitu noteica vidēji 50. dienā pēc stādīšanas.

Augu sadīgšanas raksturošanai izmantoja termālā laika vienības – augšanas grādu dienās (GDD). Veicot aprēķinu, tajā neieskaitīja stādīšanas dienas un novērojuma veikšanas dienas temperatūras.

Lakstu sakļaušanās vagās fiksēta tad, kad bija vērojama pilnīga sakļaušanās (28. AE jeb 90% augu vagās saskaras) un izteikta dienās pēc 50% sadīgšanas.

Divas nedēļas pirms ražas novākšanas uzskaitīts virszemes stublāju skaits katram ceram katrā variantā un aprēķināts vidējais virszemes stublāju skaits katram variantam.

Ražas analīzes veikšanai katra varianta katra atkārtojuma bumbuļus sašķiroja piecās frakcijās, izmantojot sietu ar kvadrātveida acīm:

1. < 25 mm
2. 25–35 mm
3. 35–45 mm
4. 45–55 mm
5. 55–65 mm (lielāki bumbuļi ražā nebija)

Noteica katrā frakcijā iegūto ražu  $\text{kg m}^{-2}$  un bumbuļu skaitu  $\text{m}^{-2}$ , iegūtos datus izmantoja gan kopējā bumbuļu skaita un ražas noteikšanai (izmantoja, analizējot ražas sadalījumu frakcijās), gan par 25 mm lielāku bumbuļus skaita un ražas noteikšanai. Tā kā no sīkbumbuļiem iegūst pirmās paaudzes pirmsbāzes sēklas, tad robežvērtība 25 mm ir būtiska, jo šis ir starptautiski pieņemtais mazākais pieļaujamas izmērs sēklas kartupeļu bumbuļiem.

Ražas bumbuļu skaits cerā un pavairošanas koeficients lauka apstāklos (PKoefL). Ražas bumbuļu skaitu cerā aprēķināja  $>25$  mm lielu ražas bumbuļu kopējo skaitu lauciņā dalot ar sadīgušo sīkbumbuļu skaitu. PkoefL aprēķinājam  $>25$  mm lielu ražas bumbuļu kopējo skaitu lauciņā dalot ar lauciņā iestādīto sīkbumbuļu skaitu..

Ražas bumbuļu vidējā masa noteikta, nemot vērā tikai  $>25$  mm lielus bumbuļus un dalot bumbuļu masu  $\text{m}^{-2}$  ar bumbuļu skaitu  $\text{m}^{-2}$ .

Ražas sadalījumu frakcijās atkarībā no sīkbumbuļa izmēra izvērtēja, izmantojot Trevisa izstrādāto metodi<sup>1</sup> ar kuru nosaka vidējo bumbuļu izmēru mm,

<sup>1</sup> Travis K. Z. (1987). Use of a simple model to study factors affecting the size distribution of tubers in potato crops. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 109 (03), p. 563–571.

kuram ir visaugstākā sastopamība ražas datu kopā ( $\mu$ ) un aprēķina izkliedi ( $\sigma$ ) ap šo vidējo rādītāju. Aprēķini veikti katram variantam, izmantojot datus par bumbuļu skaitu un kopējo masu katrā iegūtās ražas frakcijā. Iegūtos rezultātus izteica kā katru bumbuļu izmēra milimetra raža kilogramos  $m^{-2}$ . Ražas sadalījumam frakcijās aprēķināja arī variācijas koeficientu.

### **Lauka vērtības aprēķināšana sīkbumbuļiem**

Sīkbumbuļu lauka vērtības koncepts apvieno siltumnīcā un lauka apstākļos iegūtos agronomiskos datus. To var izteikt gan kā lauka vērtību siltumnīcas laukuma (platības) vienībai ( $LaV_{pl}$ ), gan kā lauka vērtību vienam iestādītajam mikroaugam ( $LaV_{ma}$ ). Lauka vērtība aprēķināta katrai siltumnīcā pielietotajai mikroaugu stādīšanas biezībai.

Lauka vērtība no viena siltumnīcas kvadrātmētra iegūtiem sīkbumbuļiem.  $LaV_{pl}$  ir kopējais par 25 mm lielāku ražas bumbuļu skaits lauka apstākļos, kurš iegūts no visiem par 3 g smagākiem vienā siltumnīcas kvadrātmētrā izaudzētiem sīkbumbuļiem.

Lauka vērtība vienam mikroaugam, kurš siltumnīcā iestādīts noteiktā stādīšanas biezībā.  $LaV_{ma}$  ir kopējais par 25 mm lielāku bumbuļu skaits lauka apstākļos, kurš iegūts no par 3 g smagākiem sīkbumbuļiem, kuri izaudzēti no viena noteiktā stādīšanas biezībā iestādīta mikroauga.

### **Mikroaugu stādīšanas biezības ekonomiskās efektivitātes izvērtēšana**

Sīkbumbuļu mikroaugu stādīšanas biezības (audzēšanas tehnoloģijas) izmaiņu ekonomisko efektivitāti 2014.–2016. gadā veiktajiem izmēģinājumiem vērtēja 2020. un 2021. gadā, izmantojot 2020. gadā AREI veikto pašizmaksu aprēķinu un informāciju par produkcijas cenām.

Lai novērtētu sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ekonomisko efektivitāti, izmantota parciāla budžeta metode un robežieņēmumu analīze jeb robežieņēmumu likmes (RiL) noteikšana, tehnoloģijas izmaiņas vērtējot pakāpeniski. Šo metožu kopumu kā lēmumu pieņemšanas rīku par ražošanas tehnoloģijas maiņu iesaka Starptautiskais kukurūzas un kviešu selekcijas centrs (CIMMYT). Balstoties uz šo pieejumu, rokasgrāmatu jaunu tehnoloģiju izmēģinājumu vērtēšanai kartupeļu audzēšanas saimniecībās izstrādājis arī Starptautiskais kartupeļu centrs (CIP).

Mikroaugu un sīkbumbuļu pašizmaksu AREI tiek aprēķināta relatīvi nelielam ražošanas apjomam, kas ir vidēji 24 000 mikroaugu pavairošana un 60 000 sīkbumbuļu izaudzēšana sezonā. Pašizmaksu aprēķins nav veikts

promocijas pētījuma ietvaros, bet gan izmantota informācija no AREI izdotā rīkojuma. Mikroaugu pašizmaksas 2020. gadā bija 0.54 EUR gab<sup>-1</sup>, bet sīkbumbuļu pašizmaksas bija 0.41 EUR gab<sup>-1</sup>, nediferencējot cenu dažādu frakciju sīkbumbuļiem.

Tirdzniecības cena 1.00 EUR par mikroaugu un 0.52 EUR par sīkbumbuļu noteikta balstoties uz AREI rīkojumu “Par cenu apstiprināšanu produkcijai Priekuļu pētniecības centrā”. Pievienotās vērtības nodoklis cenā nav iekļauts.

Pētījumā par bāzes vērtību jeb standarta audzēšanas tehnoloģiju noteica zemāko mikroaugu stādīšanas biezību jeb MSB63. Aprēķinus veica katrai šķirnei atsevišķi.

Promocijas darba pētījumā analizēti četri dažādi ražošanas scenāriji, kuri vispusīgi aptver iespējamās sīkbumbuļu ražošanas stratēģijas nelielās saimniecībās.

A scenārijs – mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir to pašizmaksas. Bāzes scenārijs, atbilst aktuālajai ražošanas situācijai AREI.

B scenārijs – 1. jaukta tipa modelis, kurā mikroaugu vērtība ir pašizmaksas, bet sīkbumbuļa vērtība ir tirdzniecības cena;

C scenārijs – 2. jaukta tipa modelis, kurā mikroaugu vērtība ir tirdzniecības cena, bet sīkbumbuļu vērtība ir pašizmaksas. Šajā scenārijā pašizmaksas pārsniedz A scenārijā izmantoto pašizmaksu un arī B un D scenārijos izmantoto tirdzniecības cenu, jo tā ir pielāgota mikroaugu tirdzniecības cenai, kura būtiski paaugstina sīkbumbuļu ražošanas izmaksas. Tā rezultātā scenārijā izmantotā pašizmaksas ir 0.56 EUR par vienu sīkbumbuļu.

D scenārijs – mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir tirdzniecības cena.

Parciālā budžeta aprēķina metode iekļauj tikai tos ieguldījumus un ieņēmumus, kuri izmainās, mainoties tehnoloģijai. Rezultātā tiek aprēķināti neto ieņēmumi (NI).

Bruto ieņēmumi (BI) katrai MSB aprēķināti, reizinot iegūto sīkbumbuļu skaitu ar to vērtību eiro (atkarībā no scenārija: pašizmaksu vai tirdzniecības cenu) un no iegūtā rezultāta atņemot ar ražas novākšanu un šķirošanu saistītās izmaksas (nodarbinātā stundas likme reizināta ar laiku, kas nepieciešams konkrētā MSB izaudzētu sīkbumbuļu novākšanai un šķirošanai).

Mainīgo izmaksu (MI) daļu veidoja mikroaugu vērtība eiro (attiecīgi pašizmaksas vai tirdzniecības cenas) reizināta ar konkrētai MSB nepieciešamo mikroaugu daudzumu un to stādīšanai nepieciešamā darbaspēka izmaksām. Darbaspēka izmaksas aprēķināja, reizinot stādīšanā iesaistītā darbinieka stundas likmi ar laiku, kas nepieciešams, lai iestādītu konkrēto daudzumu mikroaugu.

Pēc tam, kad visām šķirnēm visiem scenārijiem bija aprēķināti NI atkarībā no MSB, tika veikta dominances analīze saskaņā ar Starptautiskā kukurūzas un kviešu selekcijas centra (CIMMYT) metodiku. Visas pētītās audzēšanas tehnoloģijas (MSB) sarindoja pieaugošā secībā pēc MI vērtības, kas sakrita arī ar MSB paaugstināšanās secību. MSB, kuras MI vērtība bija augstāka un NI vērtība zemāka nekā secīgi iepriekšējai MSB, tika izslēgta no turpmākās analīzes, jo šajā MSB veidojās zaudējumi.

Starp katrām divām secīgām MSB, kuras netika izslēgtas pēc dominances analīzes, tika aprēķināts NI izmaiņu jeb pieauguma lielums  $\Delta$  jeb neto robežienēmumi.

Pēc  $\Delta$ NI aprēķināšanas starp secīgām, dominances analīzes rezultātā neizslēgtām mikroaugu stādīšanas biezībām, aprēķināta robežienēmumu likme, kuru ieguva dalot  $\Delta$  NI ar  $\Delta MI$  (mainīgo izmaksu izmaiņu lielums starp divām MSB).

RiL aprēķināja katrai šķirnei, piemērojot katru scenāriju. Aprēķinu uzsāka, nosakot RiL starp bāzes MSB un secīgi nākamo MSB un pakāpeniski turpināja starp katrām divām blakus esošām MSB. Iegūto RiL vērtību izteica procentos. Piemēram, RiL 105% nozīmē, ka, izmainot tehnoloģiju, ražotājs var atgūt katru ieguldīto eiro un vēl gūt papildus peļņu 1.05 EUR.

Papildus parciālā budžeta un robežanalīzei veica jutīguma analīzi katrai mikroaugu stādīšanas biezībai ražošanas scenārijos A (aktuālais scenārijs AREI) un B (scenārijs ar vislielāko iestāšanās varbūtību pēc A scenārija, jo lielāka ir iespēja, ka sīkbumbuļi tiks pārdoti tirgū, nekā iespēja, ka AREI iegādāsies mikroaugus par tirgus cenu). Analīzes mērķis bija noskaidrot augstāko pieļaujamo mikroaugu vērtību, pie kurās var izmantot kādu no MSB. Ja mikroaugu vērtība pieaug virs iegūtās vērtības robežas, tad MSB būtu jāsamazina, lai izvairītos no tā, ka mainīgās izmaksas pārsniedz neto ieņēmumus.

### **Metodika mikroaugu audzēšanas paņēmienā pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšanai**

Pētījums veikts 2014. un 2017. gadā AREI Kartupeļu atveselošanas laboratorijā un PBTC materiāla audzēšanai paredzētajās plēves seguma siltumnīcās Priekuļos. Izmantotas divas šķirnes – ‘Monta’ un ‘Prelma’.

**Mikroaugu audzēšana un morfoloģisko parametru novērtēšana laboratorijā.** Laboratorijas apstākļos pētīta mikroaugu audzēšanas paņēmiena (barotne un mikroaugu audzēšanai izmantotais trauks) ietekme uz mikroaugu morfoloģisko pazīmju iespējamajām izmaiņām.

Mikroaugu audzēšanas paņēmienā varianti. Izmantoti divu veidu audzēšanas trauki – stikla mēģenes (diametrs 13 mm un augstums 150 mm, tilpums 20 mL), kuras noslēgtas ar vates – marles korķiem un cilindriski, vienreizlietojami plastmasas trauki (tilpums 500 mL) ar plastmasas vāku. Izmantotas trīs dažādas Murašīges un Skūga jeb MS barotnes sastāva modifikācijas. Audzēšanas trauks un barotnes sastāvs veidoja četrus dažādus audzēšanas paņēmienus.

- MMS – mēģene ar MS barotni bez vitamīniem; izmantota klasiskā MS barotne, bez pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS. Standarta paņēmiens kartupeļu mikroaugu pavairošanai AREI (pētījumā – kontrole);
- AMS – cilindrisks plastmasas trauks ar MS barotni bez vitamīniem un citām

organiskajām vielām pēc MS;

- AMSV – cilindrisks plastmasas trauks ar MS barotni un pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS
- AHMS – cilindrisks plastmasas trauks ar samazinātas koncentrācijas MS barotni bez vitamīniem un citām organiskajām vielām. Barotnes pagatavošanā izmantota puse no nepieciešamā makrosāļu daudzuma.

Visos variantos barotnei pievienots cukurs 30 g L<sup>-1</sup> un agars 6.5 g L<sup>-1</sup>. Augu augšanas regulatori (fitohormoni) nav lietoti neviens no variantiem.

Lai visos variantos vienam mikroaugam nodrošinātu vienādu pieejamās barotnes daudzumu, mēģenēs iepildīti 5 mL barotnes, bet cilindriskajos plastmasas traukos 50 mL barotnes. Mēģenēs ievietoja pa vienam mikrospraudenim, katrai šķirnei vienā atkārtojumā bija 10 mēģenes ar mikroaugiem. Cilindriskajos plastmasas traukos katrai šķirnei vienā traukā ievietoja 10 mikrospraudēņus, vienā atkārtojumā bija viens trauks. Attiecīgi – katrai šķirnei katrā no variantiem bija 10 mikroaugi vienā atkārtojumā, katrā gadā pētījums veikts 4 atkārtojumos. Kopā pētījumā izmantoti astoņi varianti (divas šķirnes × četras mikroaugu audzēšanas apstākļu modifikācijas), kuri izvietoti pilnībā randomizēti. Mikroaugus audzēja vidēji 22–24 °C temperatūrā un nodrošinot 16/8 h apgaismojuma režīmu.

Mikroaugu morfoloģisko rādītāju novērtēšana. Pieci jeb puse mikroaugu no katras varianta 2014. gadā 25 dienas, bet 2017. gadā 27 dienas pēc mikropavairošanas izņemti no audzēšanas trauka, tiem no saknēm noskalotas agarizētās barotnes paliekas, augi nosusināti uz papīra dvieļa. Pēc mikroaugu sagatavošanas, katram atkārtojumam atsevišķi nomērīts stublāja garums cm, uzskaitīti stublāju starpmezglu posmi, noteikta visaauga masa, mg, atsevišķi noteikta sakņu masa, mg, un aprēķināti atvasinātie lielumi – sakņu un stublāja masas attiecība, starpmezglu posmu garums,auga masas un garuma attiecība.

**Mikroaugu audzēšanas paņēmienā pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšana.** Katras šķirnes atlikušos piecus mikroaugus no katras audzēšanas paņēmienā un atkārtojuma iestādīja siltumnīcā kūdras substrātā (skatīt “Kartupeļu mikroaugu stādījuma biezības ietekmes uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem novērtēšanas metodika”). Mikroaugus stādīja veģetācijas traukos (podījos) (tilpums 1.26 L) pa vienam, kopā katrai šķirnei katram mikroaugu audzēšanas paņēmienam atkārtojumā bija pieci veģetācijas trauki. Izmēģinājums ierīkots četros randomizētos blokos. Vienu bloku veidoja astoņi pētījuma varianti (divas šķirnes × četri mikroaugu audzēšanas paņēmieni).

Trīs reizes nedēļā augus laistīja, izmantojot rokas laistītāju. Divas reizes audzēšanas sezonā augus apsmidzināja ar papildmēslojuma šķīdumu un insekticīdu. Izaugušos sīkbumbuļus novāca 72 dienas pēc mikroaugu iestādīšanas 2014. gadā un 70 dienas pēc stādīšanas 2017. gadā. Sīkbumbuļus salasīja ar rokām. Katram variantam un atkārtojumam atsevišķi uzskaitīja sīkbumbuļu skaitu, noteica sīkbumbuļu kopējo masu gramos.

## Datu apstrādes metodes

Datu statistiskajai apstrādei izmantota brīvpieejas programmas Jamovi versija 1.8.2. Datu kopas vidējo rādītāju noskaidrošanai izmantotas aprakstošās statistikas metodes. Lineāro sakarību ciešumu starp pazīmēm noteica, izmantojot Pīrsona korelāciju. Lai noskaidrotu sakarību formu, veikta lineārās regresijas analīze. Pētīto faktoru ietekmes būtiskuma novērtēšanai izmantota vienfaktora un divfaktoru ANOVA analīze 95% būtiskuma līmenī ( $\alpha=0.05$ ). Lai noteiktu atšķirības starp pavairošanas koeficientu lauka apstākļos un ražas bumbuļu skaitu no sadīgušā cera, izmantoja pāru t-testu atsevišķi katrai šķirnei. Lai noteiktu atšķirības starp sīkbumbuļu skaitu dažādās frakcijās katrai šķirnei katrā mikroaugu stādīšanas biezībā, izmantota Microsoft Excel pievienojumprogramma *Real Statistics*, kurā veikta viena faktora ANOVA analīze un Tukey *post-hoc* tests, kā faktors noteikta sīkbumbuļu frakcija. Sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju (mainīgo) ietekmes uz citu rādītāju variēšanu noskaidrošanai veikta galveno komponentu jeb PCA analīze un konstruēts rādītāju slodzes grafiks, kas ļauj grafiski attēlot savstarpējās sakarības starp rādītājiem. Veicot siltumnīcā iegūto ražu raksturojošo rādītāju analīzi atkarībā no šķirnes un mikroaugu stādīšanas biezības, gadu vidējo datu vispārināšanai izmantoja lineāru jauktu efektu modeli, kurā gads bija gadījuma rakstura faktors. Analizējot lauka izmēģinājumu rezultātu datus, gada ietekme netika iekļauta ANOVA modelī, bet gan noteikta atsevišķi, sadalot datu kopu gradāciju klasēs un veicot ANOVA analīzi ar gadu kā faktoru katrai gradāciju klasei atsevišķi. Gadījumos, kad konstatēja statistiski būtisku faktora ietekmi uz pētāmo pazīmi, gradācijas klasses tika salīdzinātas, izmantojot Tukey *post-hoc* testu ( $\alpha=0.05$ ). Jutīguma analīzei izmantoja mērķa meklēšanas funkciju *goal seek* un analīzi veica, izmantojot Microsoft Excel pievienojumprogrammu – datu analīzes un optimizācijas rīku Solver. Tā uzstādījumos neto ieņēmumus noteica kā mērķi, bet mikroauga vērtība bija mainīgais lielums. Analīzi veica, nosakot ierobežojumu – neto ieņēmumi  $\geq$  mainīgās izmaksas.

# REZULTĀTI

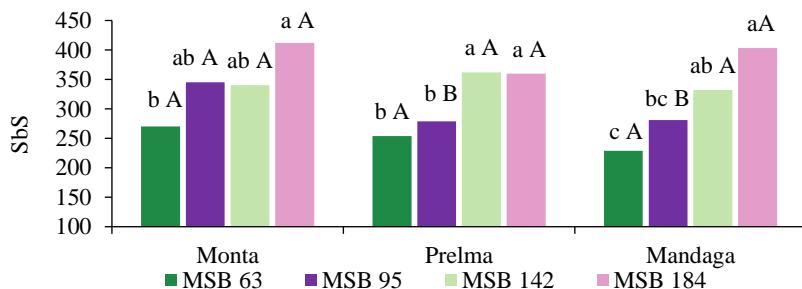
## Kartupeļu mikroaugu stādījuma biezības ietekme uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem

Kartupeļu sākotnējā sēklaudzēšanā (īpaši sīkbumbuļu ražošanā) ražu var izteikt gan kā bumbuļu skaitu no laukuma vienības, gan kā masu no laukuma vienības (piemēram, kg m<sup>-2</sup>). Šajā darbā raža vērtēta abejādi, precizējot to, vai runa ir par skaitu m<sup>-2</sup>, vai ražu kg m<sup>-2</sup>.

**Sīkbumbuļu skaits no kvadrātmetra (SbS).** Ja audzēšanas platība ir ierobežota, tad viens no efektīvākajiem pasākumiem sīkbumbuļu skaita no kvadrātmetra (SbS) paaugstināšanai ir mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) izmaiņīšana. Promocijas darba pētījumā iegūtais SbS bija no 229 ('Mandaga', 63 mikroaugi m<sup>-2</sup> jeb MSB63) līdz 412 sīkbumbuļi no 1 m<sup>2</sup> ('Monta', MSB184).

Izvērtējot genotipu atšķirības vidēji visām mikroaugu stādīšanas biezībām (MSB), konstatēts, ka genotipa ietekme uz SbS nebija statistiski būtiska ( $p=0.057$ ).

Analizējot atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi, šķirnei 'Monta' MSB95 bija būtiski lielāks SbS (345) nekā šķirnēm 'Prelma' (279) un 'Mandaga' (281), kurām SbS savstarpēji būtiski neatšķirās (1. att.).



1. att. Sīkbumbuļu skaits m<sup>-2</sup> (SbS) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) un šķirnes, vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi /

Fig. 1. Number of minitubers per m<sup>2</sup> (SbS) depending on planting density of microplants (MSB) and variety, average 2014–2016.

Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between MSBs within varieties. Different uppercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between varieties within MSB

Pārējās MSB atšķirības starp šķirnēm nebija statistiski būtiskas (MSB63  $p=0.302$ ; MSB142  $p=0.588$ , MSB184  $p=0.188$ ). Šķirnei 'Monta' visās MSB

novērots, ka, lai arī lielākajā daļā gadījumu statistiski nebūtiski, tomēr augstākais SbS, izņemot MSB142, kur nebūtiski augstākais SbS bija šķirnei ‘Prelma’ (362, salīdzinājumā ar 340 šķirnei ‘Monta’ un 332 šķirnei ‘Mandaga’).

Pielietotajai mikroaugu stādīšanas biezībai (MSB) bija statistiski būtiska ietekme uz sīkbumbuļu skaitu m<sup>-2</sup>. Pieaugot MSB, pieauga arī SbS visām šķirnēm (1. att.). Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’ lielākais SbS iegūts augstākajā MSB (MSB184) (attiecīgi 412 un 403 sīkbumbuļi m<sup>-2</sup>), bet šķirnei ‘Prelma’ – MSB142 (360 sīkbumbuļi). Savukārt mazākais SbS (229–270 sīkbumbuļi m<sup>-2</sup>) visām šķirnēm iegūts zemākajā mikroaugu stādīšanas biezībā jeb MSB63, turklāt tas bija būtiski mazāks nekā augstākajā MSB184.

Vērtējot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti tikai pēc SbS datiem, šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’ ir ieteicama MSB184, bet šķirnei ‘Prelma’ – MSB142, jo MSB184 vairs nesniedz sīkbumbuļu skaita pieaugumu no laukuma vienības. Tomēr, ja ir ierobežota audzēšanas platība un ir brīvi pieejams liels daudzums mikroaugu, tad var pielietot arī MSB184.

Genotipa un MSB mijiedarbības ietekme uz SbS nebija būtiska (p=0.185).

#### Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients siltumnīcā (PkoefS).

Pavairošanas koeficients siltumnīcā (PkoefS) jeb no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu skaits ir svarīgākais sīkbumbuļu ražu raksturojošais rādītājs. Tā kā jēdziens “pavairošanas koeficients” pārsvarā tiek lietots sēklaudzēšanā, tad tā vērtību nosaka, nemot vērā tikai sēklas lieluma bumbuļus. Ne ES, ne Latvijā spēkā esošajos normatīvajos aktos nav noteikts minimālais izmērs turpmākai pavairošanai izmantojamiem kartupeļu sīkbumbuļiem, bet šajā pētījumā tie ir vismaz 3 g smagi sīkbumbuļi.

Promocijas darba pētījumā PkoefS bija no 2.0 (‘Prelma’, MSB184) līdz 4.3 sīkbumbuļi no mikroauga (‘Monta’, MSB63)

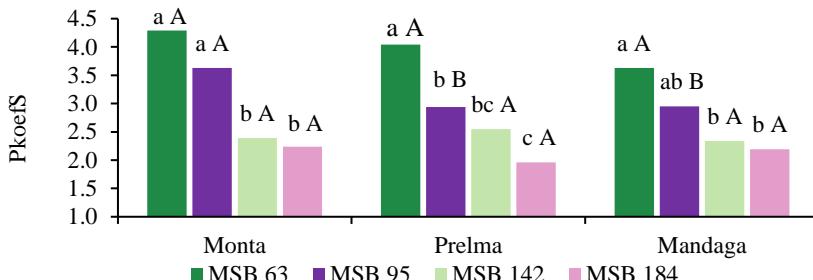
Genotipa ietekme. Izvērtējot genotipu atšķirības vidēji visās mikroaugu pavairošanas biezībās (MSB), konstatēts, ka genotipam bija statistiski būtiska ietekme uz Pkoefs.

Analizējot atšķirības starp šķirnēm katrai MSB atsevišķi (2. att.), šķirnei ‘Monta’ MSB95 bija būtiski lielāks PkoefS (3.6), nekā šķirnēm ‘Prelma’ (2.9) un ‘Mandaga’ (3.0), kuru PkoefS savstarpēji būtiski neatšķirās. Pārējās MSB atšķirības starp šķirnēm nebija statistiski būtiskas (MSB63 p=0.303; MSB142 p=0.588, MSB184 p=0.190). Šķirnei ‘Monta’ visās MSB novērots, lai arī lielākajā daļā gadījumu statistiski nebūtiski (p>0.05), tomēr augstākais PkoefS, izņemot MSB142, kur nebūtiski augstāks PkoefS bija šķirnei ‘Prelma’.

Pielietotajai mikroaugu stādīšanas biezībai (MSB) bija statistiski būtiska ietekme uz Pkoefs. Pieaugot MSB, PkoefS visām šķirnēm samazinājās (2. att.). Visām šķirnēm augstākais PkoefS iegūts zemākajā MSB (MSB63), bet zemākais PkoefS – augstākajā MSB (MSB184), turklāt visām šķirnēm pie MSB184 tas bija būtiski zemāks nekā MSB63. Tomēr ne vienai no šķirnēm arī augstākajā MSB PkoefS nebija zemāks par divi, tā iekļaujoties 2–5 sīkbumbuļos no mikroauga, ko uzskata par izplatītāko PkoefS konvencionālajā sīkbumbuļu audzēšanas

tehnoloģijā.

Genotipa un MSB mijiedarbības ietekme uz PkoefS nebija būtiska ( $p=0.231$ ).



## 2. att. **Pavairošanas koeficients (PkoefS) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) un šķirnes, vidēji 2014.–2016. g.**

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi.

Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi /

*Fig. 2. Multiplication rate (PkoefS) depending on planting density of microplants (MSB) and variety, average 2014–2016.*

Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between MSBs within variety.

Different uppercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between varieties within MSB

Ja siltumnīcas platība un audzēšanas substrāta pieejamība nav limitējošie faktori, tad optimāli ir izvēlēties MSB, no kurus var iegūt visaugstāko PkoefS. Tomēr, līdz noteiktai MSB mikroaugiem ir potenciāls saglabāt augstāko PkoefS, ja runa ir par bumbuļu izveidošanos, tāpēc katrai audzētajai šķirnei būtu nepieciešams noteikt MSB, pie kurus konkurence starp augiem vēl nav tik liela, lai notiktu bumbuļu rezorbēja.

Vērtējot tikai PkoefS vērtības, visām pētījumā izmantotajām šķirnēm ieteicams pielietot MSB63. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’ gadījumos, kad ir ierobežota audzēšanas platība, var pielietot arī MSB95, jo PkoefS tajā nav būtiski mazāks, salīdzinot ar MSB63.

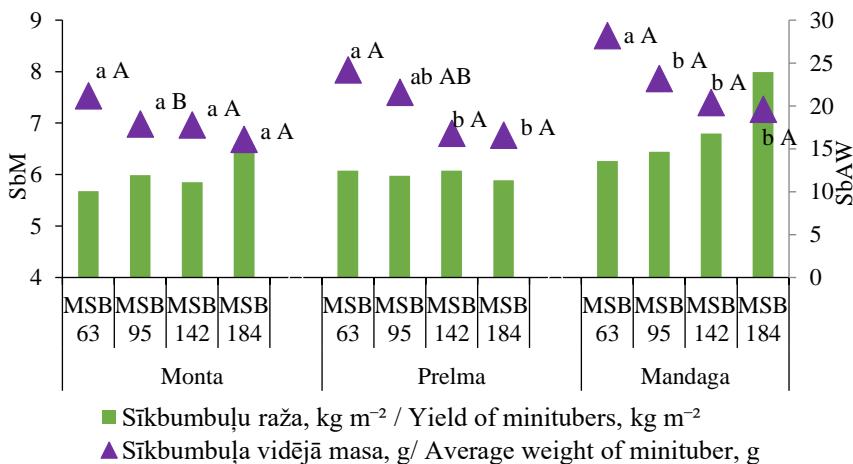
**Sīkbumbulu raža no 1 m<sup>2</sup> (SbM) un viena sīkbumbula vidējā masa (SbAW).** Sīkbumbulu raža, kg m<sup>-2</sup> (SbM) bija robežas no 5.7 kg m<sup>-2</sup> (‘Monta’, MSB63) līdz 8.0 kg m<sup>-2</sup> (‘Mandaga’, MSB184), bet vidējā masa vienam sīkbumbulim (SbAW) bija no 16.1 g (‘Monta’, MSB184) līdz 28.2 g (‘Mandaga’, MSB63).

Genotipa ietekme. Pētījumā netika konstatētas būtiskas atšķības ( $p=0.079$ ) starp šķirnēm pēc SbM. Promocijas darba pētījumā, lai arī nebūtiski, tomēr lielāka raža visās MSB bija šķirnei ‘Mandaga’ (6.2–8.0 kg m<sup>-2</sup>), savukārt šķirnei ‘Monta’ tā bija robežas no 5.7 līdz 6.5 kg m<sup>-2</sup>, bet šķirnei ‘Prelma’ robežas no 5.9 līdz 6.1 kg m<sup>-2</sup> (3. att.).

Viena sīkbumbula SbAW būtiski atšķīras starp šķirnēm. Visās pielietotajās

MSB visaugstākā SbAW bija šķirnei ‘Mandaga’ (19.6–28.2 g), tomēr būtiski augstāka tā bija tikai MSB95 un tikai salīdzinājumā ar šķirni ‘Monta’, kurai kopumā SbAW bija robežas no 16.1–21.1 g. Šķirnes ‘Prelma’ SbAW bija 16.6–24.2 g (3. att.).

Mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) ietekme. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’ tika novērota tendenze, ka sīkbumbuļu raža (SbM) bija lielāka augstākā MSB, bet šķirnei ‘Prelma’ atšķirība starp augstāko ražu (MSB63 un MSB142) un zemāko ražu (MSB184) bija tikai 0.2 kg m<sup>-2</sup>. Tomēr nevienai no šķirnēm MSB ietekme uz SbM nebija statistiski būtiska (‘Montai’ p=0.548, ‘Prelmai’ p=0.992, ‘Mandagai’ p=0.453).



### 3. att. Sīkbumbuļu raža (SbM), kg m<sup>-2</sup> un sīkbumbuļa vidējā masa (SbAW), g, videji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi.

Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi.

Sīkbumbuļu ražas kg m<sup>-2</sup> atšķirības starp MSB un starp šķirnēm bija statistiski nebūtiskas 95% līmenī /

*Fig. 3. Yield (SbM), kg m<sup>-2</sup> and average weight (SbAW), g of minitubers depending on planting density of microplants (MSB) and variety, average 2014–2016.*

Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between MSBs within variety.  
 Different uppercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between varieties within MSB.  
 Effect of variety and MSB on minituber yield (kg m<sup>-2</sup>) was not significant at 95% probability level

Visām šķirnēm sīkbumbuļu vidējā masa (SbAW) samazinājās, paaugstinot MSB. Tomēr audzēšanas tehnoloģijas ietekme uz SbAW bija būtiska tikai šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’, savukārt šķirnei ‘Monta’ MSB ietekme nebija statistiski būtiska ( $p=0.134$ ).

Augstāka sīkbumbuļu vidējā masa pie zemākām mikroaugu stādīšanas biezībām atsvēra ar MSB pieaugumu saistīto sīkbumbuļu skaita palielināšanos, tāpēc pie konkrētajām pielietotajām MSB netika novērota būtiska sīkbumbuļu ražas palielināšanās uz sīkbumbuļu skaita pieauguma rēķina.

**Sīkbumbulu ražas sadalījums frakcijās**, iespējams, ir būtiskāks sīkbumbuļu ražu raksturojošs rādītājs nekā sīkbumbuļu vidējā masa, jo sīkbumbuļu frakcijai ir būtiska ietekme uz augu no sīkbumbuļiem augšanu un attīstību lauka apstākļos.

Genotipa ietekme uz sīkbumbuļu skaitu katrā no frakcijām (SskF) vidēji visām mikroaugu stādīšanas biezībām (MSB) bija statistiski būtiska. Genotips būtiski ietekmēja arī katras frakcijas īpatsvaru % (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā.

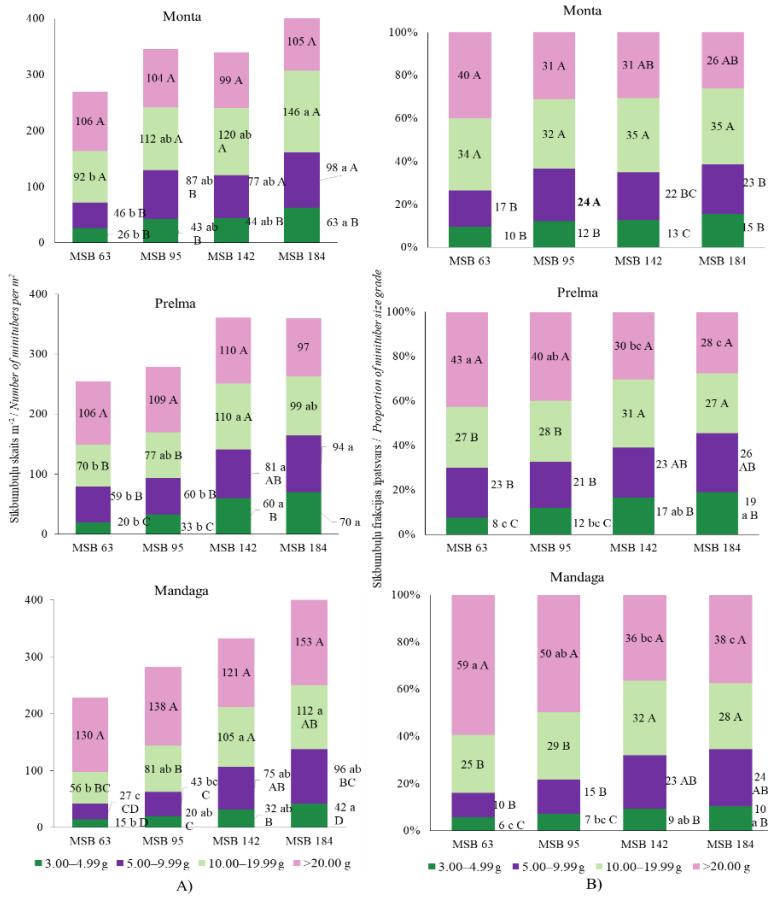
Lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr visās MSB šķirnei ‘Mandaga’ bija lielākais  $\geq 20.00$  g (f4) sīkbumbuļu skaits un šīs frakcijas īpatsvars (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā, salīdzinot ar šķirnēm ‘Monta’ un ‘Prelma’. Šķirnei ‘Mandaga’ bija arī mazākais sīkbumbuļu skaits 3.00–4.99 g frakcijā un un šīs frakcijas īpatsvars F% visās MSB.

Mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) ietekme. Paaugstinot MSB, visām šķirnēm, lai arī ne vienmēr būtiski, bet pieauga sīkbumbuļu skaits frakcijās (SskF) 3.00–4.99 g (f1), 5.00–9.99 g (f2) un 10.00–19.99g (f3) (3. att A). Savukārt  $\geq 20$  g (f4) frakcijā, nevienai no šķirnēm SskF dažādās MSB būtiski nemainījās (lai arī šķirnei ‘Mandaga’ sīkbumbuļu skaitam šajā frakcijā bija tendence pieaugt, paaugstinoties MSB).

Katrā no MSB visām šķirnēm SskF un F% divās lielāko sīkbumbuļu frakcijās (f3 un f4) bija, lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr augstāki nekā mazāko sīkbumbuļu frakcijā f1 (4. att. A un B), līdz ar to, pat pieaugot MSB, saglabājās sīkbumbuļu frakciju sadalījums ar novirzi pa labi jeb lielāko sīkbumbuļu frakciju virzienā. Šādas tendences saglabāšanas liecina, ka pastāv potenciāls nepieciešamības gadījumā paaugstināt MSB virs MSB184, jo sīkbumbuļu skaita pieaugums nedaudz augstākā biezībā visdrīzāk būtiski nenovirzītu frakciju sadalījumu mazāko sīkbumbuļu frakciju virzienā. Tomēr, lai noteiktu maksimālās MSB, pie kurām vēl nenotiku šāda novirzīšanās, jāveic atsevišķi izmēģinājumi, ja šādu nepieciešamību radītu ražošanas apstākļi.

Nevenā no sīkbumbuļu frakcijām netika novērota statistiski būtiska genotipa un MSB mijiedarbības ietekme uz SskF (p vērtības robežas no 0.187 līdz 0.815).

**Sīkbumbulu ražu raksturojošu rādītāju izmaiņu tendences mikroaugu stādīšanas biezības izmaiņu ietekmē.** Izmaiņu virziens, paaugstinoties mikroaugu stādīšanas biezībai (MSB), dažādiem ražu raksturojošiem rādītājiem bija atšķirīgs. Pavairošanas koeficientam siltumnīcā (PkoeffS) bija tendences samazināties, sīkbumbuļu skaitam  $m^{-2}$  (SbS) – pieaugt, sīkbumbuļu raža  $m^{-2}$  (SbM) būtiski nemainījās, bet sīkbumbuļu vidējā masa (SbAW) – samazinājās. Atšķirās ar relatīvais izmaiņu lielums procentos.



4. att. Sīkbumbuļu skaits ražas frakcijās, jeb SskF (A) un frakcijas īpatsvars (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā (B) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biezības (MSB), vidēji 2014.–2016. g. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp MSB atsevišķi katrai pētītajai frakcijai (atsevišķi A un B). Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp sīkbumbuļu skaitu frakcijā (A) un frakcijas īpatsvaru (B) katras MSB ietvaros. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī nepastāv būtiskas atšķirības starp grupām (attiecīgi mazie burti starp MSB, vai lielie burti MSB ietvaros).

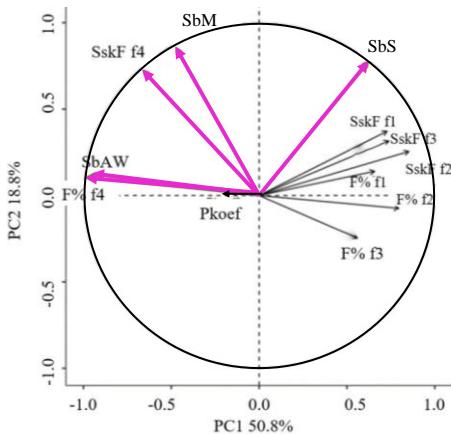
Grupu salīdzināšana veikta katrai šķirmei atsevišķi /

*Fig. 4. Number of minitubers per size graze (A) and share of the size grade in the total number of minitubers (B) depending on microplants density (MSB). Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between MSB within each size grade of minitubers (A) and B) separately). Different uppercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between size grade (A) and between the size grade (B) within each MSB separately If no letter is added, differences between groups are not significant at the 95% probability level. Each variety is analysed separately*

Salīdzinājumā ar bāzes stādīšanas biezību MSB63, šķirnei ‘Monta’ SbS relatīvais pieaugums bija lielāks nekā PkoefS samazināšanās tikai pie MSB95 un pie nākamajām MSB šī izmaiņu tendence mainījās. Šķirnei ‘Prelma’ SbS relatīvais pieaugums, paaugstinoties MSB, pārsniedza relatīvo PkoefS samazināšanos vēl pie MSB142, bet pie MSB184 tendence mainījās un PkoefS samazinājās izteiktāk nekā pieauga SbS. Tikai ‘Mandaga’ pie augstākās MSB184 saglabāja relatīvo izmaiņu tendenci, kad SbS relatīvais pieaugums bija lielāks nekā PkoefS samazinājums (attiecīgi 76% un -40%), līdz ar to šai šķirnei nepieciešamības gadījumā var tikt pielietota vēl augstāka MSB, saglabājot līdzsvaru starp šo rādītāju izmaiņām, salīdzinājumā ar bāzes MSB. Vismazākās relatīvās izmaiņas bija SbM, turklāt tendence starp šķirnēm un MSB atšķirās un bija gan pozitīva, gan negatīva. Starp divām malējām MSB šis rādītājs pieauga šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’, bet samazinājās šķirnei ‘Prelma’. Savukārt SbAW visām šķirnēm un starp visām analizētajām MSB samazinājās, paaugstinoties MSB, visām šķirnēm saglabājot aptuveni līdzīgu izmaiņu lielumu.

**Korelatīvās sakarības starp pētāmajām pazīmēm.** Veicot galveno komponentu analīzi, pirmajā galvenajā komponentā (PC1) tika apvienotas pazīmes, kuras saistītas ar sīkbumbuļu skaitu  $m^{-2}$  (SbS), bet otrajā galvenajā komponentā (PC2) apvienotas pazīmes, kuras saistītas ar sīkbumbuļu ražu (SbM) (5. att.). PkoefS neietilpa neviens no jaunizveidotajiem komponentiem, jo tā korelācija ar vienu no komponentiem (PC1) bija mazāka par 0.3, līdz ar to šai pazīmei bija ļoti maza slodze uz izveidotajiem PC. Pēc slodzes uz PC1 visietekmīgākais rādītājs bija sīkbumbuļu skaits  $m^{-2}$  (SbS). Sīkbumbuļu skaita pieaugums visvairāk ietekmēja sīkbumbuļu skaitu trijās mazāko sīkbumbuļu frakcijās, bet netika konstatēta būtiska sakarība starp sīkbumbuļu skaitu frakcijā f4 ( $\geq 20$  g) un kopejo sīkbumbuļu skaitu  $m^{-2}$ . Savukārt tieši šai frakcijai bija visciešākā sakarība ar sīkbumbuļu ražu (SbM), bet šīs frakcijas īpatsvaram – ar viena sīkbumbuļa vidējo masu (SbAW). Sīkbumbuļu skaitam f4 frakcijā bija negatīva sakarība ar sīkbumbuļu skaitu pārējās frakcijās, kuras savā starpā korelēja pozitīvi. Konstatētas būtiskas un vidēji ciešas līdz ciešas sakarības starp SbAW un sīkbumbuļu skaitu visās frakcijās un visu frakciju īpatsvaru.

Visciešākā sakarība novērota starp SbAW un lielāko sīkbumbuļu frakcijas ( $\geq 20$  g) īpatsvaru un tā bija  $r=0.937$ ,  $p<0.001$ , savukārt ar pārējām sīkbumbuļu frakcijām SbAW korelēja vidēji cieši līdz cieši un negatīvi. Regresijas analīze parādīja, ka lielāko sīkbumbuļu frakcijas īpatsvara pieaugums par 88% izskaidroja viena sīkbumbuļa vidējās masas pieaugumu. Arī regresijas modeli SbAW un katrai no mazākajām frakcijām bija statistiski būtiski, tomēr ar tajos iegūtajiem determinācijas koeficientiem varēja izskaidrot salīdzinošu mazāku daļu SbAW variēšanas (32–57% atkarībā no frakcijas).



5. att. Rādītāju slodze uz galvenajiem komponentiem (PC) un sakarības starp pazīmēm.

Violeti krāsotās bultas (vektori) apzīmē pazīmes, kurām ir vislielākā ietekme uz citu attiecīgajā PC ietilpst ošo rādītāju variēšanu. /

*Fig. 5. Factor loadings on principal components (PC) and relationships between traits. Purple arrows indicate traits that has the highest loading on relevant PC*

SbS – sīkbumbuļu skaits  $m^{-2}$  / Number of minitubers per  $m^2$ ; Pkoeff – pavairošanas koeficients siltumnīcā / Multiplication rate in greenhouse; SbM – sīkbumbuļu raža / Yield of minitubers; SbAW – sīkbumbuļa vidējā masa / Average weight of minituber; SskF – sīkbumbuļu skaits frakcijā / Number of minitubers per size grade; F% – frakcijas īpatvars kopējā sīkbumbuļu skaitā, % / Share of the size grade in the total number of minitubers

f1 – sīkbumbuļu frakcija 3.00–4.99 g / size grade of minitubers 3.00–4.99 g

f2 – sīkbumbuļu frakcija 5.00–9.99 g / size grade of minitubers 5.00–9.99 g

f3 – sīkbumbuļu frakcija 10.00–19.99 g / size grade of minitubers 10.00–19.99 g

f4 – sīkbumbuļu frakcija  $\geq 20.00$  g / size grade of minitubers  $\geq 20.00$  g

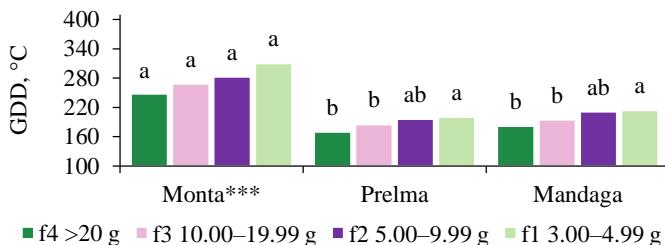
### Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstāklos

**Sadīgšanai nepieciešamais laiks un laukdīdzība.** Reģionos, kuros kartupeļus stāda relatīvi vēlu un kuros raksturīga liela mākoņainība, kam atbilst arī Latvijas apstākļi, augi saņem salīdzinoši mazāk fotosintēzei nepieciešamās saules radiācijas nekā būtu nepieciešams. Tāpēc ļoti nozīmīga ir ātra augu, tajā skaitā no sīkbumbuļiem, sadīgšana, kurai seko strauja cera attīstība, lai uz Ziemeļiem vairāk novietotajos reģionos augi varētu izmantot pēc iespējas ilgāk augšanai, attīstībai un ražas veidošanai nepieciešamo saules radiāciju.

Genotips jeb šķirne un sīkbumbuļu frakcija (SbF) būtiski ietekmēja laiku līdz bija sadīguši 50% sīkbumbuļu (E50%), tomēr frakcijas ietekme katrai šķirnei parādījās tikai vienā no audzēšanas gadiem (šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ – 2015. gadā, bet šķirnei ‘Monta’ – 2016. gadā). Netika konstatēta statistiski

būtiska mijiedarbība starp genotipu un SbF (E50%  $p=0.895$ ). Visām šķirnēm kalendārais laiks, kas bija nepieciešams līdz sadīga 50% no iestādītajiem sīkbumbuļiem, būtiski atšķirās starp gadiem, turklāt atšķirība bija būtiska visām iestādīto sīkbumbuļu frakcijām. Valdot siltākām gaisa temperatūrām 2014. gada sezonas sākumā, sīkbumbuļi sadīga būtiski ātrāk nekā 2015. gadā, kas bija temperatūras ziņā sadīgšanai vismazāk labvēlīgais gads. Šķirnes ‘Monta’ lielākās frakcijas sīkbumbuļiem 2015. gadā bija nepieciešamas 29 dienas pēc stādīšanas, lai sadīgtu vismaz 50% ceru, šķirnei ‘Prelma’ attiecīgās frakcijas sīkbumbuļi sadīga 17 dienas pēc stādīšanas, bet šķirnei ‘Mandaga’ – 19 dienas pēc stādīšanas. Salīdzinājumā 2014. gadā tās attiecīgi bija 19, 12 un 14 dienas. Kopumā sīkbumbuļu sadīgšanai labvēlīgākajos 2014. un 2016. gados bija raksturīgs ļoti straujš dīgšanas sākums, it īpaši starp 13. un 17. dienu pēc stādīšanas.

Lai raksturotu laiku, kas nepieciešams dažādu frakciju sīkbumbuļu sadīgšanai vidēji trīs gadiem, izvēlēta konservatīvāka pieeja – augšanas grādu dienas (GDD), kas parādīja, ka šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ mazākajiem sīkbumbuļiem (3.00–4.99 g) nepieciešams būtiski vairāk GDD nekā lielākajiem sīkbumbuļiem ( $\geq 20.00$  g) (6. att.).



6. att. Līdz 50% sadīgšanai nepieciešamais termālais laiks GDD, vidēji 2014.–2016. g. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. \*\*\* šķirne būtiski atšķiras ( $p<0.001$ ) no pārējām šķirnēm katrā sīkbumbuļu frakcijā atsevišķi /

*Fig. 6. Thermal time (GDD) to 50% emergence, average 2014–2016. Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between size grades of minitubers within variety. \*\*\* variety had significantly ( $p<0.001$ ) different GDD to 50% emergence*

Analizējot laukdīdzību jeb kopējo sadīgušo ceru skaitu %, kas tika noteikts 50. dienā pēc sīkbumbuļu stādīšanas, konstatētas būtiskas atšķirības starp šķirnēm un sīkbumbuļu frakcijām, bet faktoru mijiedarbība nebija būtiska ( $p=0.052$ ). Šķirnei ‘Monta’ sadīga būtiski mazāk ceru katrā sīkbumbuļu frakcijā, salīdzinājumā ar pārējo šķirņu atbilstošajām frakcijām.

Nevienā no audzēšanas gadiem šķirnei ‘Monta’ netika novērota 100% laukdīdzība, bet 2015. gadā, kad, atkarībā no SbF, sadīga tikai 68–84%

sīkbumbuļu, laukdīdzības vērtība būtiski atšķirās no konstatētās 2014. un 2016. gadā, kuros divām mazāko sīkbumbuļu frakcijām vidēji sadīga 85% ceru, bet divām lielāko sīkbumbuļu frakcijām – 92% ceru. Šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ nebija būtiskas atšķirības starp gadiem sadīgušo ceru skaitā (attiecīgi  $p=0.086$  un  $p=0.557$ ) un visām sīkbumbuļu frakcijām novēroja 99–100% laukdīdzību.

**Lakstu saklaušanās vagās.** Lai gan lakstu saklaušanos vagās var ietekmēt faktori, kas nav iesaistīti augu attīstības regulēšanā, piemēram, attālums starp vagām, tomēr to uzskata par būtisku kartupeļu attīstību raksturojošu fāzi, jo tad augi sasniedz maksimālo fotosintētisko virsmu, tāpēc pēc iespējas agrāka augsnes nosegšana var pozitīvi ietekmēt ražu.

Laiku dienās pēc sadīgšanas līdz laksti sakļaujas vagās būtiski ietekmēja gan sīkbumbuļu frakcija, gan genotips. Laksti no lielākiem sīkbumbuļiem, lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr sakļāvās ātrāk nekā laksti no mazākiem sīkbumbuļiem. Šķirnei ‘Monta’ nepieciešams būtiski mazāk laika (vidēji 28 pēc sadīgšanas f1, 34 dienas f2), lai laksti sakļautos. Šķirnei ‘Prelma’ laksti no f4 sīkbumbuļiem sakļāvās vidēji pēc 31 dienas pēc sadīgšanas, f1 sīkbumbuļiem – 42 dienas pēc sadīgšanas. Šķirnei ‘Mandaga’ attiecīgi 35 un 42 dienas pēc sadīgšanas. Novērotas arī būtiskas atšķirības starp gadiem. Būtiski mazāk laika pēc ceru sadīgšanas, lai laksti sakļautos, bija nepieciešams 2015. gadā, savukārt 2016. gadā bija visizteiktākās atšķirības atkarībā no SbF, jo, iespējams, negatīva ietekme uz augu attīstību bija stiprajām lietusgāzēm jūnijs trešajā dekādē, kuru rezultātā varēja samazināties skābekļa daudzums augsnē.

**Stublāju skaits ceros, kuri izveidojušies no sīkbumbuļiem.** Stublāju skaits cerā ir viena no būtiskākajām pazīmēm, kas raksturo iestādītā sēklas materiāla fizioloģisko stāvokli un ceru augšanas sparu. Stublāju skaitam ir būtiska ietekme uz ražas bumbuļu skaitu gan no cera, gan rezultātā arī no platības.

Stublāju skaits bija būtiski atkarīgs gan no genotipa, gan no sīkbumbuļu frakcijas. Šķirnei ‘Monta’ bija būtiski mazāk stublāju nekā šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ (2. tab.). Kopumā mazākais stublāju skaits iegūts no mazākajiem sīkbumbuļiem (f1, 3.00–4.99 g) šķirnei ‘Monta’ 2014. gadā (1.3 stublāji), bet lielākais – no lielākajiem sīkbumbuļiem (f4,  $\geq 20$  g) šķirnei ‘Prelma’ 2016. gadā (4.7 stublāji). Visām šķirnēm no f4 sīkbumbuļiem iegūtajiem ceriem bija būtiski vairāk stublāju nekā tiem, kas iegūti no f1 sīkbumbuļiem.

**Bumbuļu skaits cerā un pavairošanas koeficients (PkoefL).** Ražas bumbuļu skaits no sadīgušā cera parāda šķirnes potenciālu, savukārt izteikts kā ražas bumbuļu skaits pret iestādīto sīkbumbuļu skaitu jeb PkoefL, tas parāda faktisko situāciju ražošanas apstākļos, kad var nebūt novērojama 100% laukdīdzība. Abu rādītāju aprēķināšanai šajā pētījumā izmantots  $>25$  mm lielu ražas bumbuļu skaits, kas ir mazākais kartupeļu sēklas materiāla izmērs. Veicot t-testu, tika noskaidrots, ka šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ atšķirības starp ražas bumbuļu skaitu no sadīgušā cera un PkoefL nebija statistiski būtiskas (attiecīgi  $p=0.117$  un  $p=0.054$ ), bet šķirnei ‘Monta’ šo rādītāju vērtības savstarpēji atšķirās

būtiski ( $p<0.001$ ), kas saistīts ar šķirnes zemo laukdīdzību pētījuma gados. Trīs gadu vidējais bumbuļu skaits cerā šķirnei ‘Monta’ bija 5.5 bumbuļi no mazākajiem (f1) un 8.1 bumbuļi no lielākajiem sīkbumbuļiem (f4), bet PkoefL bija attiecīgi 4.2–7.6 ražas bumbuļi no cera.

2. tabula / Table 2

**Stublāju skaits cerā atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g. / Number of stems per plant depending on variety and size grade of minitubers, 2014–2016**

Sīkbumbuļu frakcija, g / Size grade of minitubers, g	Stublāju skaits cerā / Number of stems per plant								
	Monta ***			Prelma			Mandaga		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
f1 3.00–4.99	1.3 bB	1.4 bAB	1.6 cA	1.6 b	1.6 c	1.6 c	1.6 b	1.9 c	1.6 c
f2 5.00–9.99	1.6 b	1.3 b	1.6 c	2.0 b	1.8 c	2.2 c	2.1 b	2.2 c	2.2 bc
f3 10.00–9.99	1.8 bAB	1.5 abB	2.1 bA	2.7 a	2.3 b	3.0 b	2.5 ab	3.2 b	2.8 b
f4 ≥20.00	2.5 aB	1.7 aC	3.1 aA	3.3 aC	4.0 aB	4.7 aA	3.3 aB	4.1 aAB	4.2 aA

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei katrā gadā atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp gadiem katrai frakcijai un šķirnei atsevišķi. Ja neviens borts nav pievienots, tad 95% līmenī audzēšanas gadam nebija būtiska ietekme uz stublāju skaitu cerā. \*\*\* stublāju skaits cerā šķirnei būtiski atšķiras ( $p<0.001$ ) no pārējām šķirnēm / Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between size grades of minitubers within variety and year. Different uppercase letters indicate significant differences between growing years within size grade of minitubers and variety. If no letter is added, growing year did not have a significant effect at the 95% probability level.

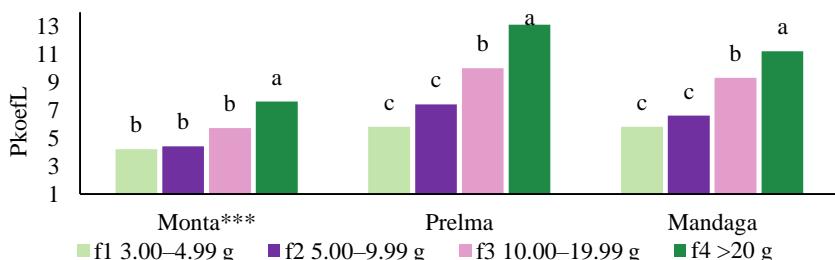
\*\*\* variety had significantly different ( $p<0.001$ ) number of stems

Genotipa un sīkbumbuļu frakcijas (SbF), kā arī abu faktoru mijiedarbības ietekme gan uz PkoefL, gan uz ražas bumbuļu skaitu no sadīgušā sīkbumbuļa bija būtiska.

Visām šķirnēm no lielākiem sīkbumbuļiem ieguva vairāk ražas bumbuļu gan aprēķinot to kā  $>25$  mm lielu ražas bumbuļu skaitu pret sadīgušo ceru, gan pret iestādīto bumbuli (PkoefL) (7. att.). Kopumā šķirnei ‘Monta’ PkoefL bija būtiski zemāks nekā pārējām šķirnēm, kurām šis rādītājs būtiski neatšķīrās un bija no 5.8–11.2 šķirnei ‘Mandaga’ un 5.8–13.1 šķirnei ‘Prelma’.

Tika konstatēta būtiska pozitīva sakarība starp stublāju skaitu ceram un  $>25$  mm lielu ražas bumbuļu skaitu cerā. Vidēji visām šķirnēm, pieaugot stublāju skaitam cerā par vienu stublāju, ražas bumbuļu skaits pieauga par 2.57 un stublāju

skaits izskaidroja 74% no ražas bumbuļu skaita variēšanas.



7. att. **Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients (PkoefL) atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas vidēji 2014.–2016. g.**

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. \*\*\* šķirnes PkoefL būtiski atšķiras ( $p<0.001$ ) no pārējo šķirņu PkoefL /

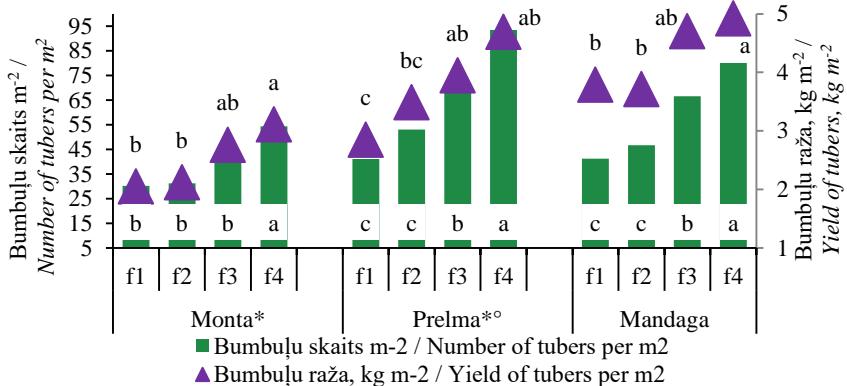
*Fig. 7. Multiplication rate of minitubers (PkoefL) depending on variety and size grade of minitubers, average 2014–2016. Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between size grades of minitubers within variety.*

\*\*\* variety had significantly different ( $p<0.001$ ) PkoefL

**Bumbuļu skaits un raža no 1 m<sup>2</sup>.** Bumbuļu skaitu, un ražu no 1 m<sup>2</sup> būtiski ietekmēja gan šķirne, gan iestādīto sīkbumbuļu frakcija (SbF). Datu parādīja, ka, pieaugot iestādīto sīkbumbuļu frakcijai, pieaug gan ražas bumbuļu skaits, gan to raža m<sup>-2</sup> (8. att.).

Šķirnei ‘Monta’ ieguva vismazāk ražas bumbuļu katrā no frakcijām jeb 30.2 bumbuļus m<sup>-2</sup> no f1, 31.2 bumbuļus no f2, 40.5 bumbuļus no f3 un 54.3 bumbuļus m<sup>-2</sup> no iestādītiem f4 sīkbumbuļiem. Visvairāk bumbuļu no 1 m<sup>2</sup> neatkarīgi no iestādītās sīkbumbuļu frakcijas ieguva šķirnei ‘Prelma’: 41.1 no f1, 53 no f2, 71.3 no f3 un 93.4 bumbuļus m<sup>-2</sup> no f4. Šķirnei ‘Mandaga’ bumbuļu skaits m<sup>-2</sup> bija mazāks nekā šķirnei ‘Prelma’, tomēr nevienā no SbF 95% līmenī tas nebija būtiski mazāks.

Pieaugot SbF, pieauga arī no 1 m<sup>2</sup> iegūto bumbuļu raža, un visām šķirnēm no f1 ieguva būtiski mazāku bumbuļu ražu m<sup>-2</sup> nekā no f4 sīkbumbuļiem. Šķirnei ‘Monta’ no visu frakciju sīkbumbuļiem ieguva būtiski mazāku bumbuļu ražu m<sup>-2</sup> (2.1 kg no f1 līdz 3.1 kg no f4) nekā pārējām šķirnēm (2.9–4.7 kg šķirnei ‘Prelma’ un 3.8–4.9 kg šķirnei ‘Mandaga’). Vislielākais relatīvais ražas bumbuļu skaita un ražas pieaugums, pieaugot SbF, bija šķirnei ‘Prelma’, kurai no f4 sīkbumbuļiem ieguva 2.3 reizes vairāk ražas bumbuļu un 1.6 reizes lielāku bumbuļu ražu nekā no f1 sīkbumbuļiem.



8. att. Ražas bumbuļu ( $>25$  mm) skaits un raža,  $\text{kg m}^{-2}$  atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas vidēji 2014.–2016. g.

f1 ir 3.00–4.99 g, f2 ir 5.00–9.99 g, f3 ir 10.00–19.99, f4 ir  $\geq 20$  g sīkbumbuļi.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Burti stabīndiagrammas stabību iekšienē apzīmē atšķirības bumbuļu skaitā, bet virs trijsūriem – atšķirības pēc ražas. \* šķirne būtiski atšķiras ( $p<0.05$ ) no pārējām šķirnēm katrā sīkbumbuļu frakcijā atsevišķi. \*\* šķirne būtiski atšķiras no pārējām šķirnēm pēc bumbuļu ražas tikai f1 frakcijā /

*Fig. 8. Number and yield,  $\text{kg m}^{-2}$  of progeny tubers ( $>25\text{mm}$ ) per  $\text{m}^{-2}$  depending on variety and size grade of planted minitubers, average 2014–2016.*

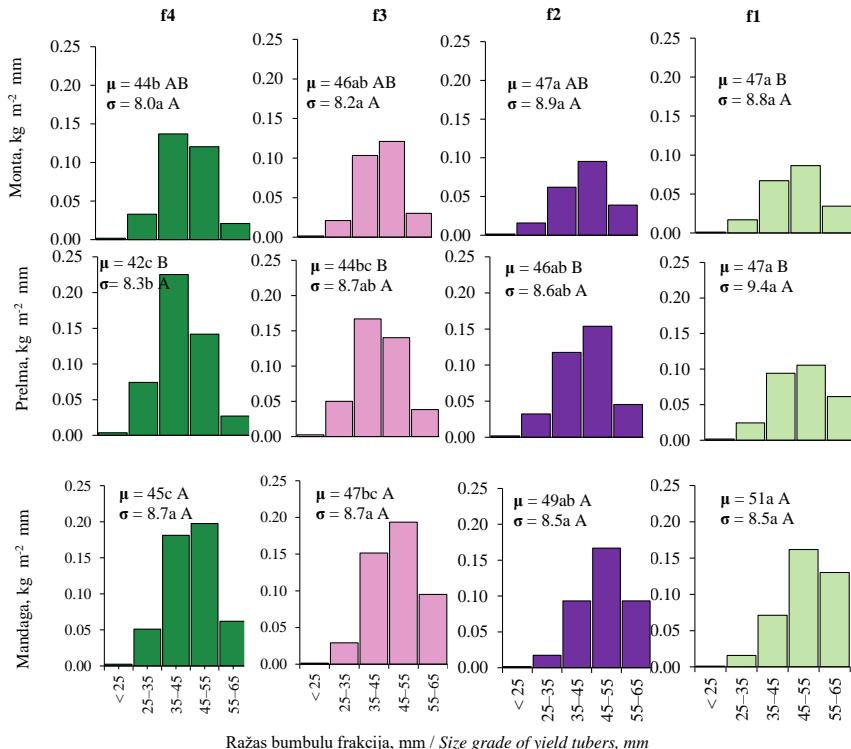
*f1 is 3.00–4.99 g, f2 is 5.00–9.99 g f3 is 10.00–19.99, f4 is  $\geq 20$  g size grades of planted minitubers. Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) in yield and progeny tuber number between size grades of minitubers within variety. Letters inside the bars refer to differences in number of tubers, letters at the triangles refer to yield differences. \*variety had significantly different ( $p<0.05$ ) number and yield of tubers; \*\*variety had significantly different yield of tubers only in f1*

Galvenais iemesls tam, ka ražas izmaiņas ir relatīvi mazāk izteiktas, salīdzinot ar bumbuļu skaita izmaiņām, saistīts ar ražas bumbuļu skaitu un vidējo masu. Lauciņos, kuros ir lielāks ražas bumbuļu skaits, to vidējā masa samazinās, līdz ar to samazinās ražas pieaugums. Pētījumā iegūtā sakarība (vidēji visām šķirnēm) starp bumbuļu skaitu un vidējo masu bija būtiska, vidēji cieša un negatīva ( $r=-0.521$ ,  $p<0.001$ ). Šo rezultātu visvairāk ietekmēja tas, ka šķirnei ‘Monta’ bumbuļu vidējā masas samazinājums starp SbF nebija būtisks 95% līmenī. Minētā sakarība atsevišķi šķirnei ‘Prelma’ bija cieša, negatīva ( $r=-0.705$ ,  $p<0.001$ ), bet ‘Mandagai’ korelāciju raksturoja  $r=-0.693$  ( $p<0.001$ ).

**Ražas bumbuļu sadalījums frakcijās.** Kartupeļu ražas izmērs ir viens no galvenajiem ražu raksturojošiem rādītājiem. Preču produkcijai atbilstošs bumbuļu lielums ir atkarīgs no paredzētā produkcijas izmantošanas veida. Svarīga ir arī pēc iespējas mazāka bumbuļu izmēra variēšana ap bumbuļu vidējo izmēru.

Šajā pētījumā ražas sadalījums frakcijās izteikts kā katra bumbuļu izmēra

milimetra raža kilogramos  $m^{-2}$  (9. att.).



9. att. Ražas bumbuļu sadalījums frakcijās, vidēji 2014.–2016. g.

f1 ir 3.00–4.99 g, f2 ir 5.00–9.99 g f3 ir 10.00–19.99, bet f4 ir ≥20 g sīkbumbuļi.  $\mu$  ir ražas bumbuļu izmērs mm, kuram ir visbiežākā sastopamību datu kopā;  $\sigma$  ir standartnovirze. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ )  $\mu$  un  $\sigma$  atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp šķirnēm atsevišķi katrai iestādīto sīkbumbuļu frakcijai /

*Fig. 9. Progeny tuber size distribution depending on size grade of planted minituber and cultivar, average 2014–2016.*

f1 is 3.00–4.99 g , f2 is 5.00–9.99 g f3 is 10.00–19.99, f4 is ≥20 g size grades of planted minitubers.  $\mu$  – the size grade of progeny tubers with the highest frequency in data set;  $\sigma$  – standard deviation. Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) in  $\mu$  and  $\sigma$  between size grades of planted minitubers within variety. Different uppercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between varieties within size grade of minitubers

Bumbuļu izmērs ar visbiežāko sastopamību datu kopā ( $\mu$ ) bija būtiski atkarīgs gan no genotipa, gan no iestādītās sīkbumbuļu frakcijas (SbF), bet mijiedarbība starp faktoriem nebija būtiska ( $p=0.470$ ). Savukārt bumbuļu izmēra standartnovirze ( $\sigma$ ) bija būtiski atkarīga tikai no SbF, bet ne šķirne ( $p=0.188$ ), ne faktoru mijiedarbība to būtiski neietekmēja ( $p=0.340$ ).

Izvērtējot grafisko attēlojumu ražas sadalījumam frakcijās (9. att.), redzams, ka vistuvāk normālam sadalījumam atradās raža, kas iegūta no f4 sīkbumbuļiem. Samazinoties SbF, visām šķirnēm novēroja lielākas ražas proporcijas novirzīšanos lielāko ražas bumbuļu frakciju virzienā. Tomēr jāatzīmē, ka šķirnei ‘Mandaga’ visos variantos tika novērots, ka lielākā ražas daļa atradās nevis vidējā, bet otrajā lielākajā (45–55 mm) frakcijā, kas kopumā ir visai raksturīgi vēlīnākām šķirnēm.

Visām šķirnēm  $\mu$  vērtība ražai no mazākajiem sīkbumbuļiem (f1) bija būtiski lielāka (47–51 mm) nekā  $\mu$  vērtība ražai no lielākajiem (f4) sīkbumbuļiem (42–45 mm), līdz ar to ražā no mazākām SbF pieauga lielāko ražas frakciju daļa. Standartnovirzes vērtība bija robežās no 8.0–9.4 mm un tika novērota tendence, ka tās vērtība pieauga, pieaugot  $\mu$  vērtībai. Šīs lineārās sakarības dēļ, variācijas koeficient (CV<sub>r</sub>) varētu uzskatīt par stabilāku bumbuļu izmēra vairēšanas mēru, tāpēc variēšana kā standartnovirze ( $\sigma$ ) tika aizstāta ar CV<sub>r</sub> un tā rezultātā ražas  $\mu$  variēšana vairs būtiski neatšķīras starp ražu no dažādām iestādīto sīkbumbuļu frakcijām ( $p=0.705$ ). Vidēji ražai no visām SbF CV<sub>r</sub> bija no 17% šķirnei ‘Mandaga’ līdz 19% šķirnei ‘Prelma’. Tādējādi raža no katras pētītās sīkbumbuļu frakcijas bija samērā viendabīga iegūto bumbuļu ziņā, jo tika novērota relatīvi neliela variēšana ap vidējo izmēru  $\mu$  jeb bumbuļu izmēru, kuram novērota visbiežākā sastopamība katrā datu kopā. Tas liecina, ka no visām sīkbumbuļu frakcijām potenciāli var iegūt lielu proporciju noteiktam izmēram atbilstošas preču produkcijas.

### Sīkbumbuļu lauka vērtība

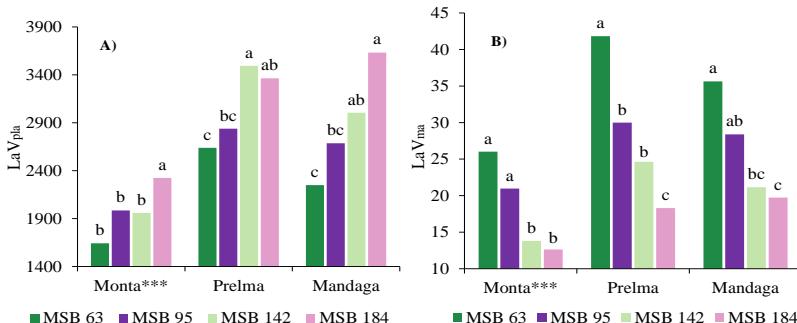
Tā kā AREI ne tikai saražo sīkbumbuļus, bet veic pilnu kartupeļu sēklaudzēšanas ciklu, tad bija svarīgi noskaidrot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti arī pirmās lauka paaudzes kontekstā.

Pētījuma ietvaros tika izveidots sīkbumbuļu lauka vērtības koncepts, kas sevī apvieno sīkbumbuļu audzēšanas datus un to agronomiskā snieguma lauka apstākļos izvērtēšanas rezultātus. Lauka vērtība noteikta gan siltumnīcas 1 m<sup>2</sup> (LaV<sub>pla</sub>), gan vienam mikroaugam (LaV<sub>ma</sub>). Jo augstāka ir lauka vērtība, jo efektīvāka ir pielietotā mikroaugu stādīšanas biezība (MSB).

Gan viena mikroauga (LaV<sub>ma</sub>), gan siltumnīcas platības vienības (LaV<sub>pla</sub>) lauka vērtību būtiski ietekmēja genotips un mikroaugu stādīšanas biezība. Pieaugot stādīšanas biezībai, pieauga 1 m<sup>2</sup> izaudzēto sīkbumbuļu lauka vērtība, bet no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu lauka vērtība samazinājās (10. att.).

Visām šķirnēm LaV<sub>pla</sub> augstākajā mikroaugu stādīšanas biezībā (MSB184) bija būtiski augstāka nekā zemākajā biezībā (MSB63). Visaugstākā LaV<sub>pla</sub> bija šķirnei ‘Mandaga’, kad siltumnīcā bija pielietota MSB184 un tā bija 3633 sēklas materiāla minimālajam izmēram atbilstoši ražas bumbuļi pirmajā lauka pauzdē, kuri iegūti no >3 g sīkbumbuļiem izaugušiem 1 m<sup>2</sup> siltumnīcas, kurā pielietota stādīšanas biezība 184 mikroaugi m<sup>-2</sup>. Turpretim zemākā LaV<sub>pla</sub>

bija šķirnei ‘Monta’ MSB63 (1641 ražas bumbulis pirmajā lauka paaudzē).



10. att. A) Siltumnīcas laukuma vienības ( $1 \text{ m}^2$ ) lauka vērtība ( $\text{LaV}_{\text{pla}}^{\#}$ )<sup>#</sup> un B) mikroauga lauka vērtība ( $\text{LaV}_{\text{ma}}^{\#}$ )<sup>##</sup> atkarībā no mikroaugu stādīšanas biezības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi.

Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ( $p<0.05$ ) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi.

<sup>#</sup> par 25 mm lielāku bumbuļu skaits pirmajā lauka paaudzē, kuri iegūti no visiem par 3 g smagākiem  $1 \text{ m}^2$  siltumnīcas platūbas izaudzētiem sīkbumbuļiem. <sup>##</sup> par 25 mm lielāku bumbuļu skaits pirmajā lauka paaudzē, kuri iegūti no par 3 g smagākiem sīkbumbuļiem, kuri izaudzēti no viena noteiktā stādīšanas biezībā iestādīta mikroauga /

*Fig. 10 A) Field value of  $1 \text{ m}^2$  of greenhouse ( $\text{LaV}_{\text{pla}}^{\#}$ ) and B) field value of a microplant planted at a particular microplants density (MSB) ( $\text{LaV}_{\text{ma}}^{\#}$ ).*

Different lowercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between MSBs within variety. Different uppercase letters indicate significant differences ( $p<0.05$ ) between varieties within MSB.

<sup>#</sup>the number of progeny tubers (>25 mm) in the first field generation obtained from all minitubers  
 $>3 \text{ g}$  grown in one  $\text{m}^2$  at a particular PD

<sup>##</sup>the number of progeny tubers (>25 mm) in the first field generation obtained from all minitubers  
 $>3 \text{ g}$  obtained from one microplant planted at a particular PD

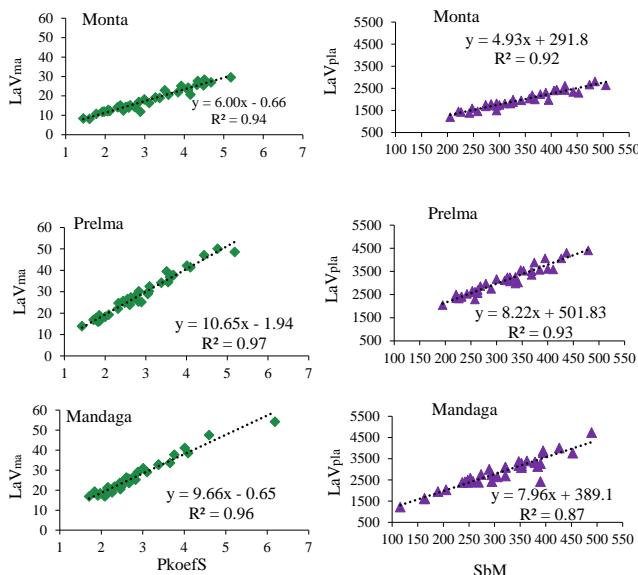
Visām šķirnēm stādītām MSB63  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  bija būtiski augstāka, salīdzinot ar MSB142 un MSB184. Visaugstākā  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  bija šķirnes ‘Prelma’ mikroaugiem stādītiem MSB63 un no viena mikroauga, kurš iestādīts siltumnīcā šajā MSB, iegūtajiem sīkbumbuļiem pirmajā lauka paaudzē ieguva 42 ražas bumbuļus, kuri atbilda minimālajam kartupeļu sēklas materiāla izmēram. Turklat Šī vērtība šķirnei ‘Prelma’ bija būtiski augstāka par abu pārējo šķirņu rezultātiem, kas bija 26 bumbuļi šķirnei ‘Monta’ un 36 bumbuļi šķirnei ‘Mandaga’. Savukārt zemākā  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  bija šķirnei ‘Monta’ MSB184 jeb 13 bumbuļi pirmajā lauka paaudzē.

Salīdzinot aprēķinātās lauka vērtības šķirnēm, redzams, ka šķirnei ‘Monta’ bija gan zemākā  $\text{LaV}_{\text{pla}}$ , gan zemākā  $\text{LaV}_{\text{ma}}$ , lai arī tai bija relatīvi augsts pavairošanas koeficients siltumnīcā (2. att.), kā arī relatīvi augsts sīkbumbuļu skaits  $1 \text{ m}^2$  (1. att.). Līdz ar to tieši salīdzinoši zemais agronomiskais sniegums lauka apstākļos, īpaši pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PkoefL) (7. att.), ietekmēja sīkbumbuļu lauka vērtības, kas visām MSB bija būtiski zemākas nekā

šķirnei ‘Prelma’ un trijās no četrām MSB bija būtiski zemākas nekā ‘Mandagai’.

Atšķirības starp šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ 95% līmenī nebija būtiskas ne  $\text{LaV}_{\text{pla}}$ , ne  $\text{LaV}_{\text{ma}}$ , tomēr sīkbumbuļu lauka vērtību izmaiņu raksturs atkarībā no MSB starp šķirnēm nedaudz atšķīrās. Šķirnei ‘Prelma’ bija augstāk  $\text{LaV}_{\text{pla}}$  no MSB63 līdz MSB142, bet pie MSB184 tā nedaudz samazinājās, savukārt šķirnei ‘Mandaga’ turpināja pieaugt, pāsniedzot šķirnes ‘Prelma’  $\text{LaV}_{\text{pla}}$ . Līdzīga tendence, tikai pretējā virzienā, bija arī attiecībā uz  $\text{LaV}_{\text{ma}}$ .

$\text{LaV}_{\text{pla}}$  un  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  izmaiņu tendences atbilda pavairošanas koeficienta siltumnīcā (PkoefS) un sīkbumbuļu skaita  $1 \text{ m}^2$  (SbS) izmaiņu virzienam, tomēr  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  samazināšanās augstākās mikroaugu stādīšanas biezībās (MSB) un  $\text{LaV}_{\text{pla}}$  pieaugums bija relatīvi mazāki nekā PkoefS un SbS izmaiņas. Tādējādi izpaudās sīkbumbuļu pavairošanas koeficiente lauka apstākļos koriģejošā ietekme uz lauka vērtībām, jo PkoefL ir būtiski atkarīgs no sīkbumbuļu frakcijas. Neskatoties uz to, bija iespējams izveidot būtiskus lineārās regresijas vienādojumus, ar kuriem varēja izskaidrot vairāk nekā 94%  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  datu variēšanas un vairāk nekā 87%  $\text{LaV}_{\text{pla}}$  datu variēšanas (11. att.).



11. att. Sakarība starp pavairošanas koeficiente siltumnīcā (PkoefS) un lauka vērtību vienam noteiktā biezībā iestādītam mikroaugam ( $\text{LaV}_{\text{ma}}$ ) un sakarība starp iegūto sīkbumbuļu skaitu no  $1 \text{ m}^2$  siltumnīcas (SbS) un lauka vērtību siltumnīcas laukuma vienībai ( $\text{m}^2$ ) ( $\text{LaV}_{\text{pla}}$ ) /

Fig. 11. Correlation between multiplication rate in the greenhouse (PkoefS) and the field value of a microplant ( $\text{LaV}_{\text{ma}}$ ) and correlation between number of minitubers (SbS) per unit area and field value of the respective unit area ( $\text{LaV}_{\text{pla}}$ )

Iegūtās sakarības parāda, ka gadījumos, kad audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ietekmē sīkbumbuļu sadalījums frakcijās mainās aptuveni tādā mērā, kā tas bija šajā pētījumā, tehnoloģijas efektivitāti iespējams vērtēt, papildus neveicot sīkbumbuļu agronomiskā snieguma lauka apstākļos izvērtējumu.

### **Mikroaugu stādīšanas biezības paaugstināšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums**

Tā kā parciālā budžeta analīzes metode iekļauj tikai tās izmaksas, kuras izmaiņās, mainot audzēšanas tehnoloģiju, tad ar tās palīdzību var relatīvi vienārši salīdzināt ieņēmumus un zaudējumus, kurus rada tehnoloģijas izmaiņa.

**Parciālā budžeta analīze** parādīja, ka bruto ieņēmumi (BI) pieauga, palielinot mikroaugu stādīšanas biezību (MSB) un bija augstāki tajās MSB, kurās bija lielāks sīkbumbuļu skaits  $m^{-2}$ . Salīdzinot dažādus ražošanas scenārijus, konstatēja, ka BI, līdz ar MSB paaugstināšanu, relatīvi vismazāk pieauga A scenārijā jeb aktuālajā ražošanas scenārijā AREI (mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir to pašizmaksas). Arī mainīgās izmaksas (MI) visos scenārijos pieauga, paaugstinot MSB. Aprēķinot neto ieņēmumus (NI), konstatēja, ka punkts, kurā ražošanas efektivitāte krītas, mainoties MSB, atšķiras starp šķirnēm un ražošanas scenārijiem. Tikai šķirnei ‘Monta’ visos ražošanas scenārijos NI MSB95 bija augstāki nekā NI MSB63.

Savukārt vienīgais scenārijs, kurā NI MSB184 bija augstāki nekā NI MBS63 (šķirnei ‘Prelma’ attiecīgi NI MSB142 augstāks nekā NI MSB63), bija B scenārijs (mikroaugu vērtība ir to pašizmaksas, bet sīkbumbuļu vērtība ir to tirgus cena). Vērtējot NI un MI attiecību (nosacījums, lai tehnoloģija *per se* būtu akceptējama ir  $NI \geq MI$ ), konstatēja, ka bāzes jeb A scenārijā visām šķirnēm būtu akceptējamas MSB63 un MSB95 (3. tab.). B scenārijā, kurš visvairāk atbilst audzēšanas agronomiskās efektivitātes vērtējumam, akceptējamas bija visas MSB, izņemot MSB184 šķirnei ‘Prelma’. Kopumā MSB63 ir akceptējama visos scenārijos, izņemot šķirnei ‘Mandaga’ D scenārijā. Tas nozīmē, ka apstākļos, kad mikroaugi būtu jāpērk un sīkbumbuļi jāpārdod par tirgus cenu, šķirne ‘Mandaga’ būtu jāaudzē zemākā mikroaugu biezībā nekā MSB63.

Veicot **dominances analīzi**, no tālakas vērtēšanas izslēdza tās mikroaugu stādīšanas biezības (MSB), kuru mainīgās izmaksas (MI) bija augstākas, bet neto ieņēmumi (NI) – zemāki nekā secīgi iepriekšējai MSB. Starp neizslēgtajām tehnoloģijām noteica **robežieņēmumu likmi (RiL)** %. Robežieņēmumu analīze parādīja, ka AREI aktuālajā ražošanas scenārijā (A scenārijs) šķirnei ‘Monta’ pozitīva RiL bija tikai mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95 (12. att.). Šķirnei ‘Prelma’ visas MSB virs MSB63 tika izslēgtas, tomēr MSB95 varētu tikt pielietota, ja pieaugtu pieprasījums pēc šīs šķirnes sīkbumbuļiem, jo šajā MSB izpildījās nosacījums  $NI \geq MI$ . Līdzīgi vērtējama tehnoloģijas maiņa šķirnei ‘Mandaga’ kurai RiL starp MSB63 un MSB95 bija tikai 6%. Savukārt, lai arī RiL

starp MSB95 un MSB184 ‘Mandagai’ bija pozitīva (4%), tomēr MSB184 nav ieteicama, jo šajā MSB  $NI < MI$ .

3. tabula / Table 3

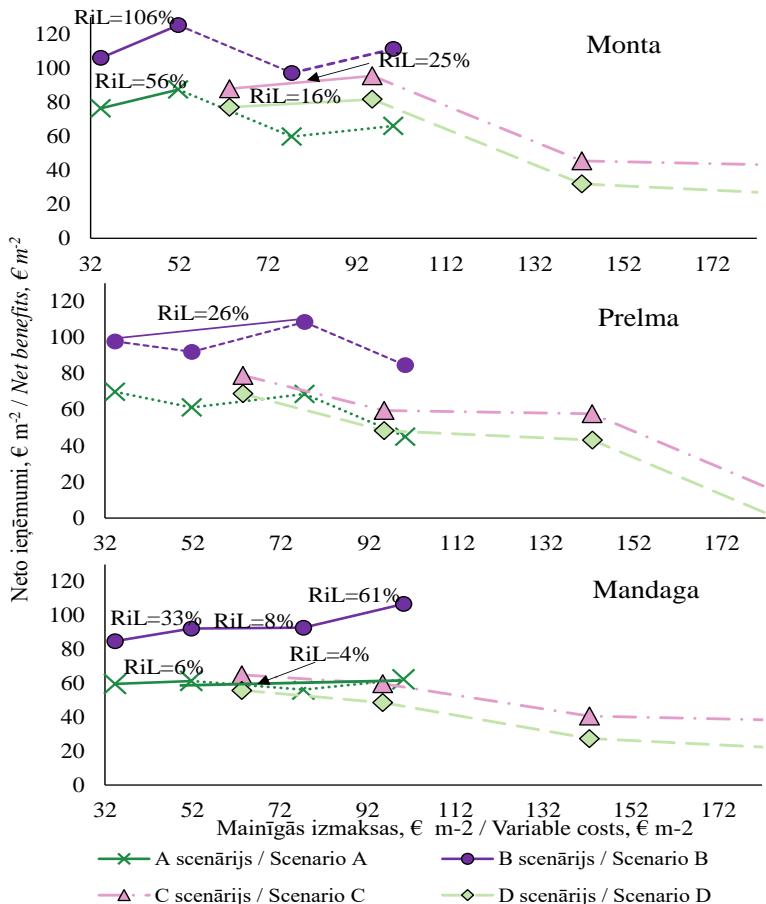
**Neto ieņēmumu un mainīgo izmaksu attiecības analīze atkarībā no mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) un šķirnes / The ratio of net benefits to variable costs depending on microplants density (MSB) and variety**

Scenārijs / Scenario	Mikroaugu stādīšanas biezība, gab m <sup>-2</sup> / Planting density of microplants m <sup>-2</sup>	Monta	Prelma	Mandaga
A	MSB63	+	+	+
	MSB95	+	+	+
	MSB142	-	-	-
	MSB184	-	-	-
B	MSB63	+	+	+
	MSB95	+	+	+
	MSB142	+	+	+
	MSB184	+	-	+
C	MSB63	+	+	+
	MSB95	+	-	-
	MSB142	-	-	-
	MSB184	-	-	-
D	MSB63	+	+	-
	MSB95	-	-	-
	MSB142	-	-	-
	MSB184	-	-	-

Ja neto ieņēmumi pārniedz vai ir vienādi ar mainīgajām izmaksām  $NI \geq MI$ , tad attiecība ir apzīmēta ar “+”, bet ja neto ieņēmumi ir mazāki nekā mainīgās izmaksas  $NI < MI$ , tad attiecība apzīmēta ar “-” /

Cases where net benefits exceed or are equal to variable costs  $NI \geq MI$  are marked with “+”, cases where net benefits are lower than variable costs  $NI < MI$  are marked with “-” /

B scenārijā (mikroaugu vērtība ir to pašizmaksas, sīkbumbuļu vērtība ir tirgus cena) bija vairāk pozitīvu RiL vērtību nekā A scenārijā. Šķirnei ‘Mandaga’ katrā nākamā MSB smiedza pozitīvu RiL, salīdzinot ar mazāko blakusesošo MSB, turklāt augstākā RiL jeb 61% bija starp MSB142 un MSB184. Šķirnei ‘Monta’ noteikti ir ieteicama tehnoloģijas maiņa no MSB63 uz MSB95, jo tā nodrošina RiL 106%, tālakas izmaiņas, neskatoties uz to, ka MSB142 un MSB184 neto ieņēmumi pārsniedz mainīgās izmaksas, nebūtu akceptējamas, jo RiL vērtības ir negatīvas. Savukārt šķirnei ‘Prelma’ vienīgā akceptējamā tehnoloģijas maiņa šajā scenārijā bija no MSB63 uz MSB142.



12. att. Mikroaugu stādīšanas biezības (audzēšanas tehnoloģijas maiņas) neto ienēumu līkne un robežienēmumu likme (RiL)  
neto ienēmu līkne un robežienēmumu likme (RiL)

Uz līnijām novietotie markieri pieaugašā secībā (pirmais markieris apzīmē MSB63 bet pēdējais attiecīgi MSB184) apzīmē mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) atrašanās vietu uz mainīgo izmaksu ass. MSB, kuras izslēgtas pēc dominances analīzes, ir savienotas ar pārtrauktām līnijām.

Neizslēgtās MSB savienotas ar nepārtrauktām līnijām /

*Fig. 12. Net benefit curve of minituber production and marginal rate of return (RiL) Microplant densities that are not dominant are connected with solid lines. Lines are dashed between microplant densities (MSB) that are excluded upon the dominance analysis. Markers denote MSBs and are arranged in ascending order of MSB (the first marker of the relevant scenario indicates MSB63, the last – MSB184)*

C un D scenārijos ne šķirnei 'Prelma', ne 'Mandaga' MSB paaugstināšana virs MSB63 nav rentabla. Turklāt šķirnei 'Mandaga' D scenārijā būtu ieteicams

pat samazināt mikroaugu stādīšanas biezību zem MSB63, lai neto ieņēmumi pārsniegtu mainīgās izmaksas. Šķirnei ‘Monta’ abos scenārijos bija pozitīva RiL, mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95, tomēr izvēle par labu augstākai MSB būtu jābalsta citos apsvērumos, no kuriem galvenie ir pieejamā siltumnīcu platība un sīkbumbuļu skaits, kuru nepieciešams saražot. Turklat D scenārijā, neskatoties uz RiL 16% starp MSB63 un MSB95, MSB95 neizpildījās nosacījums, ka NI  $\geq$  MI.

**Jutīguma analīze** parādīja, ka AREI aktuālajā ražošanas A scenārijā (mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir to pašizmaksas) maksimālā pieļaujamā mikroaugu pašizmaksā šķirnei ‘Monta’ būtu  $0.87 \text{ EUR gab}^{-1}$ , šķirnei ‘Prelma’ –  $0.82 \text{ EUR gab}^{-1}$ , bet šķirnei ‘Mandaga’ –  $0.74 \text{ EUR gab}^{-1}$ . Ja mikroaugu pašizmaksā pieaugtu virs šīm vērtībām, būtu nepieciešams pazemināt mikroaugu stādīšanas biezību zem  $63 \text{ mikroaugiem m}^{-2}$ . Savukārt B scenārijā (mikroaugu vērtība ir to pašizmaksas, bet sīkbumbuļu vērtība ir to tirdzīvā cena) pieļaujama augstāka mikroaugu pašizmaksā, lai varētu saglabāt esošos standarta MSB63.

### **Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā**

Mikroaugu vērtība veido lielāko proporciju no sīkbumbuļu ražošanas izmaksām AREI. Mikroaugu pašizmaksu var samazināt vai nu palielinot ražošanas apjomu, vai arī ražošanā pielietojot paņēmienus, kuri izmaksātu mazāk nekā aktuāli pielietotie. Svarīgi, lai šādi paņēmieni negatīvi neietekmētu mikroaugu pavairošanas rādītājus un tiem nebūtu negatīva pēcietekme uz sekojošo sīkbumbuļu ražu siltumnīcā.

Pārstādot mikroaugus *ex vitro* apstākļos (piemēram, kūdras substrātā siltumnīcā), tie sākotnēji tiek pakļauti stresa apstākļiem, no kuriem nozīmīgākais ir pazemināta mitruma radītais stress, salīdzinājumā ar apstākļiem *in vitro*.

Tāpēc – jo labāk attīstīts (lielāka masa, kas ietver arī lielāku lapu laukumu, labi izveidojušās saknes) ir mikroaugus pirms izstādīšanas *ex vitro*, jo lielāka iespēja, ka tas ātrāk aklimatizēsies un izdzīvos jaunajos apstākļos. Tā kā AREI nepielieto mikroaugu pakāpenisku norūdīšanu, tad labi attīstītie mikroaugiem ir jo lielāka nozīme.

**Morfoloģiskās pazīmes ar dažādiem paņēmieniem izdaudzētiem mikroaugiem.** Pēc morfoloģisko pazīmu salīdzināšanas, jāsecina, ka nevienai no šķirnēm neviens no modificētajiem audzēšanas paņēmieniem kopumā nedod sliktākus rezultātus, salīdzinot ar standarta paņēmienu jeb audzēšanu stikla mēgenēs pildītās ar MS barotni bez pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS (MMS). Tikai šķirnei ‘Prelma’ variantā, kad mikroaugu audzēti cilindriskos plastmasas traukos pildītos ar MS barotni bez pievienotiem vitamīniem citām organiskajām vielām pēc MS (AMS) diviem morfoloģiskajiem parametriem iegūti būtiski zemāki rezultāti (4. tab.). Kopumā

vislabākie rezultāti abām šķirnēm iegūti variantā, kurā mikroaugi audzēti cilindriskos plastmasas trauko pildītos ar MS barotni, kurai pievienoti vitamīni un organiskās vielas pēc MS (AMSV), tomēr šī varianta pielietošana nebūtu vēlama, jo pastāv lielāks kontaminācijas risks, turklāt vitamīnu pievienošana barotnei, lai arī nedaudz, tomēr paaugstina tās izmaksas.

**4. tabula / Table 4**  
**Dažādu mikroaugu audzēšanas paņēmienu salīdzinājums ar standarta audzēšanas paņēmienu (kontroli) / Comparison of different propagation methods of microplants with standard method (control)**

Mikroaugu morfoloģijas pazīme / Morphological traits of microplants	Šķirne / Variety	Mikroaugu audzēšanas paņēmiens / Growing treatment of microplants		
		AMS#	AHMS##	AMSV###
Stublāja masa / Weight of shoots	Monta	==	==	++
	Prelma	==	==	++
Stublāja garums / Height of shoots	Monta	==	==	--
	Prelma	--	==	==
Starpmezglu posmu skaits / Number of shoots' nodes	Monta	==	==	==
	Prelma	==	++	==
Starpmezglu posmu garums / Length of internodes	Monta	==	==	==
	Prelma	--	==	==
Mikroauga masas–garuma attiecība / Weight-height ratio of microplant	Monta	++	==	++
	Prelma	==	==	++
Sakņu masa / Weight of roots	Monta	==	==	++
	Prelma	==	==	--
Sakņu-stublāja masas attiecība / Root-shoot ratio	Monta	==	==	++
	Prelma	++	--	--

AMS ir cilindrisks plastmasas trauks ar MS barotni bez vitamīniem; AMSV ir cilindrisks plastmasas trauks ar MS barotni un pievienotiem vitamīniem; AHMS ir cilindrisks plastmasas trauks ar samazinātās koncentrācijas MS barotni bez vitamīniem.

++ būtiski ( $p<0.05$ ) lielāka vērtība nekā kontroles variantam MMS; -- būtiski ( $p<0.05$ ) mazāka vērtība nekā kontroles variantam MMS; == vērtība būtiski ( $p>0.05$ ) neatšķiras no kontroles varianta MMS; nav datu /

*AMS is cylindrical plastic container with MS medium without vitamins; AMSV is cylindrical plastic container with MS medium containing vitamins; AHMS is cylindrical plastic container with MS medium containing half strength macrosalts without vitamins.*

*++ value significantly ( $p<0.05$ ) exceeded control treatment MMS; -- treatment resulted in significantly lower ( $p<0.05$ ) value than control treatment MMS; == no significant difference ( $p>0.05$ ) between the relevant treatment and control treatment MMS detected; – no data*

No barotnes izmaksu samazināšana viedokļa abām šķirnēm ieteicams audzēšanas paņēmiens, kad mikroaugus audzē cilindriskos platsmasas traukos pildītos ar MS barotni, kurā uz pusī samazināta makrosālu koncentrācija un nav pievienoti vitamīni un citas organiskās vielas pēc MS (AHMS). AREI turpmāk būtu nepieciešams pārbaudīt MS barotnes ar samazinātu mikrosālu koncentrāciju izmantošanas iespējas.

Mūsdienās ir iespējams pārstrādāt dažādu plastmasu materiālus, tajā skaitā traukus no polipropilēna, kuri izmantoti šajā pētījumā. Vienreizlietojamu pārstrādājamu trauku izmantošana pēdējā mikroaugu pavairošanas pasāžā var uzlabot ražošanas efektivitāti no darbaspēka un elektroenerģijas izmaksu samazināšanas viedokļa. Pētījuma gaitā aprēķināts, ka šādu trauku iegādes izmaksas ir 3.6–5.4 reizes zemākas, salīdzinot ar līdz šim izmantoto stikla mēģēju mazgāšanai nepieciešamajām darbaspēka izmaksām. Pievienojot mazgāšanai nepieciešamo ūdens un elektrības resursu izmaksas, šī starpība būtu pat lielāka. Tādējādi vienreizlietojamo trauku izmantošana kartupeļu mikropavairošanā var nozīmīgi samazināt ražošanas izmaksas.

**Raža siltumnīcā.** Lai gan audzēšanas paņēmieni ietekmēja mikroaugu morfoloģiskos parametrus, tomēr tiem nebija būtiska pēcietekme uz sīkbumbuļu, kuri iegūti siltumnīcā no attiecīgajā variantā izaudzētajiem mikroaugiem, skaitu un masu (5. tab.).

5. tabula / Table 5

**Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu ražas parametriem (p vērtības) vidēji 2014. un 2017. g. /  
Effect of propagation treatment of microplants on subsequent yield parameters of minitubers (p-values), average 2014–2017**

Šķirne / Variety	No viena mikroauga iegūtie sīkbumbuļi, gab / Number of minitubers per microplant	No viena mikroauga iegūtie sīkbumbuļi ar masu > 3 g, gab / Number of minitubers >3 g per microplant	No viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu kopējā masa, g / Total weight of minitubers per microplant, g	No viena mikroauga iegūto > 3 g sīkbumbuļu kopējā masa, g / Total weight of minitubers >3 g per microplant, g
Monta	0.569	0.340	0.585	0.551
Prelma	0.503	0.639	0.530	0.378

Šajā pētījumā novērotās mikroaugu morfoloģijas izmaiņas nebija tik nozīmīgas, lai tām būtu būtiska pozitīva pēcietekme uz sekojošo sīkbumbuļu ražu. Tomēr, tā kā pētījumā nevienā no variantiem, salīdzinot ar kontroli,

sīkbumbuļu skaits un raža arī būtiski nesamazinājās, tad var uzskatīt, ka nebija agronomiskas nozīmes izmantotajiem mikroaugu audzēšanas paņēmieniem. Līdz ar to mikroaugu pavairošanai to pēdējā pasāžā var izmantot resursu izmantošanas ziņā efektīvāko paņēmienu, kas šajā pētījumā bija variants AHMS.

## SECINĀJUMI

1. Paaugstinot mikroaugu stādīšanas biezību siltumnīcā (MSB), ir iespējams uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti, iegūstot vairāk sīkbumbuļu no  $1\text{ m}^2$ . Pētījumā tika novērotas atšķirības starp genotipam piemērotāko MSB, kurā stādīšanai lauka apstākļos piemēroto sīkbumbuļu ( $>3\text{ g}$ ) skaits turpināja pieaugt. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’ agronomiski efektīvākā MSB bija augstākā no pētītajām ( $184\text{ mikroaugi m}^{-2}$  jeb MSB184), bet šķirnei ‘Prelma’ – MSB142. Ja ir ierobežota audzēšanas platība un ir brīvi pieejams liels daudzums mikroaugu, tad var pielietot arī MSB184, jo sīkbumbuļu skaits  $\text{m}^{-2}$  šajā MSB šķirnei ‘Prelma’ būtiski nesamazinājās. Paaugstinot stādīšanas biezību siltumnīcā, šķirnēm samazinājās pavairošanas koeficients siltumnīcā, iegūstot mazāku  $>3\text{ g}$  smagu sīkbumbuļu skaitu no viena iestādītā mikroauga. (1. un 4. tēze)
2. Sīkbumbuļu ražu raksturojošu rādītāju izmaiņu tendences MSB izmaiņu ietekmē siltumnīcā starp genotipiem atšķirās, tāpēc arī turpmāk atsevišķi jāvērtē katra audzētā šķirne. (1. un 4. tēze)
3. Paaugstinot MSB samazinājās sīkbumbuļu videjā masa, tomēr saglabājās sīkbumbuļu frakciju proporcijas novirze lielāko sīkbumbuļu frakciju virzienā. Tātad, nepieciešamības gadījumā mikroaugu stādīšanas biezība varētu tikt paaugstināta vēl vairāk, atsevišķi izvērtējot genotipu īpatnības. (1. un 4. tēze)
4. Pirmajā lauka paaudzē mazākiem sīkbumbuļiem bija raksturīga lēnāka sadīgšana, vēlāka lakstu sakļaušanās vagās, tiem veidojās mazāk stublāju. Šķirnei ‘Monta’ mazākajiem sīkbumbuļiem novērota ne tikai būtiski zemāka laukdīdzība šķirnes ietvaros, bet arī visu frakciju sīkbumbuļu zemāka laukdīdzība, salīdzinājumā ar šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’. Nepieciešama sīkbumbuļu glabāšanas apstākļu ietekmes uz laukdīdzību izpēte. (2. tēze)
5. Lauka apstākļos visām šķirnēm no lielākiem sīkbumbuļiem ieguva lielāku ražas bumbuļu skaitu gan aprēķinot to kā  $>25\text{ mm}$  lielu ražas bumbuļu skaitu pret sadīgušo ceru skaitu, gan pret iestādīto bumbuli (pavairošanas koeficients lauka apstākļos). Šķirnei ‘Monta’ visām frakcijām bija būtiski zemāks pavairošanas koeficients lauka apstākļos nekā šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’. (2. tēze)
6. Gan viena mikroauga ( $\text{LaV}_{\text{ma}}$ ), gan siltumnīcas platības vienības ( $\text{LaV}_{\text{pla}}$ ) lauka vērtību būtiski ietekmēja genotips un mikroaugu stādīšanas biezība. Pieaugot stādīšanas biezībai, pieauga vienā kvadrātmētrā izaudzēto sīkbumbuļu lauka vērtība, savukārt no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu lauka vērtība samazinājās. Šādas izmaiņu tendences atbilda pavairošanas koeficienta siltumnīcā un sīkbumbuļu skaita  $\text{m}^{-2}$  izmaiņu virzienam, tomēr izpaudās arī sīkbumbuļu pavairošanas koeficiente lauka apstākļos koriģejošā ietekme uz lauka vērtībām, jo pavairošanas koeficients lauka apstākļos bija būtiski atkarīgs no sīkbumbuļu frakcijas. Bija iespējams izveidot būtiskus

- lineārās regresijas vienādojumus starp  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  un pavairošanas koeficientu siltumnīcā un starp  $\text{LaV}_{\text{pla}}$  un sīkbumbuļu skaitu  $\text{m}^{-2}$ . (3. un 4. tēze)
7. Iegūtās sakarības starp viena mikroauga lauka vērtību un pavairošanas koeficientu siltumnīcā un starp siltumnīcas platības vienības lauka vērtību un sīkbumbuļu skaitu no  $1 \text{ m}^2$  parādīja, ka gadījumos, kad mikroaugu stādīšanas biezības izmaiņu ietekmē sīkbumbuļu sadalījums frakcijās mainās aptuveni tādā mērā, kā tas bija šajā pētījumā, mikroaugu stādīšanas biezības paaugstināšanas efektivitāti iespējams vērtēt, papildus neizvērtējot sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstāklos. (3. tēze)
  8. Veicot parciālā budžeta analīzi, konstatēts, ka aktuālajos sīkbumbuļu ražošanas apstākļos AREI (mikroaugu pašizmaksas 0.54 EUR, sīkbumbuļu pašizmaksas 0.41 EUR jeb A scenārijs) no visām pētītajām mikroaugu stādīšanas biezībām visām šķirnēm *per se* bija akceptējamas tikai divas zemākās mikroaugu stādīšanas biezības (MSB) ( $63 \text{ un } 95 \text{ mikroaugi } \text{m}^{-2}$ ). Vērtējot MSB paaugstināšanas ekonomisko efektivitāti ar robeženesīguma analīzes metodi, tika noskaidrots, ka šķirnei ‘Monta’ A scenārijā pozitīva robeženesīguma likme (RiL) bija tikai mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95. Šķirnei ‘Prelma’ visas MSB virs MSB63 tika izslēgtas, tomēr MSB95 varētu tikt pielietota, ja pieaugtu pieprasījums pēc šīs šķirnes sīkbumbuļiem, jo šajā MSB izpildījās nosacījums, ka neto ieguvums pārsniedz mainīgās izmaksas. Līdzīgi vērtējama MSB paaugstināšana šķirnei ‘Mandaga’ kurai RiL starp MSB63 un MSB95 bija tikai 6%. Savukārt, lai arī RiL starp MSB95 un MSB184 šķirnei ‘Mandaga’ bija pozitīva (4%), tomēr MSB184 nav ieteicama, jo šajā MSB neto ieguvums bija mazāks par mainīgajām izmaksām. Ja mikroaugi būtu jāiegādājas par tirgus cenu, tad akceptējama būtu tikai MSB63 un pat zemākas MSB, bet, ja sīkbumbuļu vērtība būtu tirgus cena, tad šķirnei ‘Mandaga’ efektīva būtu MSB paaugstināšana līdz MSB184, šķirnei ‘Prelma’ līdz MSB142, bet šķirnei ‘Monta’ līdz MSB95.(4. tēze)
  9. AREI pielietoto mikroaugu pavairošanu stikla mēgenēs, pildītās ar pilnas koncentrācijas Murašiges – Skuga barotni, pēdējā pavairošanas ciklā aizvietošana ar audzēšanu vienreizlietojamos plastmasas traukos MS barotnē ar samazinātu makrosāļu saturu būtiski neietekmēja mikroaugu morfoloģiju un neatstāja negatīvu pēcefektu uz sekojošo sīkbumbuļu ražu siltumnīcā no šādi pavairotiem mikroaugiem. Šāda mikroaugu pavairošanas tehnoloģijas maiņa ļautu samazināt mikroaugu ražošanas izmaksas (5. tēze).
  10. Sīkbumbuļu audzētājam lēmumu pieņemšanu par visefektīvāko mikroaugu stādīšanas biezību var būt atkarīga no vairākiem apsvērumiem, piemēram, vai audzēšanas teritorijā ir spēkā 3G (sertificēta sēkla trīs paaudzēs) sēklaudzēšanas stratēģija, kurā jānodrošina liels skaits sīkbumbuļu, vai arī nepieciešams ātri ieviest ražošanā jaunu šķirni. Šādā gadījumā agronomiskās efektivitātes aspekti var dominēt pār ekonomiskiem apsvērumiem.

## Pateicības

Paldies Latvijas biozinātņu un tehnoloģiju universitātes doktorantūras skolai un ESF līdzfinansētajam projektam „LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli” Nr.8.2.2.0/20/i/001 par iespēju pabeigt promocijas darba sagatavošanu. Paldies AREI kolektīvam Priekuļos (līdz 2015. gadam – Valsts Priekuļu laukaugu selekcijas institūts). Īpaš paldies Dr. agr. Ilzei Skrabulei par iepazīstināšanu ar kartupeļu pasauli, par atbalstu izmēģinājumu iekārtošanas organizēšanā, par vērtīgajiem padomiem un diskusijām. Visam Kartupeļu atveselošanas laboratorijas kolektīvam par tehnisko atbalstu mikroaugu sagatavošanā un izmēģinājumu nodrošināšanā, īpaši mūsu bijušajai kolēģei Ēriķai Anmanei (agrāk – Kukemilkai) par lauka novērojumu veikšanu un ražas apstrādi 2015. gadā manas prombūtnes laikā. Paldies Leldei Skrabulei un Līgai Auziņai par palīdzību lauka izmēģinājumu ražas novākšanā. Paldies arī manai bijušajai kolēģei Ievai Mežakai, kura palīdzēja izveidot matemātisku formulu ražas no sīkbumbuļiem sadalījuma frakcijās vērtēšanai. Paldies visām kolēģēm, kuras palīdzēja orientēties terminoloģijas pasaulē, bija ar mieru diskutēt par dažādiem metodiskiem jautājumiem un sniegt citu nepieciešamo atbalstu.

Paldies Latvijas biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes pētniekim Dr. oec. K. Naglim-Liepam un L. Proškinai, kā arī manai kolēģei Dr. oec. S. Ceriņai par konsultatīvu atbalstu ekonomiskās efektivitātes vērtēšanā.

Esmu pateicīga AREI par nodrošināto iespēju apmeklēt zinātniskās konferences, kuru laikā bija iespēja sastapt lieliskus zinātniekus, kuri katrs ir viens no spožākajiem ekspertiem savā ar kartupeļu pētniecību saistītā apakšnozarē. Īpaš paldies prof. V. Lommenai (W. J. M. Lommen) no Vägeningenas universitātes par diskusijām veltīto laiku, kuru rezultātā radās ideja par lauka vērtības konceptu. V. Lommenas plašā pētnieciskā darbība, viņas publikācijas un diskusijās paustais kalpoja par pamatu promocijas darba izmēģinājumu metodikas izveidošanā. Paldies prof. J. Hagmanei (J. Hagman) no Zviedrijas lauksaimniecības universitātes (SLU), kura dalījās savā ar sīkbumbuļiem saistīto pētījumu pieredzē un kura nodrošināja mani ar sevis izstrādātā promocijas darba tēzēm. Paldies dr. D. Firmanam (D. Firman) no Kembridžas universitātes, kurš ļāva izprast un pielietot promocijas darbā izmantoto pieeju ražas bumbuļu sadalījuma frakcijās vērtēšanu (raža lauka apstāklos).

Paldies manai ģimenei par sapratni, ka laiks ir viens no būtiskākajiem resursiem promocijas darba rakstīšanā. Paldies Jānim par atbalstu mūsu mazās meitiņas audzināšanā, kad man, viņai vēl pavismazai esot, bija jādodas komandējumos, lai prezentētu pētījuma rezultātus. Paldies manai meitai Rasai Ilzei par viņas vecumā tik dziļo izpratni par pētnieciskā darba specifiku un to, kāpēc nepieciešams, lai mamma uzrakstītu šo īpašo darbu.

## INTRODUCTION

Potato (*Solanum tuberosum* L.) production is one of the essential agricultural sectors in Latvia, which provides potatoes for direct consumption and processing. One of the prerequisites for its development is the availability and use of quality seed material. Scientists forecast that due to climate change and the increasing spread of diseases, including viral diseases, the most favourable areas for potato seed growing will shift to the Northern regions. Currently, the potato seed production scheme existing in the EU and Latvia states that 7 field generations are possible until certified seed material. However, Nordic researchers predict that the spread of pathogens will increase significantly in this region as well. In Latvia, growing high-quality potato seed material in the field is not favourable due to the high pressure of potato virus vectors (aphids - *Aphis* spp.). One of the solutions to increase the availability of seed material is increasing the efficiency of minituber (potato seed material of the PBTC category) production under controlled conditions. Increasing the number of produced minitubers would help reduce the number of field generations, which could be especially important for varieties that are more susceptible to viral diseases. In several countries (mainly in South America, Africa and Asia), the so-called 3G strategy has already been implemented, which provides certified seeds in three field generations. To achieve the goal of the 3G strategy, emphasis is placed on increasing the production of the first seed generation (minitubers).

To date, few studies on potato seed production have been conducted in Latvia, especially on the production of high-grade seed material. The most remarkable studies before the 21st century were carried out on the effects of viral diseases on potato yield. Also, in the last century, several studies on potato seed yield depending on the size of seed tubers and the planting distance between them have been conducted. Research on minituber production technology (growing in boxes, plastic film beds and rolls) started at the beginning of this century; however, only one article was published on the results.

The experience of other countries in the production of minitubers cannot always be directly applicable, as the opportunities to invest additional resources in both technology and labour must be critically evaluated. Relatively few studies on minituber production efficiency not only *per se* but also connecting it to the multiplication rate in the first field generation have been conducted abroad. The economic efficiency of minituber production has rarely been studied, and there have been no such investigations in Latvia to date. Previous studies evaluating the quantitative yield data in the first field generation have paid little attention to the yield of seed size tubers depending on the size or weight of the planted minitubers.

There is little information available about the possible impact of *in vitro* growing technology (modified medium, different vessels) of microplants on the yield of minitubers in the greenhouse and the possibilities to reduce production

costs by simplifying the applied technologies.

### **The aim of the thesis**

To evaluate the possibilities of improving the efficiency of potato minituber production by changing the planting density of microplants in the greenhouse to ensure a high yield of high-quality seed potato of the first category under field conditions.

### **Research tasks**

1. To assess the effect of increasing the microplant planting density on the number of minitubers of different varieties in the greenhouse.
2. To assess the effect of minituber size on the development of plants and seed yield of different potato varieties under field conditions.
3. To determine the field value of the greenhouse unit area and of one microplant depending on the microplant planting density.
4. To evaluate the economic efficiency of changes in microplant planting densities (minituber growing technology) in a greenhouse.
5. To examine the effects of the propagation method of microplants on the morphology of microplants and the subsequent effects on the number and yield of minitubers in a greenhouse.

### **Hypothesis of the thesis**

The agronomic efficiency of potato minituber production can be increased without significant financial and technological investment, but the most agronomically efficient growing technology is not always the most cost-effective.

### **Thesis to be defended**

1. By increasing the planting density of potato microplants in the greenhouse, the number of minitubers per unit area increases significantly, but the weight of one minituber decreases. At the same time, the number of minitubers obtained from one microplant, or the multiplication factor, also decreases.
2. The development of potato plants from minitubers and the yield of seed tubers obtained (number and weight per area) depend on the size grade of the planted minitubers. Significant differences between varieties exist.
3. The field value of unit area of the greenhouse increases with increasing planting density of microplants; at the same time, the field value of one microplant decreases.
4. Increasing the planting density of microplants in the greenhouse increases the agronomic efficiency of production (the number of minitubers per 1 m<sup>2</sup> and field value of 1 m<sup>2</sup> of greenhouse), but the economic efficiency depends on the value of microplants and minitubers: whether it is the cost price or the market price.

6. The simplification of the technology used in the last passage for the propagation of microplants reduces the cost of production of microplants without having a negative impact on the subsequent yield of minitubers.

### **The novelty of the thesis**

1. Plant development and yield from minitubers in the first field generation depending on their size (grade) have not been assessed in Latvia.
2. An innovative field value concept and corresponding formulas have been created by combining data on the results of minituber production in the greenhouse depending on the applied microplant planting density and the data on field performance of minitubers obtained in the relevant microplant density depending on their size (grade).
3. An evaluation of the economic efficiency of minituber production depending on the growing technology has never been carried out in Latvia. For the first time in Latvia, partial budget and marginal return rate analysis was used to assess the economic effect of changes in production technology.
4. In Latvia, the possible after-effect of changes in the morphology of potato microplants caused by the microplant propagation technique on the yield of minitubers in the greenhouse has not been evaluated thus far.

### **Approbation of study results**

Based on the results of this study, 7 publications have been prepared, five of which are indexed in *Scopus* and/or *Web of Science* databases, and 6 oral and 5 poster presentations have been presented in international scientific conferences.

## MATERIALS AND METHODS

Three trials were conducted as an experimental part of doctoral research in the period from 2014 to 2017.

From 2014 to 2016, two separate trials were conducted using three potato varieties, 'Monta' (early variety), 'Prelma' (medium early) and 'Mandaga' (medium late), developed at the Institute of Agricultural Resources and Economics (AREI):

- I. To evaluate the effect of increasing microplant planting density (growing technology) on yield data of minitubers from different varieties, trials in greenhouse used for potato minituber production were carried out. The obtained data were used for evaluation of agronomic and economic efficiency and for calculation of field value.
- II. Field trials were carried out with the aim of assessing the effect of the size of minitubers on potato plant development and seed yield of different varieties in the first field generation. The obtained data were used for evaluation of agronomic and economic efficiency and for calculation of field value.

A combined trial was conducted from 2014 to 2017 to determine the effect of the composition of the medium and vessels used for the propagation of microplants on the morphological traits of microplants and the subsequent effects on the number and yield of minitubers in the greenhouse. Two varieties ('Monta' and 'Prelma') were evaluated. The experiment was carried out in two stages.

- III.a. Laboratory experiment using different mediums and growing vessels for propagation of microplants. As a result, morphological traits depending on the propagation method were assessed.
- III.b. Greenhouse experiment. Microplants obtained in experiment III.a. were used, and the possible after-effect on the yield of minitubers was assessed.

The evaluation of the economic efficiency using the data obtained in the trials was carried out in 2020 and 2021.

### **Methodology for evaluating the effect of potato microplant planting density on yield parameters of minitubers**

Experimental design. The microplants of the potato varieties needed for the study were propagated in the Potato tissue culture laboratory of AREI. When the required amount of microplants was obtained, they were planted at four different densities (hereinafter referred to as MSB):

- 63 microplants  $m^{-2}$  (MSB63)
- 95 microplants  $m^{-2}$  (MSB95)
- 142 microplants  $m^{-2}$  (MSB142)

- 184 microplants  $\text{m}^{-2}$  (MSB184)

The microplants were planted in the plastic film-covered greenhouse intended for the production of potato seed material of the PBTC category (minitubers) by AREI in Priekuli.

A split-plot design with three replications was used, with varieties assigned as main plots (three varieties or three treatments) and planting density of microplants assigned as subplots (four densities or four treatments). Varieties were randomized within each block, and planting densities were randomized within each main plot.

Each subplot was surrounded by boxes with plants of the same variety and the same MSB to avoid side effects as well as competition between different varieties and MSB; one subplot comprised five boxes. In total, the trial comprised 12 treatments (three varieties  $\times$  four MSB).

Plastic boxes with permeable sides and bottoms were used for planting microplants. The inner dimensions of the boxes were  $0.55 \text{ m} \times 0.35 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$  (length  $\times$  width  $\times$  height), and the total surface area of the box was  $0.19 \text{ m}^2$ . The substrate was placed on the box at a height of  $0.13 \text{ m}$ ; thus, the volume of the substratum was  $0.025 \text{ m}^3$ .

To ensure that the distance between microplants at each MSB in each box and in each replicate was the same and that the same arrangement of microplants was maintained in each treatment, 35 holes (seven holes in five rows) were pressed in the substrate, with a depth of  $0.08 \text{ m}$  and a diameter of  $0.02 \text{ m}$ . The distance between holes was  $0.07 \text{ m}$ .

The highest MSB ( $184 \text{ microplants } \text{m}^{-2}$ ) was obtained by planting microplants into each of 35 holes. To obtain lower densities, a certain number of holes remained empty, maintaining the same distance between microplants within each MSB.

Planting of microplants, crop husbandry and harvesting on minitubers.  
Microplants were planted in boxes filled with entirely moistened substrate made from fertilized sphagnum peat with pH KCl adjusted to 5.3. The vegetation period was 77–79 days for ‘Monta’ and ‘Prelma’ and 90–94 days for ‘Mandaga’.

The plants were watered according to the practice accepted by AREI every day for the first four weeks; later, watering was reduced to three times a week. When the plants began to senesce, the amount of watering was further reduced, and the substrate was kept slightly moist.

Foliar fertilizer was applied three times per growing season. Insecticide was added to the fertilizer solution to prevent the spread of aphids (*Apis* spp.)

Ventilation in the greenhouse is provided through windows located at floor level on both sides of the greenhouse, as well as through a ceiling window that extends along the entire length of the greenhouse; therefore, growing conditions should be considered only partially controlled. On the hottest summer days, the air temperature in the greenhouse rose to  $40^\circ\text{C}$  and even more, which is not favorable for the development of potatoes. However, this corresponds to

the actual conditions of minituber production in AREI.

Minitubers were harvested by hand using a table designed for harvesting minitubers. The contents of each box were poured onto the sieve-like table top.

Observations performed. After harvesting, the minitubers were sorted into the following grades according to their weight in grams:

1. <3.00 g – not used further
2. 3.00 – 4.99 g – **f1**
3. 5.00 – 9.99 g – **f2**
4. 10.00–19.99 g – **f3**
5. ≥20.00 g – **f4**

Data on the number of minitubers and yield ( $\text{kg m}^{-2}$ ) within each grade were collected. The data obtained at each grade were summed to determine the number and yield of minitubers per box.

Data on the number of minitubers and yield were used to calculate the average number of minitubers weighing least 3 g per planted microplant (multiplication rate), number of minitubers and yield per  $1 \text{ m}^2$ , and average weight of one minituber.

Only the data for minitubers heavier than 3 g were used for the calculations because under the specific production conditions, small (<3.00 g) minitubers cannot maintain sufficient quality during storage, as they evaporate more intensively than larger tubers and shrivel due to the large surface area:volume ratio. For this reason, minitubers that are lighter than 3 g are not used for further propagation in Latvia.

It was also found that under the current production conditions, the evaluation of their number in the overall data analysis was not relevant, as the number of tubers <3.00 g was not significantly influenced by the growing year ( $p=0.149$  on average across all varieties and MSB), nor was there a significant difference between replications ( $p=0.419$  across all varieties and MSB).

## Evaluation of the field performance of minitubers

Trials were carried out in the fields set up for the purpose of the AREI potato breeding and variety testing program under an integrated management system in Priekuļi. Accordingly, in the trials of the study, the crop management practices generally used in potato breeding and variety testing trials of AREI were applied.

### The methodology of field trials and growing conditions.

Experimental design. Two factors were investigated: variety ('Monta', 'Prelma', and 'Mandaga') and size grade of minitubers (hereafter referred to as SbF; 4 SbF in total); thus, in total, 12 treatments were applied. The split-plot design was used with the variety as the main plot and SbF as the subplot. Due to the lack of planting material, the trial was replicated three times in 2014. Four

replications were used in 2015 and 2016. Varieties were randomized within each replication (block), and SbF were randomized within each main plot.

Minitubers were planted at 0.70 m between rows using 0.20 m in-row spacing. The size of the subplot was 6.72 m<sup>2</sup>. Plant development and yield related traits were evaluated only in two inner rows to eliminate the possible effect of competition between plots. The marginal plants of each row evaluated were also excluded from the study to eliminate border effects. Thereby, the size of the observation plot was 2.8 m<sup>2</sup>, which comprised 20 plants.

Preparation of minitubers for planting, planting and harvesting.

Minitubers of four size grids (f1–f4) obtained in greenhouse trials were used in field trials. In the first year of the study, minitubers grown within the seed production routine in 2013 were used. Minitubers were presprouted before planting. Planting and harvesting were performed by hand. The vegetation period for the ‘Monta’ variety was 91, 78 and 80 days in 2014, 2015, and 2016, respectively; 92, 79 and 80 days for the ‘Prelma’ variety; and 112, 94 and 98 days for the ‘Mandaga’ variety in the corresponding years.

Crop management practices. In all years of the study, the trials were arranged in sod podzolic soil, the granulometric composition of which was loamy sand, with a medium to high availability of phosphorus and potassium and an acidic to moderately acidic soil reaction, which could still be considered suitable for growing potatoes (Table 1). Winter cereals (rye and triticale) were used as the previous crop. Fertilizers (NPK 12:11:18) were broadcasted, providing NPK at a rate of 60:55:90 kg ha<sup>-1</sup>. Broadcasting of the fertilizers was followed by deep tillage and ridge formation.

The field was ridged one or two times before the application of herbicide. High furrows were formed, and an herbicide was used to control the twitch.

Insecticides were applied to prevent the spread of aphids and the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*).

Systemic, contact and systemic-contact fungicides were applied to control foliar diseases (late blight (*Phytophthora infestans*) and early blight (*Alternaria spp.*)).

Meteorological conditions during field trials. The average daily temperature at the beginning of the 2014 growing season was higher than that in the long-term data, which promoted fast plant emergence. The amount of precipitation in the second and third decades of May exceeded the climatic norm, which allowed sufficient moisture to accumulate in the soil so that the soil did not dry out in the relatively drier first decade of June. The relatively cool and wet continuation of June delayed the further development of the plants. After that, development was facilitated by a warm July. In the first decade of the month, the precipitation was still above the norm, but then it became significantly drier; however, no drying of the soil was observed due to the prevailing rains in earlier periods. The first decade of August was warm and moderately humid. Later, it became cooler, and the amount of precipitation considerably increased. The rainy

days slightly delayed the harvest, and the compacted soil due to the rains and the subsequent drought that occurred during the season made harvesting difficult.

Unlike 2014, the second half of May 2015 was characterized by air temperature that was lower than long-term data, but precipitation was close to the norm. Although potatoes were planted at the end of the second decade, the cool and wet weather prevailing until then did not contribute to soil warming. As potatoes were planted in relatively cool soil and under the reduced air temperature, plant emergence was delayed. In the first and second decades of June, the air temperature was close to normal; however, the low amount of precipitation in the first and second decades of June caused drought, which significantly delayed plant development. Only in the third decade of the month did the amount of precipitation increase to the norm, and the conditions became more favourable for the development of potatoes, especially at the beginning of flowering, when the initiation of tubers begins. The subsequent meteorological conditions in the 2015 vegetation season were favourable for the growth and development of potatoes, and the sufficient amount of moisture in the first and second decades of July contributed to the bulking of tubers.

In the growing season of 2016, the average temperature in the second decade of May corresponded to the norm, but in the third decade, the air temperature exceeded the norm. Although the rainfall during this period was very low, the soil moisture content was sufficient due to the considerable amount of rainfall in April. Similar conditions continued in the first decade of June (temperature corresponding to the norm, but the amount of precipitation was below the norm); however, the temperature, which was higher than that in the same period in 2015, generally contributed to a relatively fast plant emergence in 2016 compared to 2015. From then on, the amount of precipitation in each of the decades considerably exceeded the norm. Rainfall was frequent, as a result of which mud formed between the furrows and compaction of the soil was observed; for this reason, canopy closure was delayed. A relatively drier period began only in the third decade of July. The air temperature was generally close to the norm, and considerable deviations above the norm were observed only in the third decades of June and July. The decrease in the air temperature in the first two decades of August and then the increase at the end of the month did not considerably affect the already established crop, but the high soil moisture made harvesting and storage difficult.

### **Observations and yield analysis.**

Plant emergence was assessed two to three times a week, and the date of emergence was considered when 50% of plants in the plot were visible above the soil surface (stage 09–10 according to the BBCH scale). Observations of emergence were continued at previously mentioned intervals up to 50 days after planting (DAP) to determine the final number of emerged plants. Simultaneously, the number of days to 80% emergence (E80%) was assessed to evaluate further plant development. In cases where the time at which 50 and 80% of the plants

had emerged could not be accurately assessed in the field, linear interpolation was applied to estimate the date when the relevant development stage could have occurred.

Thermal time units - growing degree days (GDD) - were used to characterize plant emergence. The temperatures at planting day and the days of observations were not included in the calculation.

Canopy closure was estimated when at least 90% of plants met within rows (stage 28), and data were recorded as days after 50% emergence (DAE50%).

The number of aboveground stems was determined for each subplot (treatment) two weeks before harvesting, and the average number of aboveground stems for each treatment was calculated.

Yield analysis. Tuber yield from each treatment and each replication was graded by passing tubers through a square mesh hand grader. The following size grades were assigned:

1. < 25 mm
2. 25–35 mm
3. 35–45 mm
4. 45–55 mm
5. 55–65 mm (no larger tubers were detected)

Yield ( $\text{kg m}^{-2}$ ) and the number of tubers  $\text{m}^2$  per size grade were determined. The obtained data were used both for estimating the total number of tubers and the yield (data used to analyse the tuber size distribution of the yield) and for estimating the number and yield of tubers larger than 25 mm. Since the first field generation of prebasic seeds is obtained from minitubers, the 25 mm threshold is essential, as this is the international standard of minimum size for seed potato tubers.

Number of tubers per plant and multiplication rate under field conditions (PkoefL). The number of tubers per plant was obtained by dividing the total number of yield tubers >25 mm per subplot by the number of emerged minitubers. PkoefL was obtained by dividing the number of yield tubers >25 mm per subplot by the number of planted minitubers.

The average weight of yield tubers was determined using only tubers >25 mm and dividing the yield of tubers per  $\text{m}^2$  by the number of tubers per  $\text{m}^2$ .

The yield tuber size distribution depending on the size of the planted minituber was estimated according to Travis<sup>1</sup>. The mean tuber size in mm having the highest frequency in the yield data set ( $\mu$ ) was determined, and the dispersion ( $\sigma$ ) around  $\mu$  was calculated. Calculations were made for each treatment and replication using data on the number of tubers and the yield in each size grade of the yield obtained. The obtained results were expressed as the yield in kilograms  $\text{m}^{-2}$  per millimeter of tuber size. The coefficient of variation was also calculated for the size distribution of the yield.

## **Calculation of field value**

The concept of field value combines obtained greenhouse and field data and refers either to the value of the area unit of the greenhouse ( $\text{LaV}_{\text{pl}}$ ) or to the value of the microplant ( $\text{LaV}_{\text{ma}}$ ). The field value was calculated for each planting density of microplants used for minitubers growing in the greenhouse.

Field value of the area unit of the greenhouse.  $\text{LaV}_{\text{pl}}$  is defined as the number of progeny tubers (>25 mm) in the first field generation obtained from all minitubers >3 g grown in one  $\text{m}^2$  of greenhouse at a particular MSB.

Field value of the microplant.  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  is defined as the number of progeny tubers (>25 mm) in the first field generation obtained from all minitubers >3 g obtained from one microplant planted at a particular MSB.

## **Evaluation of the economic efficiency of microplant planting density**

Assessment of economic efficiency for the change in planting density of microplants (growing technology) in trials conducted from 2014-2016 was carried out in 2020 and 2021 using the cost calculation made by AREI in 2020 and information on the market price of the products.

Partial budget analysis followed by dominance analysis and calculation of the marginal rate of return (RiL) was used to assess the economic efficiency of changes in minituber growing technology by stepwise comparison of planting densities of microplants. These methods have been proposed by The International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) to compare alternative treatments and technologies. This method has been adapted by the International Potato Centre (CIP) as a simple procedure for researchers and farmers in decision making on the choice of alternative practices or technologies for potato production.

The cost of microplant and minituber production in the AREI has been calculated for small-scale production with 24 000 microplants obtained to produce approximately 60 000 minitubers in one growing season per year. The calculation of the cost of production was not carried out as part of the doctoral research, and information from the order issued by AREI was used. The cost was 0.54 € per microplant and 0.41 € per minituber in 2020. Market prices were set as 1.00 € per microplant and 0.52 € per minituber based on the order issued. Value added tax is not included in the price.

The lowest microplant planting density, or MSB63, was determined for the base value or standard growing technology. All calculations were made for each variety separately.

Four production scenarios comprehensively covering possible minituber production strategies in small companies were analysed.

Scenario A – both microplant and minituber value set as production cost;

this reveals the current production situation at the AREI (baseline scenario);

Scenario B as mixed model No 1 – value of microplant set as production cost, but value of minituber as market price;

Scenario C as mixed model No 2 – value of microplant set as market price, but value of minituber set as production cost based on the relevant price of microplants; in this scenario, the value of a minituber (0.56 €) exceeded production costs set in scenario A and even market price in scenarios B and D;

Scenario D – both microplant and minituber values were set as market prices.

The partial budget method includes only those inputs and benefits that are changed by the alternative technology. The calculation results in a net benefit value (NI).

The gross benefits (BI) of each MSB were obtained by multiplying the value (euro, depending on scenario) of the minitubers by the number of minitubers grown at each MSB and subtracting the total expenses on yield (hand harvesting, grading).

The components of the variable costs (MI) were the value of the microplants (cost or market price) required for each MSB and labour costs for planting. Labour costs were calculated by multiplying the hourly rate of the worker involved in the planting by the time required to plant the given amount of microplants.

The next step after determining net benefit values for each variety and each MSB in each scenario was dominance analysis according to CIMMYT methodology. All MSBs for each variety were listed in order of increasing variable costs, and this coincided with the ascending order of MSB themselves. Any MSB that had higher costs than the previous MSB but yielded fewer benefits than the previous MSB was dominant and was eliminated from further analysis.

Among each of the successive MSBs that were not excluded upon the dominance analysis, the magnitude of the NI increase was calculated as  $\Delta$  or marginal income.

Once the dominant MSBs were eliminated and  $\Delta NI$  between the remaining MSBs was calculated, the next step was to calculate the marginal rate of return (RiL) that was obtained by dividing  $\Delta NI$  by  $\Delta MI$  (the magnitude of change in variable costs between two MSBs).

RiL analysis was performed for each variety and each production scenario beginning with RiL calculation between basic MSB and the next ascending MSB and so on in a stepwise manner. The obtained RiL value was expressed as a percentage. RiL indicates what the producer can expect when making a change in technology. For instance, a RiL of 105% suggests that producers can recover each euro invested in the new technology plus an additional return of 1.05 euro.

In addition to the partial budget and marginal analysis, a sensitivity analysis was performed for each microplant planting density in production scenarios A (the current scenario AREI) and B (the scenario with the highest

probability of occurrence after scenario A, since the probability that the minitubers will be sold in the market is higher than the probability that the AREI will purchase the microplants at the market price). The aim of the analysis was to determine the highest permissible value of microplants at which one of the MSBs can be used. If the value of the microplants increases above the derived value limit, then the MSB should be reduced to avoid variable costs exceeding net benefits.

### **Methodology to examine the aftereffects of the propagation method of microplants on the number and yield of minitubers in a greenhouse**

The study was conducted from 2014 to 2017 in a potato tissue culture laboratory and in a plastic film-covered greenhouse intended for minituber production in Priekuli. Two varieties were used in the study ('Monta' and 'Prelma').

**Propagation of microplants and evaluation of morphological traits in the laboratory.** The effect of the microplant propagation technique (medium and vessel used) on possible changes in the morphological traits of microplants was studied under laboratory conditions.

Treatments used for micropropagation. Two types of growing vessels were used: glass test tubes (diameter 13 mm un height 150 mm, volume 20 mL), sealed with cotton plugs, and cylindrical, disposable plastic containers (volume 500 mL) with a plastic lid. Three different modifications of Murashige and Skoog or MS medium composition were used. The culture vessel and media composition constituted four different propagation techniques.

- MMS – test tube filled with MS medium without vitamins added; classic MS medium was used, without added vitamins and other organic substances according to MS. Standard method for propagation of potato microplants in AREI (in the study – control);
- AMS – cylindrical plastic container with MS medium without vitamins added; classic MS medium was used, without added vitamins and other organic substances according to MS;
- AMSV – cylindrical plastic container with MS medium with vitamins and other organic substances according to MS added;
- AHMS – cylindrical plastic container filled with MS medium of reduced strength, without vitamins and other organic substances according to MS; half of the required amount of macrosalts was used in the preparation of medium.

All treatments contained sugar at a rate of 30 g L<sup>-1</sup> and plant agar at a rate of 6.5 g L<sup>-1</sup>. Plant growth regulators (phytohormones) were not used in any of the treatments.

To provide the same amount of available medium for one microplant in

all treatments, 5 mL of medium was placed in test tubes, and 50 mL of medium was placed in cylindrical plastic containers.

One microcutting was placed per test tube, and each variety had 10 test tubes per replication. In cylindrical plastic containers, 10 microcuttings per container were placed for each cultivar, and one replication comprised one container.

Accordingly, each variety in each propagation treatment had 10 microplants per replication, and each year, the study was conducted in 4 replications. In total, eight treatments (two varieties  $\times$  four modifications of the microplant propagation method) were used in the study, which were arranged in a completely randomized design. An average temperature of 22–24 °C and a 16/8 h photoperiod were provided to the microplants.

Evaluation of the morphological traits of microplants. Five or half of the microplants from each treatment were removed from the growing vessel 25 days after micropropagation in 2014 and 27 days in 2017. The remains of the agarized medium were rinsed from their roots, and the plants were dried on paper tissue. After preparation of microplants, the length of the stem in cm was separately measured for each replication, the internodal segments of the stems were counted, the fresh weight of the whole plant and fresh weight of the roots were determined and expressed as mg, and the derived values were calculated – root-shoot ratio, the length of the internodal segments, and the ratio of plant weight-length.

Evaluation of the after effects of the propagation method of microplants on the number and yield of minitubers in a greenhouse. The remaining five microplants of each variety from each propagation technique and replication were planted in a greenhouse in a peat substrate (see "Methodology for evaluating the effect of potato microplant planting density on yield parameters of minitubers").

Microplants were planted in pots (volume 1.26 L) at a rate of one microplant per pot; in total, there were five pots for each variety for each microplant propagation method. The experiment was arranged in four randomized blocks. One block consisted of eight treatments (two varieties  $\times$  four microplant propagation techniques).

Plants were watered three times a week using a hand watering device. The plants were sprayed with a solution of additional fertilizer and insecticide twice per growing season. Minitubers were harvested by hand 72 days after microplant planting in 2014 and 70 days after planting in 2017. For each treatment and replication the number of minitubers was counted separately, and the total weight of minitubers in grams was determined.

## Data statistical analysis

Free and open statistical software Jamovi, version 1.8.2., was used for the statistical analysis of the data. Descriptive statistics were used to generate

summaries of the data averages. The strength of linear relationships between traits was determined using Pearson's correlation. To determine the form of the relationship, a linear regression analysis was performed. One-way and two-way ANOVAs at the 95% significance level ( $\alpha=0.05$ ) were used to evaluate the effects of the studied factors. A paired t test was applied to determine the differences between the multiplication rate under field conditions and the number of yield tubers from emerged minituber for each variety separately. To determine the differences between the number of minitubers in different size grades for each variety at each planting density of microplants, Microsoft Excel add-in Real Statistics was used, in which one-way ANOVA and Tukey's post hoc test were performed, with minituber size grade assigned as a factor. To determine the effects of the yield-related traits (variables) on the variation in other traits, a principal component analysis or PCA was performed, and a loading plot was constructed, which allowed us to graphically display the interrelationships between the traits. When yield-related data obtained in greenhouse trials were analysed, a linear mixed effects model was used to generalize the average data of the years, in which the year was a random factor. In the analysis of the data from the field trials, the effect of year was not included in the ANOVA model, but was determined separately by dividing the data set into treatments and performing an ANOVA with year as a factor for each treatment separately. Significantly different treatments were determined using the Tukey's post hoc test at the  $\alpha=0.05$  probability level. The goal-seek function was used for the sensitivity analysis, and the analysis was performed using the Microsoft Excel add-in program - the data analysis and optimization tool Solver. In its parameters, net benefit was defined as the objective, while microplant value was the variable. A net benefit  $\geq$  variable costs was subject to the constraint.

## RESULTS

### **Effect of planting density of potato microplants on yield related traits of minitubers**

In the production of prebasic seed potato (especially in the production of minitubers), the yield can be expressed both as the number of minitubers per unit area and as weight per unit area (for example, kg m<sup>-2</sup>). In this work, the yield is evaluated by applying both approaches, and the text notes whether it is the number of minitubers per m<sup>2</sup> or the yield in kg m<sup>-2</sup>.

**The number of minitubers per m<sup>2</sup> (SbS).** If the greenhouse space is limited, one of the most effective measures to increase SbS is increasing the microplant planting density (MSB). The number of minitubers per m<sup>2</sup> obtained in this research ranged from 229 ('Mandaga', 63 microplants m<sup>-2</sup> or MSB63) to 412 minitubers per m<sup>2</sup> ('Monta', MSB184).

The effect of genotype on SbS across MSBs was not significant ( $p=0.057$ ).

When differences between genotypes were analysed within each separate MSB, it was found that the 'Monta' variety had significantly higher SbS (345) than the 'Prelma' (279) and 'Mandaga' (281) varieties, which did not differ significantly in SbS (Fig. 1). No significant differences were found between varieties within other MSBs (MSB63  $p=0.302$ ; MSB142  $p=0.588$ , MSB184  $p=0.188$ ). The 'Monta' variety showed the highest SbS (although not always significant) at all MSBs except at MSB142, where the nonsignificantly higher SbS was for the variety 'Prelma' (362 compared to 340 for the variety 'Monta' and 332 for the variety 'Mandaga').

The planting density of microplants (MSB) significantly affected the number of minitubers per m<sup>2</sup>. The number of minitubers per unit area (SbS) for all varieties increased as MSB increased (Fig. 1). The highest SbS for the 'Monta' and 'Mandaga' varieties was obtained at the highest MSB (MSB184), which was 412 and 403 minitubers m<sup>-2</sup>, respectively, and for the 'Prelma' variety, at MSB142 (360 minitubers). The lowest SbS (229–270 tubers m<sup>-2</sup>) for all varieties was obtained at the lowest microplant planting density, or MSB63, and it was significantly lower than at the highest MSB184.

If the efficiency of minituber production is assessed using only SbS data, MSB184 is recommended for the varieties 'Monta' and 'Mandaga', and MSB142 is recommended for the variety 'Prelma' because MSB184 no longer provides an increase in the number of minitubers per area unit. However, if the greenhouse area is a limiting factor and a sufficient amount of microplants is available, MSB184 can also be used for the 'Prelma' variety.

The interaction between genotype and MSB was not statistically significant ( $p=0.185$ ).

**The multiplication rate in a greenhouse (PkoefS).** PkoefS is the number of minitubers obtained from one microplant, and this is the most important yield-

related trait for minitubers.

Since the concept of "multiplication rate" is mostly used in seed production, its value is determined considering only seed-sized tubers. Neither the EU nor Latvia's current regulatory acts set the minimum size for potato minitubers to be used for further propagation, but in this study, they are tubers weighing at least 3 g.

Depending on the variety and MSB, in the present research, PkoefS ranged from 2.0 ('Prelma', MSB184) to 4.3 minitubers ('Monta', MSB63) per microplant.

The effect of genotype on PkoefS was significant across all MSBs.

When differences between genotypes were analysed within each separate MSB (Fig. 2), the 'Monta' variety had a significantly higher PkoefS (3.6) at MSB95 than the 'Prelma' (2.9) and 'Mandaga' (3.0) varieties, which did not differ significantly in PkoefS. No significant differences were found between varieties within other MSBs (MSB63 p=0.303; MSB142 p=0.588, MSB184 p=0.190). The 'Monta' variety showed the highest PkoefS (although not always significant) at all MSBs except at MSB142, where a nonsignificantly higher PkoefS was observed for the 'Prelma' variety.

The planting density of microplants (MSB) significantly affected the multiplication rate in a greenhouse. As MSB increased, PkoefS decreased for all varieties (Fig. 2). The highest PkoefS for all varieties was observed at the lowest MSB (MSB63), and the lowest PkoefS was observed at the highest MSB (MSB184); moreover, PkoefS was significantly lower at MSB63 than at MSB184 for all varieties. For all cultivars, the PkoefS was not below the value of two minitubers per microplant at any of the MSBs studied; thus, our results fall within the range of 2 to 5 minitubers per microplant, generally considered as the average multiplication rate in conventional minituber production technology.

The interaction between genotype and MSB was not statistically significant ( $p=0.231$ ).

If the greenhouse area and the availability of growing substrate are not limiting factors, choosing the MSB from which the highest PkoefS can be obtained would be recommended. However, up to a certain MSB, microplants have the potential to maintain the highest PkoefS in regard to minituber formation, so it would be necessary to determine the MSB for each variety at which competition between plants is not yet high enough for minituber resorption to occur.

If the efficiency of minituber production is assessed using only PkoefS data, MSB63 is recommended for all varieties studied. If the greenhouse area is limited, MSB95 can also be used for 'Monta' and 'Mandaga' varieties, as PkoefS at this MSB is not significantly lower than at MSB63.

**Yield of minitubers per m<sup>2</sup> (SbM) and average weight of minitubers (SbAW)**. The yield of minitubers per m<sup>2</sup> ranged from 5.7 kg m<sup>-2</sup> ('Monta', MSB63) to 8.0 kg m<sup>-2</sup> ('Mandaga', MSB184), and the average weight of one

minituber ranged from 16.1 g ('Monta', MSB184) to 28.2 g ('Mandaga', MSB63).

The effect of genotype on SbM was not significant ( $p=0.079$ ).

Differences between genotypes within MSBs were also not significant; however, the 'Mandaga' variety had the highest yield ( $6.2\text{--}8.0 \text{ kg m}^{-2}$ ), but the yield of the 'Monta' variety was from  $5.7$  to  $6.5 \text{ kg m}^{-2}$  and  $5.9\text{--}6.1 \text{ kg m}^{-2}$  for the 'Prelma' variety (Fig. 3).

SbAW was significantly different between varieties. At all MSBs, minitubers of the 'Mandaga' variety had the highest SbAW ( $19.6\text{--}28.2 \text{ g}$ ); however, it was significantly higher only at MSB95 and only in comparison to the 'Monta' variety, which had SbAW from  $16.1\text{--}21.1 \text{ g}$  depending on MSB. SbAW for the 'Prelma' variety ranged from  $16.6$  to  $24.2 \text{ g}$  (Fig. 3).

The effect of the planting density of microplants (MSB). A tendency was observed for 'Monta' and 'Mandaga' varieties to have higher SbM at the higher MSBs. For 'Prelma', the difference between the highest yield (at MSB63 and MSB142) and the lowest yield (at MSB184) was only  $0.2 \text{ kg m}^{-2}$ . Nevertheless, the effect of MSB on SbM was not significant for any of the varieties ('Monta'  $p=0.548$ , 'Prelma'  $p=0.992$ , 'Mandaga'  $p=0.453$ ).

The average weight of one minituber (SbAW) for all varieties decreased as MSB increased. However, MSB significantly affected SbAW only for the 'Prelma' and 'Mandaga' varieties, but for the 'Monta' variety, MSB did not affect SbAW significantly ( $p=0.134$ ).

Higher SbAW at lower MSBs counterbalanced the increase in the number of minitubers associated with increased MSB; therefore, tuber yield did not have a significant increase related to increased tuber number at the MSBs used in the study.

**The size distribution of minitubers** is probably a more important yield-related trait of minitubers than the average weight of one minituber because the size of individual minitubers considerably influences the growth and development of potato plants under field conditions.

The effect of genotype on the number of minitubers per size grade (SskF) was significant across all MSBs. The share (F%) of each size grade in the total number of minitubers significantly differed between genotypes.

Although not always significant, at all MSBs, the variety 'Mandaga' had the highest number of minutubers  $\geq 20.00 \text{ g}$  (f4) and the highest share (F%) of this size grade compared to the 'Monta' and 'Prelma' varieties. 'Mandaga' variety also had the lowest number of minitubers in the  $3.00\text{--}4.99 \text{ g}$  size grade and the share of this size grade at all MSBs.

The effect of planting density of microplants (MSB). As MSB increased, SskF increased in size grades  $3.00\text{--}4.99 \text{ g}$  (f1),  $5.00\text{--}9.99 \text{ g}$  (f2) and  $10.00\text{--}19.99 \text{ g}$  (f3) for all varieties (although not always significant) (Fig. 3). In contrast, no significant effect of MSB on SskF in the f4 size grade ( $\geq 20 \text{ g}$ ) was observed for any of the varieties (although the number of minitubers f4 for the 'Mandaga'

variety tended to increase with increasing MSB) (Fig. 4, A).

Although not always significant, the SskF and F% values of the two largest size grades (f3 and f4) at all MSBs for all varieties were higher than the values obtained for the smallest size grade f1 (Fig. 4, A and B); therefore, even with increasing MSB, the size distribution of minitubers remained skewed in the direction of larger size grades of minitubers. Such a trend indicates that MSB can potentially be increased above MSB184 if necessary, as an increase in the number of minitubers at a slightly higher MSB would most likely not significantly shift the minituber size distribution in the direction of the smallest grades of minitubers. However, to determine the maximum MSBs at which no such drift would occur, separate trials should be carried out if production conditions make this necessary.

No significant interaction effect of genotype and MSB on SskF was observed within any of the size grades (p values ranged from 0.187 to 0.815).

**Change in the values of the yield related traits of minitubers with increasing microplant density.** The direction of changes resulting from increasing microplant planting density (MSB) was different for different yield related traits. The multiplication rate in the greenhouse (PkoefS) tended to decrease, the number of minitubers m<sup>-2</sup> (SbS) tended to increase, the yield of minitubers m<sup>-2</sup> (SbM) did not change significantly, and the average weight of minitubers (SbAW) tended to decrease. The relative magnitude of changes expressed as a percentage also differed.

Compared to the standard planting density (MSB63), the relative increase in SbS for the 'Monta' variety was greater than the decrease in PkoefS only at MSB95, and this change trend reversed at subsequent MSBs. For the 'Prelma' variety, the relative increase in SbS with increasing MSB exceeded the relative decrease in PkoefS even at MSB142, but at MSB184, the trend changed, and PkoefS decreased more pronounced than SbS increased. Only 'Mandaga' at the highest MSB184 maintained the trend when the relative increase in SbS was greater than the decrease in PkoefS (76% and -40%, respectively); thus, even higher MSB can be applied to this variety if necessary, maintaining the balance between the changes of yield-related traits compared to the standard MSB.

SbM had the least relative change, and the trend differed between cultivars and MSBs, being both positive and negative. Among the two marginal MSBs, this trait increased for the varieties 'Monta' and 'Mandaga' but decreased for the variety 'Prelma'. SbAW, on the other hand, decreased for all varieties and at all MSBs as MSBs increased, with all varieties maintaining roughly similar magnitudes of change.

**Relationships between the traits studied.** Principal component analysis was performed to reduce the dimensionality of the data. Consequently, the principal component (PC1) combined traits related to minituber number m<sup>-2</sup> (SbS), and the second principal component (PC2) combined traits related to minituber yield (SbM) (Fig. 5). The multiplication rate in the greenhouse

(Pkoefs) was not included in any of the newly created components because its correlation with one of the components (PC1) was less than 0.3; thus, this trait had a very low loading on the created PCs.

The increase in the number of minitubers had the greatest effect on the number of minitubers in the three smallest minituber size grades, but no significant relationship was found between the number of minitubers in size grade f4 ( $\geq 20$  g) and the total number of minitubers  $m^{-2}$ . However, this size grade f4 had the closest relationship with the yield of minitubers (SbM) and the share of this grade with the average weight of one minituber (SbAW).

The number of minitubers in the f4 size grade had a negative correlation with the number of minitubers in the other size grades, which were positively correlated with each other. Significant and moderately strong to strong correlations were found between SbAW and the number of minitubers in all size grades and the share of all size grades.

The closest correlation was observed between SbAW and the share of the largest minitubers f4 ( $\geq 20$  g), and it was  $r=0.937$ ,  $p<0.001$ , while with the other minituber size grades, SbAW correlated moderately to strongly and negatively. Regression analysis revealed that an increase in the share of larger size grades explained 88% of the increase in SbAW. The regression models for SbAW and each of the smaller size grades were also statistically significant; however, the coefficients of determination obtained could explain a relatively smaller part of the variation in SbAW (32–57% depending on the size grade).

## Field performance of minitubers

**Time to emergence and emergence rate.** In regions where potatoes are planted relatively late and cloudy conditions are common, which also corresponds to the conditions in Latvia, plants receive less global radiation than would be desirable. Therefore, in northern regions, the fast emergence of plants (including plants from minitubers) and quick canopy closure are crucial for further growth and yield formation under short growing season conditions.

The genotype and size grade of minitubers (SbF) significantly influenced the time to 50% emergence (E50%); however, the effect of SbF for each variety was significant only in one of the growing years (2015 for 'Prelma' and 'Mandaga' and 2016 for 'Monta'). The interaction between genotype and SbF was not significant ( $p=0.895$ ). The time to emergence expressed in days after planting (DAP) varied significantly between years, and the difference was significant for all SbFs. Due to the higher air temperature at the beginning of the 2014 season, minitubers emerged significantly faster than in 2015, which was the least favourable year for emergence in terms of temperature. In 2015, at least 29 DAP were needed for the tubers of the largest size grade of the variety 'Monta' to reach 50%, for the variety 'Prelma', the tubers of the corresponding size grade

emerged 17 DAP, and for the variety 'Mandaga', E50% was estimated at 19 DAP. In comparison, in 2014, 19, 12 and 14 DAP were needed to reach E50%. In general, 2014 and 2016 (the most favourable years for minituber emergence) were characterized by a very rapid onset of emergence, especially between the 13th and 17th day after planting.

To characterize the time required for the emergence of minitubers of different size grades, a more conservative approach of thermal time units was applied. Growing degree days (GDD) showed that the smallest (3.00–4.99 g, f1) minitubers of 'Prelma' and 'Mandaga' varieties required significantly more GDD to emerge than the largest minitubers ( $\geq 20.00$  g, f4) (Fig. 6).

Emergence rate (the percentage of emerged minitubers) was assessed on the 50<sup>th</sup> day after planting, and a significant effect of genotype and SbF on this trait was found; the interaction between factors was not significant ( $p=0.052$ ). The 'Monta' variety had a significantly lower percentage of emerged minitubers in all size grades than minitubers in the corresponding grades of other varieties.

The 'Monta' variety did not have 100% emergence in any of the growing years, but in 2015, when, depending on SbF, only 68–84% of minitubers emerged, the percentage of emerged minitubers significantly differed from that found in 2014 and 2016, in which the two smallest minituber size grades had an average emergence rate of 85%, and the two largest minituber size grades had an emergence rate of 92%. No significant difference between years was observed for the cultivars 'Prelma' and 'Mandaga' ( $p=0.086$  and  $p=0.557$ , respectively), which had 99–100% emergence of minitubers.

**Canopy closure.** Although canopy closure can be affected by factors that do not influence plant development directly, such as the distance between rows, canopy closure is considered an important stage of potato development, as it determines radiation interception, which reaches 100% only when full ground cover is established. Advanced canopy closure can have a positive impact on potato yield.

The time to within-row canopy closure expressed in days after 50% emergence (DAE50%) was significantly determined by genotype and minituber size grade (SbF). Although not always significant, faster within-row canopy closure was observed from plants grown from heavier minitubers. Significantly less time was required by the 'Monta' variety to close the canopy (on average 28 DAP for f1, 34 DAP for f2). The canopy of plants grown from f4 grade minitubers for the 'Prelma' variety closed on average at 31 DAE50% and from f1 minitubers at 42 DAE50%. For the 'Mandaga' variety, 35 and 42 DAE50% were required to reach within-row canopy closure. Significant differences between growing years were also observed. Significantly less DAE50% for within row canopy closure were required in 2015, whereas in 2016, the most pronounced differences between SbFs were observed, possibly due to the heavy rains that had a negative impact on plant development in the third decade of June, which could have reduced the amount of oxygen in the soil.

**The number of aboveground stems** is one of the most important traits that indicates the physiological status of the planted seed tubers and their growth vigour. The number of aboveground stems significantly affects the number of yield tubers per plant and consequently the number of yield tubers per unit area.

The number of aboveground stems was significantly dependent on both the genotype and the minituber size grade. The 'Monta' variety had significantly fewer stems than the varieties 'Prelma' and 'Mandaga' (Table 2). In general, the smallest number of stems was obtained from the smallest minitubers (f1) for the 'Monta' variety in 2014 (1.3 stems), and the largest was obtained from the largest minitubers (f4) for the 'Prelma' variety in 2016 (4.7 stems). For all varieties, plants obtained from f4 minitubers had significantly more stems than those obtained from f1 minitubers.

**The number of progeny tubers per plant and multiplication rate (PkoefL).** The number of progeny tubers per emerged plant demonstrates the potential of the variety, while expressed as the number of tubers per planted minituber (or multiplication rate, hereinafter referred to as PkoefL), it demonstrates the real situation under actual production conditions, where 100% emergence may not be observed. The number of progeny tubers >25 mm, which is the smallest size of seed potato, was used in this study to calculate variables. A t-test revealed that for the 'Prelma' and 'Mandaga' varieties, the differences between the number of tubers per emerged plant and PkoefL were not statistically significant ( $p=0.117$  and  $p=0.054$ , respectively), but for the 'Monta' variety, the values of these variables differed significantly ( $p<0.001$ ), which was related to the low emergence rate of the variety in the years of the study. The three-year average number of tubers per emerged plant of the 'Monta' variety was 5.5 progeny tubers obtained from the smallest (f1) minitubers and 8.1 tubers obtained from the largest (f4) minitubers, while PkoefL was in range from 4.2 to 7.6 tubers per planted minituber.

Genotype, minituber size grade (SbF) and the interaction between the factors had significant effects on both PkoefL and the number of progeny tubers per emerged plant. Larger minitubers produced more progeny tubers >25 mm, both expressed as the number of tubers per emerged plant and PkoefL (Fig. 7).

Overall, the PkoefL for the 'Monta' variety was significantly lower than that of the other varieties, for which this variable did not differ significantly and was between 5.8–11.2 for the 'Mandaga' variety and 5.8–13.1 for the 'Prelma' variety.

Linear regression analysis revealed a significant positive relationship between the number of stems and the number of progeny tubers >25 mm per plant (Figure 1). The number of progeny tubers per emerged plant increased by 2.57 units as a result of an increase in stem number by 1 unit per plant, and the number of stems explained 74% of the variation in progeny tuber number.

**The number of progeny tubers and yield per m<sup>2</sup>** were significantly affected by genotype and minituber size grade (SbF). As the SbF of planted

minitubers increased, the number of progeny tubers increased (Fig. 8). The 'Monta' variety produced the smallest number of progeny tubers from minitubers of each SbF (30.2 tubers  $m^{-2}$  from f1, 31.2 tubers from f2, 40.5 tubers from f3, and 54.3 tubers  $m^{-2}$  from f4 minitubers). The highest number of progeny tubers per  $m^2$  regardless of the SbF was obtained from the 'Prelma' variety (41.1 tubers from f1, 53.0 tubers from f2, 71.3 tubers from f3, and 93.4 tubers  $m^{-2}$  from f4 minitubers). The 'Mandaga' variety produced fewer progeny tubers  $m^{-2}$  than 'Prelma'; however, there was no significant difference between any of the SbFs at the 95% probability level.

As the SbF of planted minitubers increased, the number of progeny tuber yield per  $m^2$  also increased. For all varieties, significantly lower yield was obtained from t minitubers of the smallest SbF (f1) in comparison to yield from f4 minitubers.

The 'Monta' variety had the lowest yield per  $m^2$  regardless of the SbF (2.1 kg  $m^{-2}$  from f1 up to 3.1 kg  $m^{-2}$  obtained from f4) in comparison to other varieties (2.9–4.7 kg  $m^{-2}$  from 'Prelma' and 3.8–4.9 kg  $m^{-2}$  from the 'Mandaga' variety).

The most pronounced relative increase in the number of progeny tubers and yield with increasing SbF was observed for the 'Prelma' variety, which produced 2.3 times more progeny tubers and 1.6 times higher yield from f4 minitubers in comparison to f1 tubers.

In general, the obtained results showed a more pronounced effect of MtC on the number of progeny tubers than on tuber yield. This finding can be explained by the decrease in the mean weight of progeny tubers in plots with a higher number of progeny tubers. In our study, the relationship between the number of progeny tubers per  $m^2$  and the average weight of progeny tubers (g) was significant, moderately strong and negative ( $r=-0.521$ ,  $p<0.001$ ). The moderate strength of the correlation was mainly affected by the 'Monta' variety, which had an insignificant decrease (at the 95% probability level) in the average weight of progeny tubers in relation to SbF changes. The mentioned relationship for the 'Prelma' variety was strong and negative ( $r=-0.705$ ,  $p<0.001$ ), but for 'Mandaga', the correlation was characterized by  $r=-0.693$  ( $p<0.001$ ).

**Size distribution of progeny tubers.** Tuber size distribution is one of the main yield related traits of potato. The desired size of tubers, or marketable yield, depends on the intended use of the yield. As little variation as possible around the mean size is also important.

In the present research, the size distribution of progeny tubers was expressed as the yield in kilograms  $m^{-2}$  per millimeter of tuber size.

Size with the highest frequency ( $\mu$ ) in the data set was significantly determined by the genotype and SbF, and the interaction between factors was not significant ( $p=0.471$ ). The standard deviation of the tuber size ( $\sigma$ ) was significantly affected only by the SbF. Neither the variety ( $p=0.188$ ) nor the interaction between factors significantly influenced  $\sigma$  ( $p=0.340$ ).

The common pattern for all varieties was that the yield of progeny tubers from minitubers >20 g was approximately normally distributed (Fig. 9). As SbF decreased, a shift of the size distribution towards a higher yield proportion of larger tubers was observed. However, 'Mandaga' variety, the largest part of the yield from all SbFs was in the second largest size grade (45–55 mm) of progeny tubers, which is generally quite common for late maturing varieties.

For all varieties, the  $\mu$  value (47–51 mm) for the yield from the smallest SbF (f1) was significantly higher than the  $\mu$  value (42–45 mm) for the yield from the largest SbF (f4); thus, the proportion of larger progeny tubers increased in the yield from smaller SbFs. The increase in  $\mu$  values led to an increase in the variability of tuber size ( $\sigma$ ) (from 8.0–9.4 mm). Due to this linear relationship, the coefficient of variation (CVr) was used as a more stable measure of variability, and the effect of SbF on CVr was not significant ( $p=0.705$ ). Overall, the calculated value of CVr ranged between 17% for the 'Mandaga' variety and 19% for the 'Preirma' variety. As a result, the yield obtained from every single SbF was quite uniform in terms of the tuber size, and variation around the ( $\mu$ ) was relatively small. This suggests good potential for obtaining a high proportion of marketable yield from all size grades of minitubers.

### Field value of minitubers

Since AREI not only produces minitubers but also carries out a full seed potato production cycle, it is relevant to analyse the efficiency of minituber production in the context of the first field generation as well.

The concept of field value created within this study combines obtained average greenhouse and average field performance data and refers either to the value of the area unit of the greenhouse ( $LaV_{pla}$ ) or to the value of the microplant ( $LaV_{ma}$ ). A higher field value means higher minituber production efficiency resulting from microplant planting density (MSB).

The field value of microplant ( $LaV_{ma}$ ) and greenhouse area unit ( $LaV_{pla}$ ) were significantly influenced by genotype and MSB. As the planting density increased, the field value of minitubers grown at 1 m<sup>2</sup> increased, but the field value of tubers obtained from one microplant decreased (Fig. 10).

All varieties at the highest microplant planting density (MSB184) had significantly higher  $LaV_{pla}$  than those at the lowest density (MSB63). The highest  $LaV_{pla}$  was observed for the 'Mandaga' variety planted at MSB184, and it was 3633 of the minimum seed size progeny tuber in the first field generation, which was obtained from >3 g of minitubers grown at 1 m<sup>2</sup> in the greenhouse when a planting density of 184 microplants m<sup>-2</sup> was applied. The lowest  $LaV_{pla}$  was observed for the 'Monta' variety at MSB63 (1641 progeny tubers in the first field generation).

All varieties had significantly higher  $LaV_{ma}$  at MSB63 in comparison to

MSB142 and MSB184. The highest LaV<sub>ma</sub> was observed for the 'Prelma' variety at MSB63. From minitubers obtained from one microplant planted at MSB63, 42 progeny tubers of the minimum seed tuber size were obtained in the first field generation. Moreover, this value significantly exceeded the LaV<sub>ma</sub> of other varieties (26 progeny tubers for 'Monta' and 36 tubers for the 'Mandaga' variety). The lowest LaV<sub>ma</sub> was observed for the 'Monta' variety at MSB184, and it was 13 progeny tubers in the first field generation.

The lowest LaV<sub>ma</sub> and LaV<sub>pla</sub> were observed for the 'Monta' variety, which had a reasonably high multiplication rate (PkoeF<sub>S</sub>) (Fig. 2) and number of minitubers per m<sup>2</sup> (SbS) (Fig. 1) in the greenhouse. Significantly lower field values than those of 'Prelma' at all MSBs and 'Mandaga' at three of four MSBs were a consequence of the low multiplication rate under field conditions (PkoeF<sub>L</sub>) observed for this variety (Fig. 7).

Differences between 'Prelma' and 'Mandaga' varieties at the 95% probability level were not significant for either LaV<sub>pla</sub> or LaV<sub>ma</sub>; however, the pattern of changes in tuber field values depending on MSB differed slightly between varieties. The 'Prelma' variety had the highest LaV<sub>pla</sub> in the MSBs range from MSB63 to MSB142, but it slightly decreased at MSB184, while LaV<sub>pla</sub> of the 'Mandaga' variety continued to increase and exceeded the LaV<sub>pla</sub> of the variety 'Prelma'. A similar trend, only in the opposite direction, was also observed with regard to LaV<sub>ma</sub>.

The overall trend of changes in LaV<sub>pla</sub> and LaV<sub>ma</sub> corresponded to the direction of changes in SbS and PkoeF<sub>S</sub>, respectively. However, the decrease in LaV<sub>ma</sub> and the increase in LaV<sub>pla</sub> caused by the increase in MSBs were slightly smaller than the changes in PkoeF<sub>S</sub> and SbS. This tendency was caused by PkoeF<sub>L</sub>, which had a corrective effect on the field values, as PkoeF<sub>L</sub> significantly depended on the size grade of minitubers. Nevertheless, significant linear regression equations were obtained that could explain more than 94% of the variation in the LaV<sub>ma</sub> data and more than 87% of the variation in the LaV<sub>pla</sub> data (Fig. 11).

The obtained relationships show that in cases when the size distribution of minitubers changes approximately to the extent it was observed in this study, the effectiveness of change in minituber growing technology can be evaluated without additional study of the field performance of minitubers.

### **Evaluation of the economic efficiency of changes in microplant planting density**

In partial budgeting, only costs that change in line with growing technology changes are taken into account. This method is a simple procedure for comparing the costs and benefits resulting from a change in growing technology.

**Partial budget analysis** showed that gross benefits (BI) increased along increased microplant planting density (MSB) and were higher for the MSB at which each variety had the highest number of minitubers per m<sup>2</sup> (SbS). When different production scenarios were compared, the smallest BI increase along the MSB increase was observed in scenario A (the present production situation at the AREI or baseline scenario). Variable costs (MI) also increased in all scenarios as the MSB increased. Net benefit (NI) values revealed that the point of diminishing returns varied between varieties and production scenarios. Only the 'Monta' variety in all production scenarios had a higher NI at MSB95 than at NI at MSB63.

Scenario B (value of microplant set as production cost, but value of minituber as market price) was the only scenario having a higher value of NI at MSB184 than at MSB63 (respectively NI at MSB142 higher than at MSB63 for the 'Prelma' variety).

Technology *per se* is acceptable if net benefits are equal to (as the equilibrium rule is followed) or exceed variable costs (NI ≥ MI). In the baseline scenario A, MSB63 and MSB95 would be acceptable for all varieties (Table 3). Scenario B was most in line with the agronomic efficiency assessment, where all MSBs were acceptable except MSB184 for the 'Prelma' variety. Overall, MSB63 was acceptable in all scenarios, except for the 'Mandaga' variety in scenario D. In production conditions where microplants have to be purchased and minitubers can be marketed at opportunity costs, 'Mandaga' should be grown at a density lower than MSB63.

MSBs that had higher MI and lower NI than MI and NI values in the preceding MSB were excluded from further study upon **dominance analysis**.

The **marginal rate of return (RiL)** as a % was determined between each of two successive MSBs that were not excluded from the dominance analysis (nondominant MSBs). In the baseline scenario A, only the change in MSB from MSB63 to MSB95 for the 'Monta' variety resulted in a positive RiL value (Fig. 12). For 'Prelma', all MSBs higher than MSB63 were excluded. However, MSB95 may be considered in circumstances when a larger number of minitubers of this variety is required at a certain period, as variable costs did not exceed the net benefits of this MSB. The RiL for 'Mandaga' in relation to the change in MSB from MSB63 to MSB95 was very low (6%). Although for 'Mandaga', a change in MSB from MSB95 to MSB184 would result in a RiL of 4%, MSB184 is not recommended for 'Mandaga' because MI at MSB184 exceeded NI (Table 3).

The RiL values in scenario B slightly differed from those in scenario A, and positive RiL values were observed in higher abundance. Under this scenario, for 'Mandaga', a shift to each subsequent MSB resulted in positive RiL, and a shift from MSB142 to MSB184 even resulted in the highest RiL value (61%). For 'Monta', an MSB change from MSB63 to MSB95 is strongly recommended, as it yields a RiL of 106%. Further changes in MSB would result in a negative RiL even if net benefits exceed variable costs. The only change in technology for

'Prelma' that would give acceptable RiL is the change from MSB63 to MSB142.

In scenarios C and D, MSB should not be increased for 'Prelma' and 'Mandaga', and even more, for 'Mandaga' in scenario D, the MSB should even be lowered below PD63 so that the net benefits would exceed the variable costs. The MSB for the 'Monta' variety could be increased to MSB95 in these two scenarios, as this would yield a positive RiL. However, acceptance in favour of a higher MSB very much should be based on other considerations, the main consideration being greenhouse space and the required amount of minitubers. In addition, it should be noted that in scenario D, despite an ar RiL value of 16%, MI at PD95 exceeded NI.

**Sensitivity analysis** revealed that in scenario A, which corresponds to the present production conditions at AREI, the highest acceptable cost of microplants would be 0.87 EUR per microplant for the 'Monta' variety, 0.82 EUR for 'Prelma' and 0.74 EUR for 'Mandaga' variety. If the cost of microplants would increase above these values, the planting density of microplants should be reduced below 63 microplants m<sup>-2</sup>. Sensitivity analysis performed for scenario B (production cost of microplant, market price of minituber) showed that a higher cost of microplants can be accepted to maintain the existing standard MSB63.

### **The effect of propagation method of microplants on the number and yield of minitubers in a greenhouse**

The cost of microplants accounts for the largest proportion of minituber production costs in AREI. The cost of microplants can be reduced either by increasing the volume of production or by using techniques in production that would cost less than the currently used ones. It is important that such techniques do not negatively affect the propagation rate of microplants and do not have a negative aftereffect on the subsequent number and yield of minitubers in the greenhouse.

When microplants are transplanted to *ex vitro* conditions (for example, in a peat substrate in a greenhouse), they are initially exposed to stress conditions, the most significant of which is stress caused by reduced humidity, compared to *in vitro* conditions.

Therefore, the better developed (larger weight, larger leaf area, well-formed roots) the microplant is before being planted *ex vitro*, the more likely it will acclimatize quickly and survive in the new conditions. Since AREI does not apply the hardening stage of microplants, well-developed microplants are even more important.

**Morphological characteristics of microplants depending on propagation method.** After comparing the morphological traits, it could be concluded that for none of the varieties, none of the propagation methods

generally yielded worse results compared to the standard method, i.e., propagation in glass test tubes filled with MS medium without added vitamins and other organic substances according to MS (treatment MMS). Only for the variety 'Preirma' were significantly lower results for two morphological traits (Table 4) when AMS treatment (cylindrical plastic containers filled with MS medium without added vitamins and other organic substances according to MS) was used. In general, the best results for both varieties were obtained in the AMSV treatment (microplants grown in cylindrical plastic containers filled with MS medium with vitamins and organic substances according to MS added); however, the use of this treatment would not be desirable, as a greater risk of contamination exists. In addition, adding the vitamins to the medium, although slightly, still increases its cost.

Propagation of microplants in plastic containers filled with MS medium of reduced strength, without vitamins and other organic substances according to MS added, would help reduce the cost of the propagation medium. Further AREI should study the possibilities of using MS media with a reduced concentration of microsalts.

Today, recycling of various plastic materials is possible, including the polypropylene containers used in this study. The use of disposable recyclable containers in the final passage of microplant propagation can improve production efficiency from the perspective of reducing labor and electricity costs. Calculations performed during the study showed that the price of such vessels was 3.6–5.4 times lower than the labor costs required for washing the glass test tubes used today for micropropagation. This difference would be even greater when the cost of water and electricity resources needed for washing is added. Thus, the use of disposable containers in potato micropropagation can significantly reduce production costs.

**Yield in a greenhouse.** Although the propagation method affected the morphological traits of the microplants, it did not have a significant effect on the number and weight of minitubers obtained in the greenhouse from the microplants grown in the respective treatment (Table 5).

The changes in microplant morphology observed in this study were not significant enough to have a significant positive effect on subsequent minituber number and yield. However, since the number of minitubers and the yield did not decrease significantly in any of the treatments compared to the control, it can be considered that the microplant propagation method did not have agronomic significance. Therefore, the method which is the most efficient in terms of resource use efficiency can be used for the propagation of microplants in the last passage, which was the AHMS treatment in this study.

## CONCLUSIONS

1. The efficiency of minituber production can be increased by increasing the planting density of microplants in a greenhouse (MSB). This results in a higher number of minitubers obtained per  $m^2$ . The differences in MSB at which the number of minitubers  $>3$  g of weight continued to increase were observed between genotypes. The most agronomically effective MSB for 'Monta' and 'Mandaga' varieties was the highest MSB among the studied (184 microplants  $m^{-2}$  or MSB184) and for the 'Prelma' variety – MSB142. When the space for growing is limited and a large number of microplants are available, MSB184 can also be used for the 'Prelma' variety because the number of tubers  $m^{-2}$  in this MSB variety 'Prelma' did not decrease significantly. As the microplant planting density increased, the multiplication rate in the greenhouse decreased for all varieties, and fewer minitubers  $>3$  g per microplant were obtained. (*Thesis 1 and 4*)
2. Changes in MSB in the greenhouse caused different patterns of changes in parameters characterizing the yield minitubers for genotypes. Therefore, each variety grown should be evaluated individually in the future. (*Thesis 1 and 4*)
3. As the MBS increased, the average weight of minitubers decreased; however, the size distribution of minitubers remained right skewed in the direction of larger size grades of minitubers. Such a trend indicates that microplant planting density can be even more increased if necessary; however, traits of individual varieties must be considered. (*Thesis 1 and 4*)
4. When planted in the field, smaller minitubers had slower emergence, later within row canopy closure, and fewer stems were formed. For the 'Monta' variety, the smallest minitubers had not only a significantly lower emergence rate within the variety but also a lower emergence rate of minitubers from all size grades compared to the 'Prelma' and 'Mandaga' varieties. Research on the effect of minituber storage conditions on plant emergence is needed. (*Thesis 2*)
5. In field conditions, a higher number of progeny tubers for all varieties was obtained from larger minitubers, both when expressed as the number of progeny tubers  $>25$  mm per emerged plant and per planted minituber (multiplication rate in field conditions). The 'Monta' variety had a significantly lower multiplication rate for all minituber size grades under field conditions than the 'Prelma' and 'Mandaga' varieties. (*Thesis 2*)
6. Both the field value of one microplant ( $LaV_{ma}$ ) and the greenhouse area unit ( $LaV_{pla}$ ) were significantly influenced by genotype and microplant planting density. As the planting density increased, the field value of minitubers grown per  $m^2$  increased, while the field value of minitubers obtained from one microplant decreased. Such trends of changes corresponded to the direction of changes in the multiplication rate in the greenhouse and the number of minitubers  $m^{-2}$ . This tendency was caused by the multiplication rate under

field conditions, which had a corrective effect on the field values, as it significantly depended on the size grade of planted minitubers. Significant linear regression equations were obtained between  $\text{LaV}_{\text{ma}}$  and the multiplication rate in the greenhouse and between  $\text{LaV}_{\text{pla}}$  and the number of minitubers  $\text{m}^{-2}$ . (*Thesis 3 and 4*)

7. The obtained relationships between the field value of one microplant and the multiplication rate in the greenhouse and between the field value of a unit area of the greenhouse and the number of minitubers per  $1 \text{ m}^2$  revealed that in cases when the size distribution of minitubers changes approximately to the extent observed in this study, the effectiveness of change in minituber growing technology can be evaluated without additional study of the field performance of minitubers. (*Thesis 3*)
8. In the present minituber production conditions at AREI (cost of microplants 0.54 EUR, cost of minitubers 0.41 EUR, or scenario A), only the two lowest microplant planting densities (MSB) (63 and 95 microplants  $\text{m}^{-2}$ ) were acceptable *per se* for all varieties. The analysis of the marginal rate of return (RiL) revealed that only the change in MSB from MSB63 to MSB95 for the 'Monta' variety resulted in a positive RiL value. For 'Prelma', all MSBs higher than MSB63 were excluded. However, MSB95 may be considered in circumstances when a larger number of minitubers of this variety is required at a certain period, as variable costs did not exceed the net benefits of this MSB. The RiL for 'Mandaga' in relation to the change in MSB from MSB63 to MSB95 was very low (6%). Although for 'Mandaga', a change in MSB from MSB95 to MSB184 would result in a RiL of 4%, MSB184 is not recommended for 'Mandaga' because variable costs at MSB184 exceeded net benefits. If the microplants should be purchased at the market price, then only MSB63 and even lower MSB would be acceptable, but if the value of the minitubers would be the market price, then for the variety 'Mandaga' increase of MSB to MSB184 would be efficient, to MSB142 for the 'Prelma' variety, and to MSB95 for the 'Monta' variety. (*Thesis 4*)
9. In the last propagation cycle, substituting propagation of microplants in glass test tubes filled with full-strength Murashige-Skoog medium (standard method at AREI) with propagation in disposable plastic containers filled with medium with reduced macrosalt content did not significantly affect the morphology of microplants and did not negatively affect the subsequent yield of minitubers in the greenhouse. Such a change in the microplant propagation method would reduce the cost of microplant production (*Thesis 5*).
10. The decision on the most efficient planting density of potato microplants in a greenhouse may depend on several considerations, such as whether the so-called 3G strategy (certified seed potato in three generations) that requires large numbers of minitubers is relevant in the area, or perhaps it is necessary to quickly introduce a new variety into production. Therefore, the agronomic aspects of minituber production may prevail over economic considerations.

## Acknowledgments

I thank the Doctoral School of Latvia University of Life Sciences and Technologies and the ESF co-funded project “Transition of LLU to the new doctoral funding model No. 8.2.2.0/20/i/001 for the opportunity to complete the development of the doctoral thesis. Thank you to the AREI team in Priekuļi (former Priekuļi State Plant Breeding Institute). I appreciate Dr. agr. Ilze Skrabule for introducing the world of potatoes, for support in organizing trials, and for valuable advice and discussions. To the entire team of the Potato Tissue Culture Laboratory for technical support in propagation of microplants and in setting up trials, especially to our former colleague Erika Anmane (formerly Kukemilka) for conducting field observations and yield analysis in 2015 during my leave. Thanks to Lelde Skrabule and Līga Auziņa for their help in harvesting field trials. Thanks also to my former colleague Ieva Mežaka, who helped to create a mathematical formula for evaluating the tuber size distribution of the yield from minitubers. Thanks to all my colleagues who helped me navigate the world of terminology, were willing to discuss various methodological issues and provided other helpful support.

Thanks to the researchers of the Faculty of Economics and Social Development of the Latvia University of Life Sciences and Technologies, Dr. oec. K. Naglis-Liepa and L. Proškina, as well as my colleague Dr. oec. S. Ceriņa for consultative support in the assessment of economic efficiency.

I am grateful to AREI for providing me with the opportunity to attend scientific conferences, during which I had the opportunity to meet excellent scientists, each of whom is one of the outstanding experts in potato research. Special thanks to Prof. W. J. M. Lommen of Wageningen University for the time devoted to discussions that led to the idea of the field value concept. W. Lommen's extensive research activity, her publications and our discussions served as the basis for the creation of the methodology of the doctoral thesis trials. Thank you to Prof. J. Hagman from the Swedish Agricultural University (SLU), who shared her research experience with minitubers and who provided me with her doctoral thesis. Thank you to Dr. D. Firman from the University of Cambridge, who made it possible to understand and apply the approach used in the doctoral work on the evaluation of the progeny tuber size distribution (yield obtained in field conditions).

I send my warmest thanks to my family for understanding that time is one of the most important resources to write my PhD thesis. I thank Jānis for his support in raising our little girl when I had to go on business trips to present the results of the research and she was still very young. Thanks to my daughter Rasa Ilze for such a deep understanding of the specifics of the research work and why it is necessary for Mom to write this very special work.

## **Pētījuma rezultātu aprobācija / Approbation of the scientific work**

### **Zinātniskie raksti, kas indeksēti SCOPUS un /vai Web of Science datu bāzēs /**

*Articles indexed in SCOPUS and/or Web of Science data bases*

1. Dimante I., Gaile Z., Proskina L., Cerina S. (2022). High microplant densities in greenhouses – are they always efficient in small potato minituber production systems? *Am. Journal of Potato Research*, <https://doi.org/10.1007/s12230-022-09876-1>.
2. Dimante I., Mežaka I., Gaile Z. (2019). The effect of Minituber Weight on their Field Performance under a Northern European environment. *Agronomy Research*, 17 (2), p. 396–407. (Scopus (citēts 1 reizi / quoted once), Web of Science (citēts 1 reizi / quoted once))
3. Dimante I., Gaile Z. (2018). Assessment of potato plant development from Minitubers. *Agronomy Research*, 16 (4), p. 1630–1641. (Scopus (citēts 3 reizes / quoted three times), Web of Science Biosis citation index (citēts 3 reizes / quoted three times))
4. Dimante I., Gaile Z. (2015). The effect of planting density on potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber number, weight and multiplication rate. In: *Research for Rural Development 2015*: annual 21th International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, May 13–15, 2015. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Vol. 1, p. 27–33. (Scopus (citēts 1 reizi / quoted once))
5. Dimante I., Gaile Z. 2014. Potato minitubers technology – its development and diversity: A review. In: *Research for Rural Development 2014*: annual 20th International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, May 21 – 23, 2014. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Vol. 1, 69–76. (Scopus (citēts 4 reizes / quoted four times ), Web of Science (citēts 5 reizes / quoted five times))

### **Citi recenzētie zinātniskie raksti / Other scientific articles**

1. Dimante I., Gaile Z. 2018. Kartupeļu mikroaugu audzēšanas apstākļu vienkāršošana pēdējā pasāža var uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti. No: *Ražas svētki "Vecauce – 2018"*: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Lauksaimniecības fakultāte. SIA LLU MPS “Vecauce”. Jelgava: LLU, 29.– 32. lpp.
2. Dimante I. 2013. Kartupeļu izlases sēklas (minibumbuļu) audzēšanas izvērtējums Valsts Priekuļu LSI. No: Ražas svētki "Vecauce 2013". Lauksaimniecības augstākajai izglītībai Latvijā – 150: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Lauksaimniecības fakultāte. SIA LLU MPS “Vecauce” Jelgava: LLU, 37.– 40. lpp.

## Konferenču tēzes / Conference abstracts

1. Dimante I., Gaile Z. (2022). Agronomic Versus Economic Efficiency of Using High Microplant Densities in a Small Minituber Production Entity. *11th World Potato Congress*. Dublin, Ireland, May 29– June 2, 2022.
2. Dimante I., Gaile Z. (2018). Evaluation of benefits and losses of minitubers production as affected by increased potato *in vitro* plants density under greenhouse conditions. In: *10th World Potato Congress. Abstract book*. Cusco, Peru, May 27–31, 2018, p. 86.
3. Dimante I., Gaile Z., Skrabule I. (2017). The effect of potato (*Solanum tuberosum L.*) minituber weight on seed yield and its size distribution. In: *Potato Research. Vol. 60(1): Abstracts of the third meeting of the section agronomy and physiology of the EAPR*. Riga, Latvia, September 25–29, 2016, p. 93–94. (Web of Science)
4. Dimante, I; Gaile, Z. (2015). The effect of potato (*Solanum tuberosum*) minituber size on plant development and seed yield. In: *Nordic View to Sustainable Rural Development, Proceedings of the 25th NJF congress*. Riga, Latvia, June 16–18, p. 175. (Web of Science)
5. Dimante I., Gaile Z. (2014). A case study on current potato (*Solanum tuberosum L.*) minitubers production in Latvia and its further prospects. In: *Proceedings of the 19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Abstract book*. Brussels, Belgium, July 6–11, 2014, p.191.

## Referāti konferencēs un semināros/ Presentations in scientific conferences and seminars

1. Dimante I., Gaile Z. (2018). Kartupeļu mikroaugu audzēšanas apstākļu vienkāršošana pēdējā pasāžā var uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti. *Ražas svētki "Vecauce – 2018"*, 1. novembrī, 2018, Vecauce, Latvija.
2. Dimante I., Gaile Z. (2018). Evaluation of benefits and losses of minitubers production as affected by increased potato *in vitro* plants density under greenhouse conditions. *10th World Potato Congress*, May 27–31, 2018 Cusco, Peru.
3. Dimante I., Gaile Z., Skrabule I. (2016). The effect of potato (*Solanum tuberosum L.*) minituber weight on seed yield and its size distribution. *3rd meeting of the Section of Agronomy and Physiology of the European Association for Potato Research (EAPR)*, September 25–29, 2016, Riga, Latvia.
4. Dimante I., Gaile Z. (2015). The effect of planting density on potato (*Solanum tuberosum L.*) minituber number, weight and multiplication rate. *International conference "Research for Rural Development – 2015"*, May 13–15, 2015, Jelgava, Latvia.

5. Dimante I. (2014). Plant tissue culture techniques and healthy seedlings propagation in Latvia. Current situation overview. *Workshop on Techniques of Tissue Culture and Healthy Seedlings Propagation*, Oct. 28 – Nov. 21, 2014, Taipei, Taichung, Taiwan (RoC).
6. Dimante I., Gaile Z. (2014). Potato minitubers technology – its development and diversity: a review. *International scientific conference “Research for Rural Development -2014”*, May 21–23, 2014, Jelgava, Latvia.

**Stenda referāti /**  
*Poster presentations in scientific conferences and seminars*

1. Dimante I., Gaile Z. (2022). Agronomic Versus Economic Efficiency of Using High Microplant Densities in a Small Minituber Production Entity. *11th World Potato Congress*, May 29– June 2, 2022, Dublin, Ireland.
2. Dimante I., Gaile Z. (2017). Potato *in vitro* plants density in greenhouse affects field value of minitubers. *20<sup>th</sup> triennial conference of the European Association for Potato Research (EAPR)*, July 9–14, 2017, Versailles, France.
3. Dimante, I., Gaile, Z. (2015). The effect of potato (*Solanum tuberosum*) minituber size on plant development and seed yield. *The 25th NJF congress*, June 16–18, 2015, Riga, Latvia.
4. Dimante I., Gaile Z. (2014). A case study on current potato (*Solanum tuberosum L.*) minitubers production in Latvia and its further prospects. *19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research (EAPR)*, July 6–11, 2014, Brussels, Belgium.
5. Dimante I. (2013). Kartupeļu izlases sēklas (minibumbuļu) audzēšanas izvērtējums Valsts Priekuļu LSI. *Ražas svētki "Vecauce 2013"*. 7. novembrī, 2013, Vecauce, Latvija.