ISSN 1407-4427

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE

RAKSTI

PROCEEDINGS OF THE LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

Nr. 25 (320), 2010
JELGAVA

Saturs / Contents

Redkolēģija / Editorial Board

LLU Raksti ir indeksēti datubāzēs CAB Abstracts un AGRIS. / The journal is indexed and abstracted by databases CAB Abstracts and AGRIS.

LLU Raksti (Proceedings of the Latvia University of Agriculture) is a scientific journal published by the Latvia University of Agriculture since 1946. The *Proceedings* operates on a non-profit basis.
Editorial Office: Latvia University of Agriculture, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001, Latvia;
phone: + 371-63005671; fax: + 371-63005685; e-mail: Inga.Skuja@llu.lv.
Printed and bound by *Drukātava* Ltd.

Estētiskās kvalitātes kritēriji urbanizētas ainavas izpētē
Urban Landscape Aesthetic Quality Assessment

Daiga Zigmunde
LLU Arhitektūras un būvniecības katedra
Department of Architecture and Building, LLU
e-mail: Daiga.Zigmunde@llu.lv

Abstract. The specificity of human visual perception determines aesthetic quality as one of the most important landscape characteristics, especially for urban landscape where human needs dominate and everyday life takes place. The landscape perception is subjective – it is determined by a human's individuality. A more objective approach in urban landscape aesthetic quality assessment is the design approach. Within the framework of this approach, the physical elements of landscape, e.g., forms of relief, bodies of water, trees, etc., are simplified, perceived and analysed as geometric objects having form, lines, texture, colours and other qualities. The Latvian town Lielvarde has been chosen as a study object. It presents urban landscape with important cultural heritage and at the same time with high intensity of transit traffic. The study focused on the methodology of aesthetic quality assessment where the evaluation criteria were used in the research of sceneries and each specific functional zone of Lielvarde town. According to the design approach, the evaluation criteria of aesthetic quality were divided into three groups. These groups covered design and compositional outlines – features, their quality and mutual interaction of these features. According to the findings, the evaluation criteria used in the design approach were simply perceptible and applicable in the assessment of urban landscape aesthetic quality. They provided the use of uniform principles in the research, thus also the possibilities of comparing the different functional zones of the urban landscape were created.
Key words: urban landscape, aesthetic quality assessment, evaluation criteria.

Ievads

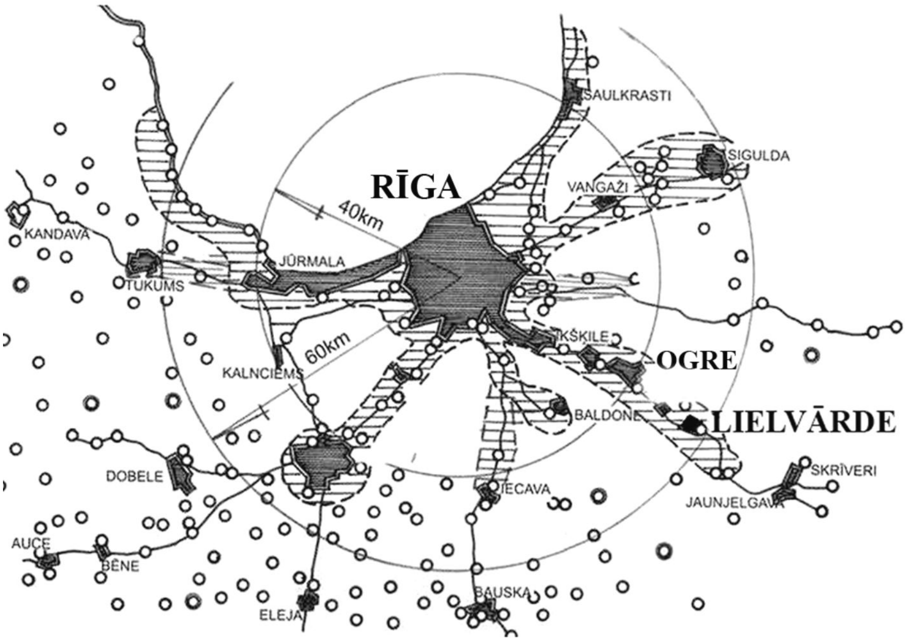
Augsta ainavas estētiskā kvalitāte ir īpaši svarīga urbanizētajā ainavā, jo tā ir gan dzīves, gan darba un atpūtas vide cilvēkiem, kas nepārtraukti no dažādiem rakursiem un aspektiem vērtē un uztver šo vidi. Pētījums aplūko urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes novērtēšanas iespējas, pielietojot vērtēšanas kritēriju grupas, kuras balstītas uz ainavu arhitektūrā un pilsētplānošanā lietotajiem ārtelpas funkcionālajiem un arhitektoniski telpiskās kompozīcijas principiem. Līdz šim Latvijas urbanizēto ainavu estētiskā kvalitāte akcentēta plānošanas kontekstā (Briņķis, Buka, 2001). Tomēr viena no problēmām ir pilsētvides kā estētiski vienotas un kvalitatīvas urbanizētas telpas attīstības koncepcijas trūkums. Tas atspoguļojas pilsētas ainavā kā atsevišķu objektu un teritoriju nesaistīta mozaīka, neveidojot estētiski vienotu urbanizēto telpu. Tādējādi arī urbanizēto ainavu estētiskās kvalitātes novērtēšanas metodika galvenokārt balstīta uz atsevišķu ainavas elementu vai teritoriju analīzi. Visas kopējās urbanizētās telpas estētiskās kvalitātes novērtēšanas metodika zinātniskajā literatūrā nav plaši aplūkota, līdz ar to turpmāk aprakstītais pētījums ir jauna pieredze Latvijas ainavu arhitektūrā.

Vārds „estētisks" saistās ar skaistuma jēdzienu (Kundziņš, 2004), kaut gan tulkojumā no grieķu valodas tas nozīmē „tāds, kas sajūt, jūt" (Svešvārdu vārdnīca, 1999). Līdz ar to ainavas estētiskās kvalitātes nozīmīgums atklājas tieši saistībā ar cilvēku, viņa uztveres īpatnībām, redzētā izpratni un interpretāciju (Ziemeļniece, 1998; Siliņš, 1999; Kundziņš, 2004). Ainavas estētiskā kvalitāte veidojas no vizuālās informācijas (vizuālā uztvere), kura pirmā sasniedz mūsu prātu un veido 80% no uztvertā; no informācijas, ko veido pārējās maņas (sensorā uztvere) – dzirde, tauste, oža un pat garša (Яргина, 1991; Ziemeļniece, 1998; Ode, 2003; Zigmunde, 2007); kā arī cilvēka iepriekšējās pieredzes un prāta noteiktās iegūtās informācijas interpretācijas (kognitīvā uztvere). Tāpēc ainavas estētikas interpretācija līdz ar mākslas un zinātnes tendencēm jau gadsimtiem ilgi atspoguļo konkrētā laika filosofiju, tradīcijas, cilvēku dzīves veidu un svarīgāko politisko un ekonomisko notikumu ietekmes sekas (Ziemeļniece, 1998; Siliņš, 1999; Ainavu aizsardzība, 2000; Kundziņš, 2004).

Līdz ar cilvēka radītajiem elementiem dažādā estētikas izpratne skaidri nolasāma tieši pilsētas ainavas attīstības etapos, kurus raksturo noteikta laika arhitektūra un plānošanas stils (Яргина, 1991; Briņķis, Buka, 2001). Latvijā estētiskās kvalitātes pētījumi iepriekš aprakstīti dažādos ainavas līmeņos un tipos: dabas elementi kā estētiskā pirmavoti; dabiskās un lauku ainavas; urbanizētās ainavas. Dabas elementi kā estētiskuma izpratni veidojoši pirmavoti aprakstīti biologa, fotogrāfa un dabas izzinātāja Māra Kundziņa grāmatā „Dabas formu estētika" (2004). Tajā plaši pētīta cilvēka uztvere, zinātnes loma vides un tās elementu harmonijas meklējumos, kuru pamatā ir dabā novēroto parādību interpretācija un pielietojums mākslā, kompozīcijas paņēmienu radīšana. Ainavu pētnieki, ģeogrāfi Oļģerts Nikodemus un Aija Melluma devuši lielu ieguldījumu Latvijas dabisko ainavu estētiskās kvalitātes izpētē, akcentējot tieši cilvēka subjektīvās uztveres nozīmi ainavas estētikas interpretācijā (Melluma, Danilāns, 1975; Melluma, Leinerte, 1992; Nikodemus, 2001). Šajos pētījumos izmantoti estētiskās kvalitātes kritēriji: ainavas kvalitāte kā subjektīvs rādītājs (eksperta skatījums uz ainavas estētisko kvalitāti, par pamatu ņemot ainavas interpretāciju, balstoties uz savu iepriekšējo profesionālo pieredzi); saskatāmība un ainavas pieejamība, kas aptver arī skatu analīzi (Nikodemus, Rasa, 2005). Vēl vienu pētnieku grupu veido arhitekti, teritoriālplānotāji Oļģerts Buka, Jānis Briņķis, Ivars Strautmanis un Jānis Krastiņš, kuru zinātniskā darbība galvenokārt saistīta ar urbanizētas ainavas plānošanu. Tās ietvaros ainavas estētiskās kvalitātes kritērijus nosaka arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pamatelementi. Tomēr bez arhitektoniski telpiskās kompozīcijas ainavas estētiskās kvalitātes veidošanā viņi akcentē arī tādus kritērijus kā teritoriālās vides īpatnības, socioekonomiskie aspekti un politika (Briņķis, Buka, 2001). Jaunākie Latvijas ainavas estētiskās kvalitātes pētījumi vairāk saistīti ar dabisko teritoriju izpēti, izzinot to attīstības scenārijus un raksturīgās ainavas identitātes saglabāšanas iespējas (Nikodemus, Rasa, 2005). Urbanizētas ainavas kontekstā pētījumi lielākoties aptver Rīgas kā Eiropā nozīmīgas kultūrvēsturiskas ainavas izpēti, kurā vienlaicīgi ar kultūrvēsturiskajām vērtībām tiek noteiktas arī estētiski vērtīgas un saglabājamas atsevišķās pilsētas ainavu telpas. Šajos pētījumos pielietota pašreizējo skatu analīze. Līdz ar to citu Latvijas lielāko un vidējo pilsētu estētiskās kvalitātes pētījumi šobrīd nav plaši veikti, un tā ir atvērta tēma ainavu arhitektūras un plānošanas nozarē.

Raksta autores iepriekšējie ainavas estētiskās kvalitātes pētījumi aptver estētiskās kvalitātes novērtēšanas metodiku, apkopojot iepriekš minēto zinātnieku atziņas divās pieejās – subjektīvajā, kas balstīta uz katra ainavas vērotāja individuālajām iezīmēm (Melluma, Leinerte, 1992; Hägerhäll, 1999; Ode, 2003), un objektīvajā, kas pamatojas uz gadsimtiem senu, mākslā, arhitektūrā un plānošanā plaši pielietotu arhitektoniski telpiskās kompozīcijas paņēmienu izmantošanu ainavas estētiskās kvalitātes novērtēšanā (Ziemeļniece, 1998; Ode, 2003; Kundziņš, 2004). Arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas galvenās vadlīnijas raksta autore iepriekš aprakstījusi un tās pielietošanas iespējas analizējusi, pētot estētisko kvalitāti aizsargājamās dabas teritorijās (Zigmunde, 2007), savukārt subjektīvās uztveres pieeju kopā ar fotogrāfiju metodi aprakstījusi un tās pielietošanas iespējas raksturojusi urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes izpētē (Zigmunde, 2006). Rakstā analizēta arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieeja, kas pielāgota urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes novērtēšanas specifikai. Tā saistīta ar pilsētvides dažādajām funkcionālajām zonām, kurām katrai ir savi noteikti estētiskas vides izveides nosacījumi un principi (Briņķis, Buka, 2001), kas plaši aplūkoti zinātniskajā un praktiskajā literatūrā (Steiner, Butler, 2007). Arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieeja (angļu valodas termins - *Design (objective) approach)* balstīta uz ainavas fiziskā veidola analīzi. Pieejas ietvaros ainavas fiziskie elementi, piemēram, reljefa formas, ūdenstilpes, koki u.c., tiek vienkāršoti, uztverot un analizējot tos kā ģeometriskus objektus, kuriem piemīt forma, līnijas, tekstūra, krāsa un citas īpašības (Antrop, Van Eetvelde, 2000; Ode, 2003). Arī to savstarpējās mijiedarbības raksturošanai izmanto tādus kompozīcijas terminus kā dažādība, harmonija, ritms u.c. (Ziemeļniece, 1998; Zigmunde, 2006). Tā kā pastāv atšķirīgi ainavu tipi, tad to novērtēšana balstās uz konkrētam tipam atbilstošiem plānošanas pamatprincipiem. Ainavu arhitektūras jomā ir izstrādātas vairākas teorijas, kas nosaka gan ainavas elementu, gan to savstarpējās mijiedarbības plānošanas formas, lai nodrošinātu pēc iespējas augstāku ainavas estētisko kvalitāti (Ode, 2003; Kundziņš, 2004; Steiner, Butler, 2007).

Urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes pētījums veikts Lielvārdes pilsētā Lielvārdes pilsētas domes pasūtījuma darba „Lielvārdes pilsētas apstādījumu koncepcija" ietvaros, kura izstrāde pabeigta 2007. gada rudenī. Pētījumā piedalījās divas pētnieces, praktizējošas ainavu arhitektes, raksta autore Daiga Zigmunde un Natālija Ņitavska, kā arī divi tehniskie darbinieki, kuru galvenais uzdevums bija sagatavot kartogrāfisko un fotogrāfiju materiālu. Pētījuma mērķis bija izstrādāt vērtēšanas kritērijus,



1. att. Pētījuma objekta – Lielvārdes – izvietojuma shēma Rīgas aglomerācijas kontekstā.
(Avots: Briņķis, Buka, 2001.)
Fig. 1. Location of the study object – the Lielvarde town – in the agglomeration of the Riga city.
(Source: Briņķis, Buka, 2001.)

kas būtu pielāgoti vienotas urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes izpētei. Pētījumā izvirzītā hipotēze – urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes kritēriju un novērtēšanas metodikas izstrāde – ir viens no priekšnosacījumiem vienotu principu ievērošanai dažādo pilsētas funkcionālo zonu izvērtēšanā, kā arī tālākās attīstības plānošanā, tādējādi nodrošinot pilsētvides nesadrumstalotību (homogenitāti), vērtību saglabāšanu, savdabīguma un pilsētas tēla nodrošināšanu. Pēc iegūtajiem rezultātiem secināti uz arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas bāzes izstrādāto vērtēšanas kritēriju pozitīvie un negatīvie aspekti un tālāko pētījumu virzieni. Pozitīvās atziņas raksturo arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas objektīvo pusi, jo ainavas estētiskās kvalitātes kritēriji ir skaidri definējami un interpretējami. Kā iztrūkstošais etaps pētījumā tika secināts cilvēka jeb subjektīvais faktors, kas papildus padziļināti būtu jāietver turpmākos pētījumos.

Materiāls un metodika

Pētījuma objekts un tā raksturojums

Par pētījuma objektu tika noteikta Lielvārdes pilsēta. Tai raksturīgi vairāki ainavas vizuāli estētisko struktūru ietekmējoši specifiski aspekti, kuri būtu jāņem vērā estētiskās kvalitātes kritēriju izstrādē:

- kultūrvēsturiskais faktors;
- dabas elementi;
- pilsētas infrastruktūras radītā telpiskā sadrumstalotība;
- intensīvā satiksme;
- Lielvārdes tuvums Ogrei un Rīgai.

Kultūrvēsturisko vidi Lielvārdē raksturo gan īpašā vietas aura, ko veido latviešu dzejnieka Andreja Pumpura eposa „Lāčplēsis" tēli un leģenda, gan kultūrvēsturiskais mantojums, ko nosaka Lielvārde kā viena no senākajām Latvijas apdzīvotajām vietām (Latvijas pilsētas, 1999; Lielvārdes pilsētas ..., 2002). Lielvārdes nozīmīgākie elementi ir aizsargājamā Daugavas krasta ainava, vairākas mazās upītes ar ietekām Daugavā, kā arī vēsturiskās alejas un parki (Lielvārdes pilsētas .., 2002). Lielvārdes teritorijas telpiskā struktūra ir samērā sadrumstalota. To nosaka gan kultūrvēsturiskais faktors un dabas elementu novietojums (mazo upīšu ietekas Daugavā), gan arī dzelzceļš, valsts nozīmes autoceļi, elektropārvades līniju koridori un citi ierobežojoši elementi, kas veido funkcionāli nodalītas teritorijas. Vienlaicīgi Lielvārde ir ļoti dinamiska pilsēta, ko rada intensīvā satiksme Rīga–Daugavpils cauri pilsētas centram, vizuāli un funkcionāli sadalot to divās daļās. Arī Latvijas galvaspilsētas, Rīgas (55 km), un rajona centra, Ogres (20 km), tuvums un darba iespējas tajās nosaka pilsētas iedzīvotāju nepieciešamību pēc augstas kvalitātes dzīvojamās vides (Lielvārdes pilsētas ..., 2002). Lielvārdes pilsētas izvietojums Rīgas aglomerācijā attēlots 1. attēlā.

Pašlaik Daugavas ieleja posmā no Rīgas līdz Lielvārdei ir viens no visurbanizētākajiem Daugavas posmiem, tās kopējā platība ir 10 km^2 un aptuvenais iedzīvotāju skaits – 6700 (Lielvārdes pilsētas ..., 2002).

Ainavas estētiskās kvalitātes kritēriji un arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieeja

Lielvārdes pilsētas ainavas estētiskās kvalitātes kritēriju izstrāde balstījās uz arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas bāzes. Tās ietvaros ainavas estētiskās kvalitātes novērtēšanas kritēriji tika veidoti divās grupās.

Pirmās grupas kritēriji attiecās uz **ainavas rakstu**, kas atspoguļo ainavas elementu izvietojumu un savstarpējo ietekmi. Ainavas raksta estētiskās kvalitātes kritēriji tika strukturēti trīs apakšgrupās (Zigmunde, 2007):

1. 1. **Ainavas elementu esamība, tips un raksturīgums**. Vērtēšanas kritēriju grupas ietvaros vērtē urbanizētajā ainavā uzskaitīto dabas un cilvēka veidoto elementu funkcionālo un estētisko atbilstību konkrētajai pilsētas funkcionālajai zonai, lietojot vērtējumu „raksturīgs" vai „neraksturīgs".
2. 2. **Ainavas elementu īpašības**. Kritēriju apakšgrupā ietver kritērijus, kas raksturo ainavas elementu īpašības: krāsa, forma, platība vai lielums, faktūra, mērogs un proporcija, mainīgums laikā un telpā (gadalaiku, laika apstākļu ietekme). Vērtēšanas procesā izmanto arhitektoniski telpiskās kompozīcijas teoriju, kas plaši pieejama zinātniskajā un praktiskajā (projektēšanas un plānošanas standarti) literatūrā (Šusts, 1979; Irbīte, Bāliņa, 2005; Steiner, Butler, 2007; LaGro, 2008), un lieto vērtējumu „atbilst", „neatbilst" vai „daļēji atbilst teorijai". Papildus arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas kritērijiem ainaviski īpatnēju, savdabīgu, kā arī kultūrvēsturisku teritoriju vai atsevišķu ainavas elementu novērtēšanai izmanto specifiskus kritērijus: pārstāvniecība, tipiskums un reprezentativitāte, kas nosaka objekta raksturīgumu vietējiem apstākļiem un noteiktam laikmetam; daudzveidība, kas raksturo ģeogrāfisko, bioloģisko u.c. daudzveidību; retums un unikalitāte; dabiskums, kas raksturo cilvēka ietekmes līmeni uz konkrēto teritoriju vai elementu; platība; vecums, saglabātība un izcilība, kas attiecas tieši uz kultūrvēsturiskajiem elementiem ainavā (Ainavu aizsardzība, 2000). Vērtēšanas procesā raksturo konkrētā kritērija vērtības pakāpi – „zema", „vidēja" vai „augsta" atbilstoši katra elementa vai teritorijas raksturojumam un noteiktajam statusam pilsētas teritorijas plānojumā.
3. 3. **Ainavas elementu savstarpējās mijiedarbības formas**. Kritēriju apakšgrupu veido kritēriji: ainavas elementu savstarpējais izkārtojums – ainavas raksts un kompozīcija; krāsu, formu un tekstūras saskaņa; savstarpējā proporcija; sasaiste ar ietverošo ainavu, blakus esošajām atšķirīgajām funkcionālajām zonām. Zinātniskajā literatūrā un plānošanas standartos (Steiner, Butler, 2007; LaGro, 2008) katrai pilsētas funkcionālajai zonai ir tai raksturīgi elementi un to kompozicionālais sakārtojums (piemēram, daudzstāvu dzīvojamās apbūves zona, ražošanas zona u.c.), tāpēc lieto vērtējumu „atbilst", „neatbilst" vai „daļēji atbilst teorijai".

Otra kritēriju grupa raksturo **ainaviski telpisko struktūru jeb skatu uzbūvi**. Tās ietvaros izšķir divas apakšgrupas.

1. **Skata pieejamība un saskatāmība** (Nikodemus, 2001; Nikodemus, Rasa, 2005).
   Ainavas saskatāmību un pieejamību vērtē pēc tā, kā ainava izceļas uz kopējā apkārtnes fona un no cik skatu punktiem to iespējams vērot (Nikodemus, 2001). Par skatu punktiem urbanizētā ainavā noteikti ceļi, pa kuriem cilvēki ikdienā pārvietojas ar transportlīdzekļiem vai kājām, kā arī publiskās āra un iekštelpas. Tās ir parki, skvēri, atpūtas vietas, kafejnīcas, lielveikali un citas. Izmanto vērtējumu „laba", „vidēja", „slikta".
2. **Skata izteiksmīgums un kompozicionālā uzbūve** (Ziemeļniece, 1998; Palmer, Hofmann, 2001). Šie kritēriji raksturo ainavas elementu savstarpējā izkārtojuma estētisko kvalitāti atbilstoši zinātniskajā un praktiskajā literatūrā pieejamajai arhitektoniski telpiskās kompozīcijas teorijai (Šusts, 1979; Irbīte, Bāliņa, 2005; Steiner, Butler, 2007; LaGro, 2008). Izmanto vērtējumu „laba", „vidēja", „zema".

Arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieeja un ainavas estētiskās kvalitātes kritēriji shematiski attēloti 2. attēlā.

Pilsētas funkcionālās zonas un to grupēšana

Pamatojoties uz pilsētas dažādo funkcionālo zonu plānošanas atšķirībām, šīs teritorijas vērtē atbilstoši to funkcijai un zinātniskajā literatūrā un plānošanas standartos noteiktajām vizuāli estētiskās kvalitātes prasībām (Steiner, Butler, 2007; Briņķis, Buka, 2001). Pilsētas funkcionālās zonas grupē pēc

2. att. Ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšana pēc arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas.
Fig. 2. Landscape aesthetic quality assessment by the design approach.

literatūrā pieejamajiem funkcionālo zonu grupu tipiem (Briņķis, Buka, 2001):

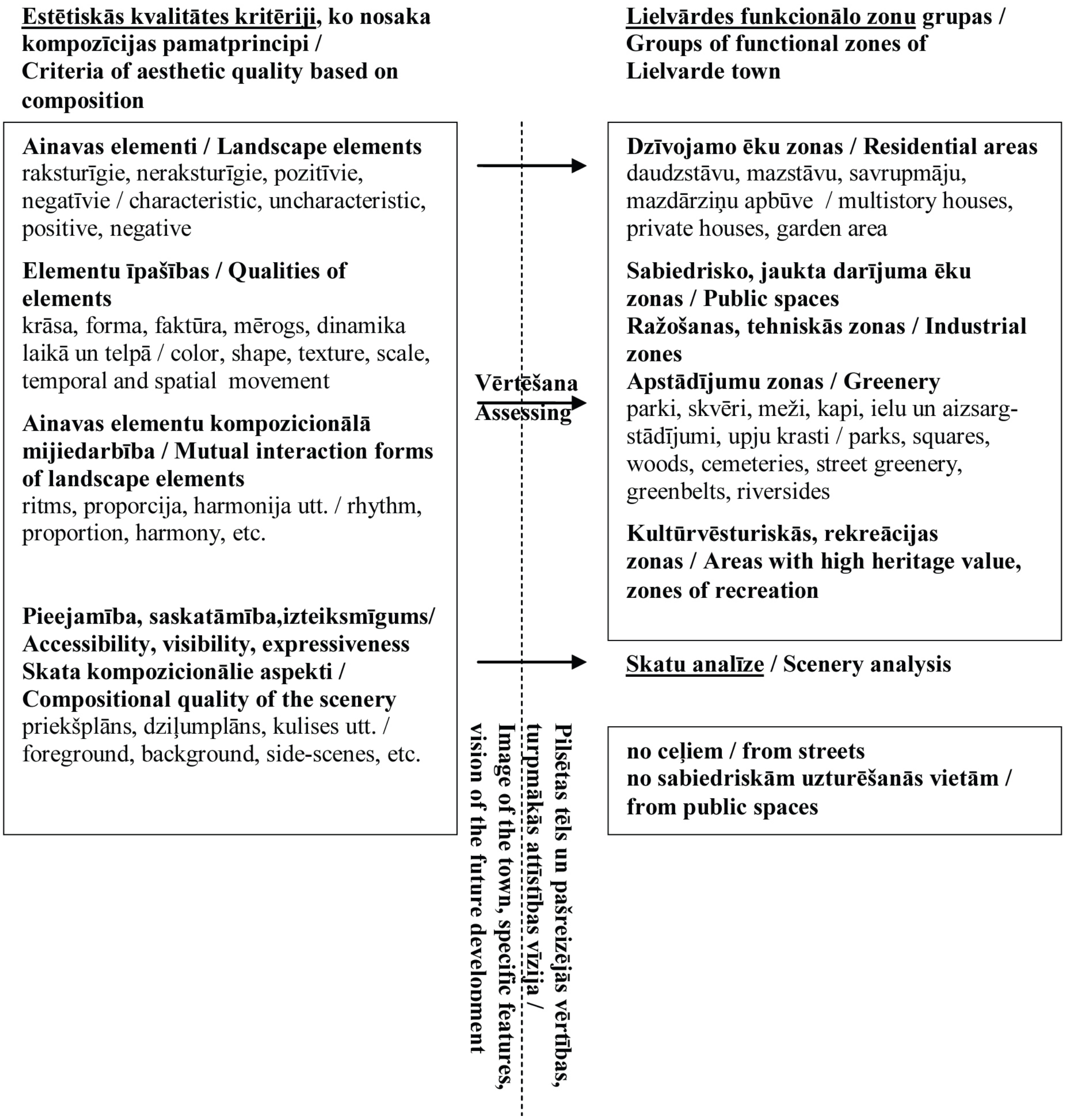
1) pilsētas apstādījumu teritorijas, kas ietver dabas teritorijas, mežus, parkus, skvērus, kapsētas, upju krastus, mazdārziņus, ielu un aizsargstādījumus;
2) ūdens teritorijas;
3) dzīvojamās apbūves teritorijas, kas ietver daudzstāvu un mazstāvu dzīvojamo apbūvi, savrupmāju teritorijas;
4) sabiedriskās apbūves teritorijas, kas ietver jaukta tipa darījumu teritorijas, skolas, bērnudārzus u.tml.;
5) kultūrvēsturiskās teritorijas;
6) tehniskās un ražošanas teritorijas, kas ietver garāžu, ražošanas u.c. teritorijas;
7) lineārās izbūves teritorijas, kas ietver ielu un ceļu tīklu, kā arī dzelzceļa teritorijas;
8) lauksaimniecības zemes.

Pilsētas attīstības virzienu un prioritāšu noteikšana

Katra estētiskās kvalitātes vērtēšanas kritērija vērtības precizēšanai kritērijus papildus analizē pilsētas attīstības un prioritāšu kontekstā, lai nodrošinātu vērtības atbilstību tieši konkrētajai urbanizētajai ainavai. Pilsētas attīstības un prioritāšu definēšana kalpo arī kā filtrs, radot iespēju novērtēt katra ainavas elementa un tā īpašību noderīgumu nākotnē un konkrētās teritorijas lomu pilsētas ainavas kopējās estētiskās kvalitātes nodrošināšanā. Latvijā pilsētu attīstības virzieni un prioritātes tiek ietvertas konkrēto pilsētu teritoriju attīstības plānos.

Lielvārdes pilsētas ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšana

Lielvārdes pilsētas ainavas estētiskās kvalitātes izpētes ietvaros tika izmantota arhitektoniski telpiskās



3. att. Lielvārdes ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšanas shēma.
Fig. 3. The scheme of aesthetic quality assessment of Lielvarde town.

kompozīcijas pieeja un uz tās bāzes izstrādātie estētiskās kvalitātes vērtēšanas kritēriji. Vērtēšanu veica divas pētnieces, praktizējošas un sertificētas ainavu arhitektes.

Pirmajā etapā tika sagrupētas un kartētas Lielvārdes funkcionālās zonas. Funkcionālo zonu iedalījumam par pamatu ņemtas Lielvārdes attīstības plānā izstrādātās pilsētas funkcionālās zonas (Lielvārdes pilsētas ..., 2002), kas grupētas pēc to noteicošās funkcijas. Pilsētas estētiskās kvalitātes vērtēšanai tika izveidotas sekojošas grupas: lauksaimniecības zemju teritorijas, pilsētas apstādījumu teritorijas, dzīvojamās apbūves teritorijas, sabiedriskās un jaukta darījuma apbūves teritorijas, kultūrvēsturiskās teritorijas, ūdens teritorijas, tehniskās un ražošanas teritorijas. Nepieciešamo datu ieguve ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšanai tika veikta dabā, analizējot Lielvārdes teritoriju pa iepriekš strukturētajām funkcionālo zonu grupām. Lauka izpēte norisinājās desmit pilnas dienas 2006. gada rudenī, labos laika apstākļos. Katrā funkcionālajā zonā tika veikta ainavas elementu uzskaite, raksturotas to īpašības un elementu savstarpējā mijiedarbība, kartēti un analizēti skati no ielām, ceļiem un iedzīvotāju pulcēšanās vietām, veicot arī skatu fotofiksāžas.

Nākamajā etapā pēc nepieciešamo datu ieguves tika veikta to izvērtēšana, kas norisinājās auditorijā. Tika vērtēti gan dabā iegūtie dati, gan kartogrāfiskais materiāls (Lielvārdes pilsētas ..., 2002) un iegūtās fotogrāfijas, izmantojot iepriekš izstrādātās arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas pamatkritēriju grupas. Vērtēšana balstījās uz vērtētāju iepriekšējo zinātnisko un praktisko pieredzi un ainavu arhitektūrā lietojamo teorētisko bāzi – zinātniskajā un praktiskajā literatūrā pieejamajiem estētiski kvalitatīvas urbanizētas ainavas plānošanas pamatprincipiem (Steiner, Butler, 2007; LaGro, 2008). Kartogrāfiskā materiāla izpētē tika vērtēta ainavas struktūra, funkcionālo zonu izvietojums pilsētas teritorijā un to lielums. Lauka izpētē iegūto datu vērtēšanas procesā katra kritērija vērtība papildus tika analizēta, ņemot vērā pilsētas attīstības virzienus un prioritātes. Tie tika noteikti, pamatojoties uz nostādnēm, kas iekļautas „Lielvārdes pilsētas ar lauku teritoriju attīstības plānā" (2002). Galvenie attīstības virzieni un pilsētas ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšanā iekļautie nosacījumi bija: Lielvārde kā mazpilsēta; Zaļā pilsēta; Tūrisma pilsēta; Rīgas un Ogres pavadoņpilsēta. Tranzīta nodrošināšana tika akcentēta kā sekundāra pilsētas funkcija ar iespēju nākotnē to novirzīt ārpus pilsētas, tāpēc vērtēšanā netika iekļauta. Par vērtējumu ietekmējošu nosacījumu tika izvirzīta mazpilsētai raksturīga arhitektoniski telpiskā kompozīcija, kuras pamatā ir dabas elementu un mazstāvu apbūves mijiedarbība, kā arī sakārtota un veselīga dzīvojamā vide, ko nosaka pavadoņpilsētas pamatfunkcija. Papildus nosacījumu veido īpašā Lielvārdes kultūrvēsturiskā vide, kas akcentē identitātes, tradīciju un savdabīguma aizsardzību un saglabāšanu. Lielvārdes pilsētas ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšana shematiski attēlota 3. attēlā.

Rezultāti un diskusija

Arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas ietvaros estētiskās kvalitātes kritēriji izmantoti Lielvārdes ainaviskās telpas struktūras un skatu analīzē. Rezultāti vērtēti pa Lielvārdes funkcionālo zonu grupām, vienlaicīgi ņemot vērā pilsētvides kā vienota organisma nosacījumu un iespējamos tālākās attīstības virzienus.

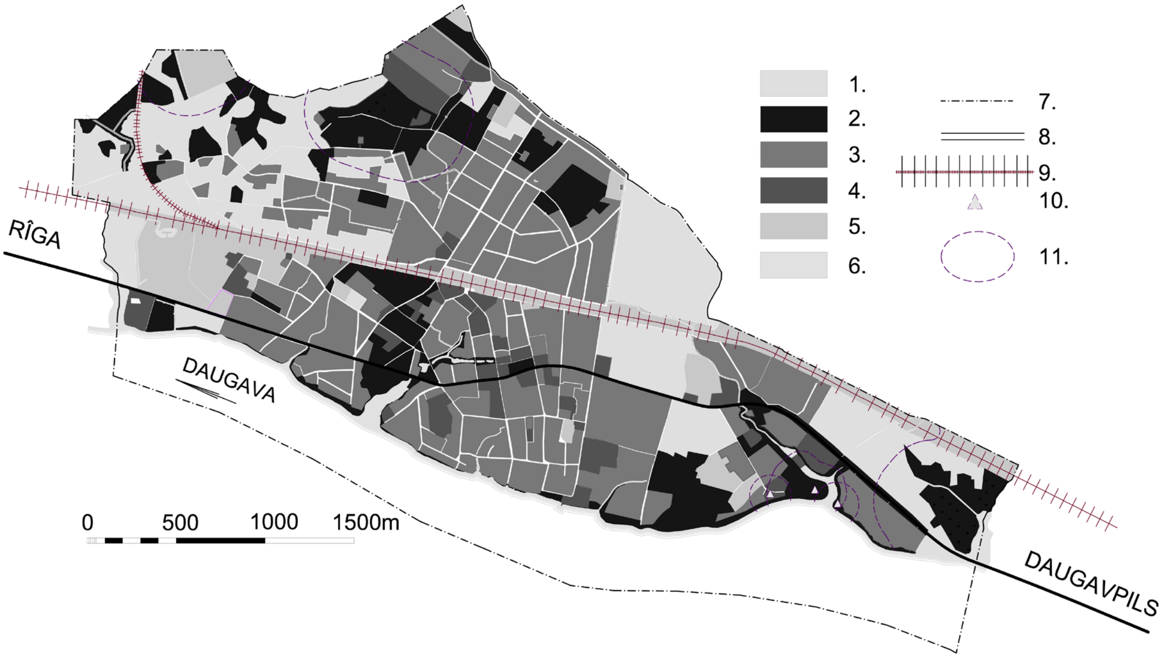
Lielvārdes pilsētas ainavas raksta jeb struktūras vērtējumu veidoja kartogrāfiskā un fotogrāfiju materiāla, kā arī lauka izpētē iegūto datu analīze. Izmantojot ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšanas kritēriju grupu – ainavas elementu esamība, tips un raksturīgums –, tika konstatēts, ka mazpilsētas noteiktā attīstības virziena kontekstā raksturīgie ainavas elementi ir mazstāvu dzīvojamās ēkas un savrupmājas (4. att.), kā arī dabas objekti –

4. att. Mazpilsētai raksturīgie elementi – mazstāvu savrupmāju apbūve ar piemājas dārzu veidoto zaļo struktūru.
Fig. 4. Characteristic elements of a provincial town – private houses with surrounding greenery.

5. att. Daudzstāvu dzīvojamo ēku teritorijas eksponējas Lielvārdes ainavā ar pilsētas tēlam neatbilstošu arhitektūru un labiekārtojumu.
Fig. 5. Territories of multistoried dwelling houses with foreign architecture and poor greenery which disharmonize with the image of Lielvarde town.

6. att. Negatīva dominante Lielvārdes pilsētas centrālajā daļā – tehniskās teritorijas.
Fig. 6. Negative dominance in the central part of Lielvarde town – technical territories.

mazās upītes, Daugava un tās krasts, parki, alejas un atsevišķie koki. Kultūrvēsturiskais faktors noteica, ka Lielvārdei raksturīgie elementi ir arī pilsētas teritorijā esošie arheoloģijas, arhitektūras un dabas pieminekļi (Lielvārdes pilsētas ..., 2002). Kā mazpilsētai neraksturīgie elementi tika konstatētas daudzstāvu dzīvojamās ēkas (5. att.), ko noteica arī to arhitektoniski zemā kvalitāte. Ražošanas un tehnisko teritoriju izpētē kā vizuāli vienojošais elements tika konstatēts šīs teritorijas



7. att. Lielvārdes sadalījums funkcionālo zonu grupās:
1. – lauksaimniecības zemes; 2. – pilsētas apstādījumi – meži, parki, kapsētas, upju krasti, mazdārziņi; 3. – dzīvojamās apbūves teritorijas – daudzstāvu un mazstāvu apbūve, savrupmāju teritorijas; 4. – sabiedriskās un jaukta tipa darījumu apbūves teritorijas; 5. – ražošanas un tehniskās teritorijas; 6. – ūdeņi; 7. – pilsētas robeža; 8. – ielas; 9. dzelzceļš; 10. – kultūras pieminekļi; 11. – aizsargjoslas.
Fig. 7. Grouping functional zones of town Lielvarde:
1. – farmland; 2. – greenery – woods, parks, cemeteries, river-sides, garden land; 3. – residential areas; 4. – public spaces; 5. – industrial area; 6. – water features; 7. – town boundary; 8. – streets; 9. – railway; 10. – cultural monuments; 11. – protection belts.

ietverošais nožogojums (6. att.), tāpēc vietām tās nebija iespējams izvērtēt. Nožogotās teritorijas tika noteiktas kā neraksturīgs elements mazpilsētas kontekstā un uztvertas kā negatīvas dominantes, sevišķi pilsētas centra zonā. Līdz ar to, nosakot ainavas raksturīgos un neraksturīgos elementus, tika konstatēts, ka Lielvārdes estētiskās kvalitātes nodrošināšanai un uzlabošanai ir nepieciešams saglabāt esošās kultūrvēsturiskās vērtības un dabas elementu daudzveidību, akcentēt mazstāvu apbūves plānošanu, uzlabot daudzstāvu dzīvojamo kvartālu estētisko kvalitāti, kā arī veicināt ražošanas un tehnisko teritoriju pārvietošanu uz pilsētas perifēriju.

Vērtēšanas kritēriju grupā, kas vērtē **ainavas elementu īpašības**, tika konstatēts, ka tieši dabas elementi un to daudzums visaktīvāk ietekmē Lielvārdes ainavas estētisko kvalitāti. Tiem piemīt daudzveidīgs īpašību spektrs (krāsa, forma, faktūra, mērogs, proporcija un citas), kas atšķirībā no cilvēka veidotajām būvēm ir mainīgas laikā un telpā (piemēram, sezonālās izmaiņas). Kā problemātiskākie elementi tika noteiktas daudzstāvu dzīvojamās ēkas, kas mērogā un proporcijās krasi atšķīrās no pilsētas pārējiem dabas un cilvēka veidotajiem elementiem. Savukārt ražošanas un tehniskās teritorijas tika raksturotas negatīvi, vērtējot objektu mērogu, proporciju, kā arī krāsu, formu un faktūru. Līdz ar to, vērtējot ainavas elementu īpašības, tika noteikts, ka nepieciešams saglabāt dabas elementu daudzumu, kas nodrošina ainavas daudzveidību. Daudzstāvu dzīvojamās apbūves, kā arī atsevišķu ražošanas vai tehnisko objektu estētiskās kvalitātes uzlabošana iespējama, veicot ēku fasāžu arhitektonisko pārveidošanu. Savukārt plašās ražošanas un tehnisko objektu teritorijas pēc objektu un funkcijas pārvietošanas uz pilsētas perifēriju būtu iespējams transformēt apstādījumu vai jaukta darījuma zonās. Īslaicīgam risinājumam iespējama arī aizsargstādījumu izveide ap tām.

Vērtēšanas kritēriji, kas raksturo **ainavas elementu savstarpējo mijiedarbību**, tika izmantoti kartogrāfiskā materiāla analīzē, veicot Lielvārdes funkcionālā zonējuma izpēti (7. att.). Kartogrāfiskā materiāla analīzē tika konstatēts, ka nozīmīgu teritorijas daļu aizņem dzīvojamā apbūve (7. attēlā apzīmēta ar 3), kas galvenokārt skaidrojams ar

8. att. Daļēji aizsegts skats uz Lielvārdes baznīcu.
Fig. 8. Partly covered scenery of the heritage element – the Lielvarde church.

Lielvārdes kā guļamzonas funkciju, ko nosaka Rīgas un Ogres tuvums. Kartē labi nolasāms dzelzceļa un automaģistrāles Rīga–Daugavpils veidotais pilsētas struktūras dalījums trīs atsevišķās zonās, kas ietekmē gan pilsētas funkcionālo apriti, gan apgrūtina vienotas pilsētas ainaviskās telpas uztveri. Apstādījumu teritorijas (7. attēlā apzīmētas ar 2) izvietotas haotiski, tām trūkst vienojošas sistēmas, kas tās izvītu cauri pilsētai, tādējādi radot iespējas arī jaunu publisko telpu veidošanai. Kultūrvēsturiskie objekti (7. attēlā apzīmēti ar 10) un nozīmīgākie dabas elementi (Daugavas krasts un mazo upīšu ietekas) pārsvarā izvietojušies apstādījumu teritorijās. To ietekmē arī likumdošanā noteiktie ierobežojumi, kas nepieļauj aktīvu būvniecību šo objektu aizsargjoslās (7. attēlā apzīmētas ar 11). Arī jaukta darījuma un sabiedriskās apbūves teritorijas (7. attēlā apzīmētas ar 4) izvietotas dažādās pilsētas vietās, apgrūtinot pilsētas centra definēšanu un sabiedriskās dzīves organizēšanu. Pašreizējās lauksaimniecības zemes (7. attēlā apzīmētas ar 1) pilsētā paredzams ar laiku apgūt kā dzīvojamās apbūves teritorijas, ko veidotu mazstāvu ēkas. Līdz ar to šo teritoriju ietekme uz Lielvārdes ainavas estētisko kvalitāti vērtējama kā īslaicīga, un lielāka uzmanība pievēršama tieši šo teritoriju tālākai attīstības vīzijai, kas būtu jāveido kontekstā ar pilsētas ainavisko telpu.

Šie rezultāti ļauj secināt, ka apstādījumu teritorijas ir iespējams daudzpusīgi attīstīt, izmantojot tās kā sasaistes elementus (ielu apstādījumi, zaļās pārejas pār dzelzceļu un automaģistrāli, dzīvžogi, grāvju sistēma gar savrupmāju teritorijām un citi veidi) dažādu zonu funkcionālai un vizuāli telpiskai savienošanai. Izveidojot zili zaļo struktūru pilsētā, kas savienotu lielākās apstādījumu platības – parkus un skvērus –, pakārtojot jauno apstādījumu teritorijas mazo upīšu tecējumam, iespējams akcentēt pilsētas vērtības, kā arī radīt jaunas publiskās ārtelpas. Tas ne tikai uzlabotu Lielvārdes ainavas estētisko kvalitāti, pilsētas vides veselīgumu un ilgtspējas iespējas, bet arī veidotu skaidrāku ainavas struktūru pilsētas vienotas ainaviskās telpas kontekstā. Kultūrvēsturiskie objekti un īpašie dabas elementi aplūkojami kopā ar tos ietverošajām apstādījumu teritorijām un interpretējami kā to neatņemama sastāvdaļa. Sabiedrisko un jaukta darījuma apbūvi būtu jākoncentrē pilsētas centrā, ko paredz arī „Lielvārdes pilsētas ar lauku teritoriju attīstības plāns" (2002).

Lielvārdes pilsētas ainaviski telpiskās struktūras jeb skatu vērtējums tika veikts, analizējot fotofiksāžas. Kritēriju grupā **skata pieejamība un saskatāmība** tika konstatēts pozitīvu skatu trūkums, kā arī zema pieejamība vietām, no kurām paveras vērtīgi skati. To galvenokārt nosaka Lielvārdes pilsētas izstieptā struktūra, kuru veido automaģistrāle Rīga–Daugavpils kopā ar apbūvi. Tādējādi veidojas vienveidīga, lineāra ainava. Tās izstiepto struktūru iespējams slāpēt, veidojot gar automaģistrāli jaunas ainavu telpas kombinācijā ar dominantēm. Zema pieejamība un saskatāmība tika konstatēta kultūrvēsturisko objektu un īpašo dabas elementu izpētē. To ietekmē blīvā veģetācija, kas tos ietver (8. att.). Līdz ar to nepieciešams atvērt skatus uz šiem objektiem, kā arī kompozicionāli iekļaut tos kopējā pilsētas ainavā. Ierobežota skata pieejamība un saskatāmība tika noteikta arī Daugavas krasta ainavas izpētē. Krasta ainava pilsētas kontekstā nav nolasāma, ko ietekmē blīvā krasta apbūve un zemas kvalitātes teritoriju labiekārtojums. Tādējādi Daugavas krasta ainava būtu jāintegrē pilsētas kopējā ainavā, jo tai kā īpašam aizsargājamam objektam piemīt liels potenciāls ieņemt nozīmīgu vietu Lielvārdes ainavas estētiskās kvalitātes veidošanā.

Kritēriju grupā **skata izteiksmīgums un kompozicionālā uzbūve** izteiksmīgākie skati tika konstatēti vietās, no kurām iespējams vērot atvērtas telpas, ko veido mazo upīšu ielejas. Neizteiksmīgi skati tika konstatēti daudzstāvu dzīvojamās apbūves teritorijās, kuras dažādās pilsētas vietās eksponējās ar atsevišķu ēku puduriem. Tas nerada harmoniju ar kopējo pilsētas ainavu, kas savukārt veicina zemas kvalitātes skatu veidošanos. Problemātiska skatu kompozicionālā uzbūve tika konstatēta skatos no centrālās ielas, kas veidojās vienveidīgi, apgrūtinot pilsētas ainavas struktūras nolasīšanu. Līdz ar to netiek izcelts pilsētas centrs un dažādo funkcionālo zonu dažādība. Vadoties pēc šiem rezultātiem, tika noteikts, ka būtu jāveicina katra daudzstāvu apbūves kvartāla tēls un atpazīstamība, kā arī tie būtu jāintegrē kopējā pilsētas struktūrā, izmantojot apstādījumus kā sasaistes elementus. Tādējādi pilsētas ainavā būtu iespējams radīt savdabīgus akcentus un slāpēt nejauša plānojuma iespaidu. Savukārt sabiedriskās un jauktas darījumu apbūves koncentrēšana pilsētas centrā veicinātu kompozicionāli izteiksmīgu skatu veidošanos no galvenās ielas, vienlaicīgi arī akcentējot centra lomu pilsētas ainavas struktūrā. Tāpēc pozitīvi vērtējams jaunais „Lielvārdes pilsētas ar lauku teritoriju attīstības plāns” (2002), kas paredz veidot šīs teritorijas pilsētas centra daļā. Tomēr nākotnē pie tā attīstības scenāriju izstrādes būtu jāņem vērā iepriekš noteiktie Lielvārdes kā vienotas ainaviskās telpas attīstības nosacījumi.

Secinājumi

Arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieeja urbanizētas ainavas estētiskās kvalitātes izpētei uzskatāma par universālu un izmantojamu dažādās pilsētu ainavās, jo pamatkritēriju grupas veidotas, balstoties uz kompozīcijas teoriju, bet papildu kritērijus iespējams pielāgot konkrētās urbanizētās ainavas specifiskajiem aspektiem. Pēc pētījuma gaitas un iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka izstrādātie ainavas estētiskās kvalitātes vērtēšanas kritēriji veiksmīgi izmantojami urbanizētas ainavas izpētē, jo to lietošana ir vienkārša un iegūtie rezultāti – viegli interpretējami. Pētījumā izstrādātā estētiskās kvalitātes novērtēšanas metodika un kritēriji nodrošināja vienotu principu ievērošanu dažādo pilsētas funkcionālo zonu izpētē. Līdz ar to bija iespējams izvērtēt un savstarpēji salīdzināt katras zonas atšķirīgo un kopējo, konkrēto zonu attīstības potenciālu, iespējamos virzienus un nepieciešanos uzlabojumus estētiski kvalitatīvas vides izveidei, kā arī nosacījumus estētiski vienotas pilsētas ainavas attīstībai. Tomēr kā arhitektoniski telpiskās kompozīcijas pieejas iztrūkstošā daļa pētījumā tika konstatēta nepieciešamība šīs metodes ietvaros integrēt arī pilsētas iedzīvotāju subjektīvās uztveres noteiktos kritērijus. Lielvārdes ainavas izpētē izmantotie ainavas estētiskās kvalitātes kritēriji nespēja nodrošināt kompleksu izvērtējumu, kas apvienotu gan objektīvo pieeju, kas balstīta uz kompozīcijas teoriju, gan arī subjektīvo pieeju, ko veido iedzīvotāju redzējums par pilsētas turpmākās attīstības iespējām. Līdz ar to tā būtu jāiekļauj turpmākajos pētījumos, jo tikai abu pieeju pielietošana, t.i., profesionālās pieejas apvienošana ar ikdienas cilvēka vajadzībām un izpratni par vēlamo sev apkārt, ļauj iegūt praktiski izmantojamus rezultātus tālāko ainavas plānojumu izstrādei.

Literatūra

1. *Ainavu aizsardzība*. (2000) Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Rīga, 92 lpp.
2. Antrop, M., Van Eetvelde, V. (2000) Holistic aspects of suburban landscapes: visual image interpretation and landscape metrics. *Landscape and Urban Planning,* 50, 43–58.
3. Briņķis, J., Buka, O. (2001) *Teritoriālā plānošana un pilsētbūvniecība.* Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 219 lpp.
4. Hägerhäll, C.M. (1999) Associations triggered by specific landscape characteristics. *Character: Perspectives on Management and Change.* Post conference book. Ed. M.B. Usher. The Stationary Office Limited, Norwich, 83–87.
5. Irbīte, A., Bāliņa, A. (2005) *Interjers*. Jumava, Rīga, 144 lpp.
6. Kundziņš, M. (2004) *Dabas formu estētika.* SIA Madris, Rīga, 168 lpp.

7. LaGro, Jr. J.A. (2008) *Site analysis: a contextual approach to sustainable land planning and site design*. John Wiley & Sons, New Jersey, 372 pp.
8. *Latvijas pilsētas.* (1999) Enciklopēdija. Apgāds „Preses Nams", Rīga, 590 lpp.
9. *Lielvārdes pilsētas ar lauku teritoriju attīstības plāns*. 2. daļa. Teritorijas plānojums. 1. sējums. Ģenerālais plāns. (2002) Lielvārdes pilsētas ar lauku teritoriju Dome, Lielvārde, 66 lpp.
10. Melluma, A., Danilāns, I. (1975) *Ainavu veidošana un aizsardzība*. Zinātne, Rīga, 118 lpp.
11. Melluma, A., Leinerte, M. (1992) *Ainava un cilvēks.* Avots, Rīga, 175 lpp.
12. Nikodemus, O. (2001) *Ainavu plānošana, apsaimniekošana un aizsardzība lauku pašvaldībās.* Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Rīga, 28 lpp.
13. Nikodemus, O., Rasa, I. (2005) Gaujas Nacionālā parka ainavu estētiskais vērtējums: http://www.gnp.gov.lv/upload/File/PDF/gauja_ainava_ar_kartem.pdf – Resurss aprakstīts 2010. gada 3. jūlijā.
14. Ode, Å. (2003) *Visual Aspects in Urban Woodland Management and Planning.* Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, 41 pp.
15. Palmer, F.J., Hoffman, R.E. (2001) Rating reliability and representation validity in scenic landscape assessments. *Landscape and Urban Planning*, 54, 149–161.
16. Siliņš, E.I. (1999) *Lielo patiesību meklējumi*. Jumava, Rīga, 512 lpp.
17. *Svešvārdu vārdnīca*. (1999) Baldunčiks, J. (red.) Jumava, Rīga, 912 lpp.
18. Steiner, F., Butler, K. (2007) *Planning and urban design standarts*. John Wiley & Sons, New Jersey, 436 pp.
19. Šusts, V. (2005) *Telpas uztvere un kompozīcija.* Zvaigzne ABC, Rīga, 127 lpp.
20. Ziemeļniece, A. (1998) *Estētiskā kvalitāte ainaviskajā telpā.* Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, 98 lpp.
21. Zigmunde, D. (2007) Evaluation criteria of protected landscape aesthetic quality. *Research for rural development 2007. International scientific conference proceedings, 16-18 May 2007, Jelgava, Latvia University of Agriculture*. LLU, Jelgava, 196–203.
22. Zigmunde, D. (2006) Assessing public perception of urban landscape with use of photographic method. *Research for rural development 2006. International scientific conference proceedings, 17-20 May 2006, Jelgava, Latvia University of Agriculture*. LLU, Jelgava, 123–128.
23. Яргина, З.Н. (1991) *Эстетика города*. Стройиздат, Москва, 367 с.

The Concept of Phosphorus Index for Identification of Phosphorus Loss Risk
I. The Literature Review
Fosfora indekss fosfora noplūdes riska noteikšanai
I. Literatūras apskats

Laima Bērziņa, Ritvars Sudārs
Department of Environmental Engineering and Water Management, LLU
LLU Vides un ūdenssaimniecības katedra
e-mail: Laima.Berzina@llu.lv; Ritvars.Sudars@llu.lv

Abstract. Phosphorus is the plant nutrient most often linked with impairment of surface water. The phosphorus index (PI) approach is developed and widely applied in the USA as well as it has been adopted in several European countries, especially in Scandinavia with main aim to estimate the risk of phosphorus loss from agricultural areas to surface waters. There is no "standard" PI, as a result scientists try to develop new versions of PI to account for specific regional conditions. Consequently, a great variety of different versions and modifications of phosphorus indices are presented. The aim of the paper is to provide an overview of the development of the risk identification tool (phosphorus index) to measure the risk of phosphorus losses from agriculture fields already at a farm level. The design of phosphorus index is based on the original PI and later versions of the model for prediction of the phosphorus load from agriculture field to nearest water body, taking into account findings in phosphorus research and local environmental experts' judgments.
Key words: phosphorus index, risk identification tool, phosphorus losses, surface water quality.

Introduction

The significance of phosphorus (P) pollution from agricultural sources to surface waters has been emphasized in a prominent number of scientific articles tended to advance research of P, because of the great ecological and agronomic significance of P, influencing both crop productivity and eutrophication (Sharpley, 1995). Phosphorus poses environmental problems due to its high contribution to eutrophication of fresh water bodies – undesirable growth of algae leading to low dissolved oxygen and degrading the water quality (Zaimes, Schultz, 2002). Phosphorus loss mostly is defined as a complex function that includes climate, soil type, land management, and other temporal and spatial factors that make influence on P transformations via P loss pathways to surface water bodies. Consequently, the primary objective of the article is to demonstrate the concept of P assessment tool that could be easily modified according to actual findings about relative importance of factors that accelerate potential of phosphorus loss. The aim of the work is not to suggest a new model, but to find the best way of integrating the existing P indexes.

Importance of Phosphorus in Environment and Agriculture

Phosphorous is naturally available in the ecosystem due to weathering of parent material and deposition in the soil by plants and animals. The phosphorus loss from agricultural areas to surface waters arises from the contribution of dissolved P (DP) and particulate P (PP) via different pathways as soil erosion and surface runoff, bank erosion, leaching, and tile drainage water (Kronvang, Bechmann et al., 2005). According to Haygarth and Sharpley (2000), dissolved and particulate phosphorus are differentiated by whether or not they pass through a 0.45 μm membrane filter. P fraction that passes through the membrane filter is defined as dissolved or soluble P, but P fraction that does not pass is called the particulate, sediment-bound, or suspended P. DP primarily consists of orthophosphate and it is immediately available for algae while PP is a long-term source of potentially bioavailable P. Particulate phosphorus may be associated with soil particles and minerals containing aluminium, iron, or calcium, or with organic matter. Loss of particulate phosphorus primarily is linked

Table 1

Phosphorus transport mechanisms

(Zaimes, Schultz, 2002)

Transport mechanisms	Description	Examples
Dissolution	Transport of P from the soil particle or adsorption site to the soil solution determined by chemistry refer to the movement of dissolved P (micro-scale process)	Leaching as the elluviation of solutes through soil
Physical	Primarily mechanism refers to the movement of particulate P (macro-scale process)	Soil erosion, displacement and entrainment of colloids
Incidental	Transport of P controlled by unique conditions as short-term transport of P fertilizer or manure after effective rainfall	Runoff

Table 2

Phosphorus transport pathways

(Zaimes, Schultz, 2002)

Type of flow	Details of flow	P transport details	Typical soils
Matrix flow	The downward (vertical) movement of water through the macro- and micro-pores of the soil	Little movement of P because the surface soil accumulates most of it (immobile and easily adsorbed)	Sandy, acid, organic soil with low P fixation (Djodjic, 2005)
Preferential flow	The downward movement of water in larger subsoil pathways (fissures, cracks, burrows, wormholes)	Greater transport of P because water moves faster with less chance of adsorption	Structured heavy soils, clay-rich soils (Heckrath, Bechmann et al., 2008)
Overland flow	Down-slope movement of water over the soil surface during heavy rainfall events	Traditionally considered as the major transport pathway for P in agricultural landscapes	Determined by soil physical properties, vegetation cover, and slope steepness
Interflow	Lateral movement of water in the soil	Provides the major proportion of flow in many streams, typically has low P concentrations	Sandy, poorly drained soils with high soil P levels; soil with a sandy A horizon and a heavy clay B horizon
Land drainage	Even if tile water has low P concentrations, it could be a major pathway, because of the large areas that have been tiled and contribute significant amounts of water to stream flow		

by soil erosion. Whereas dissolved phosphorus may result from leaching of fertilizer, crop residues, or human or animal wastes.

Phosphorus transport to surface waters is initiated by three main transport mechanisms (incidental, physical, dissolution) with hydrology as the main driving force (Table 1). The most important pathways moving P from agricultural landscapes are matrix flow, preferential flow, overland flow, interflow, and land drainage (Table 2, Fig. 1). These phosphorus pathways may interrelate. The concentration of P in overland and subsurface flow is related to the concentration and release rate of P in soil (McDowell, Sharpley, 2003). Matrix flow can be controlled by drainage in order to reduce discharge from arable fields during wet season, but preferential flow – by deep cultivation to destroy macropores and utilize subsoil sorption capacity. Overland flow can be diminished by (a) improving infiltration (proper tilling activities (tillage across slope, spring till instead autumn or no till (conservation tilling)); (b) reducing detachment (improved soil structure by liming, increasing content of organic matter, crop cover); (c) purifying overland flow (riparian buffers) (Bergström, Djodjic et al., 2007).

Calculations should account for P losses through flow types and take into consideration different

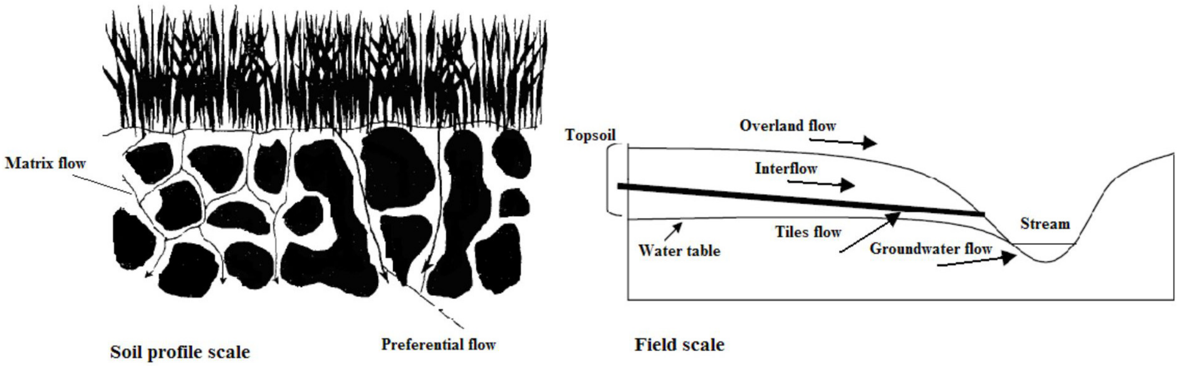


Fig. 1. Pathways for phosphorus transport (Zaimes, Schultz, 2002).

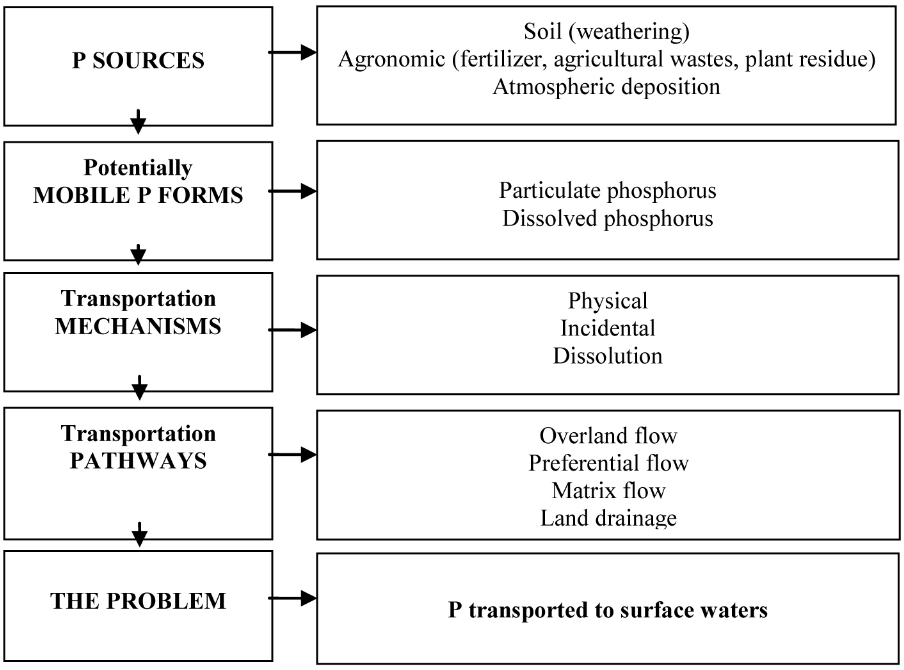


Fig. 2. Statement for PI development.

factors for each transport mechanism. According to Pautler and Sims (2000), soils have a defined capacity to adsorb P, and when a critical P sorption saturation level is reached, there is a probability of P loss to the surface water. For example, high soil P content in the topsoil may result in a high P loss risk value. However, this high potential for P losses is fulfilled only when the buffering capacity (the ability of soil to resist changes in pH) of the subsoil is either low or bypassed through surface runoff or preferential flow. Hence, the importance of some factors may be reduced or emphasized by other factors. Also, the significance of the buffering capacity of the subsoil is high if slow matrix flow is the dominant transport pathway, but it is negligible if interaction between percolating water is reduced because of rapid transport through macropores (Djodjic, Bergstrom, 2005). Consequently, all these considerations should be accounted to analyze problems linked to P loss and PI design (Fig. 2).

Phosphorus Index Approach to Estimate Relative Potential for Off-site Movement of Phosphorus

Modelling tools to predicting P losses from soil to water differ widely from complex approaches to simple indicators. However, in the case of the water management problem it is essential to work with methods that can provide results by taking into account data availability as a limiting factor

(Bechmann, Stalnacke, Kværnø, 2007; Lemunyon, Gilbert, 1993). The use of appropriate models can help to fill gaps in empirical data and predict P pollution pressures, as well to evaluate management alternatives in order to diminish the possible risk (Haygarth, Condron et al., 2005). Scientific literature offers different approaches to estimate the risk of nutrient losses from soil to water (Kovács, 2004; Vadas, Owens, Sharpley, 2008; Huttunen, Huttunen et al., 2007). Due to the previous statement, it is important to place emphasis on the strategy of the index tools. Index approach has been demonstrated according to the advantage of simple and immediate application that can give acceptable results with easy available input data (Leone, Ripa et al., 2008). The phosphorus index (PI) concept was at first developed in the United States of America (USA) and has been defined as a risk-assessment tool that combines phosphorus source factors, transport and management factors to rank the fields according to their risk of P losses or the vulnerability of fields to P losses in runoff (Lemunyon, Gilbert, 1993). The index outcome is the value for an individual field placed into a category (very low to very high risk of P loss) with associated interpretations and recommendations for nutrient management.

Original version of the PI developed by Lemunyon and Gilbert (1993) consists of matrix of 8 site characteristic parameters assigned to respective weighting values that present parameter effect on P loss (soil erosion (1.5); irrigation erosion (1.5); runoff loss (0.5); soil P test (1.0); fertilizer application rate (0.75); P fertilizer application method (0.5); organic P source application rate (1.0); organic P source application method (1.0)) and site characteristic parameters rating values for P loss risk identification. Rating values for each parameter of site characteristics show an association of P loss: very low (1), low (2), medium (4), high (6), and very high (8). The original PI is a sum of the product of the rating value and corresponding weighting value for each site characteristic (Birr, Mulla, 2001). Since, the PI has been widely modified. The most complicated task of PI modifying is to adjust weighting factors and coefficients of PI bringing them as close as possible to specific region conditions. In addition, some countries have involved very specific parameters in PI. For example, snowmelt is included in Norway PI to evaluate how it affects potential of P loss (Bechmann, 2005). The main advantages of earlier approaches to phosphorus indexing are simplicity and no need for assumptions about relationships between P source factor and P transport factor that advance movement of P. Later it was accepted that PI should focus on the so called critical source areas of P loss where source and transport conditions come together to favouring environmental problems. Sharpley (1995) declared that high P source with little opportunity for transport to surface water, like no P source and high transport potential may not constitute an environmental threat. Mallarino, Stewart et al. (2002) clarified this by an example showing that dissolved P in runoff or subsurface flow immediately after solid manure application may be lower than for liquid manure sources because of solid manure lower proportion of water soluble P, at the same time losses of soluble P in runoff may be lower for liquid manure than for solid manure because of greater infiltration and soil interaction when liquid manure is applied. Consequently, authors of later versions of PI modified the original approach for separate assess of source and transport factors before combining the integrated source and transport factors multiplicatively (Heckrath, Bechmann et al., 2008).

Most USA states and many European countries have adopted index approach and developed modified versions of PI to take into account local conditions by evolved PI from an additive to a multiplicative approach. In early PI versions (also original in PI), factors were additive. As explained before, this means that all factors were considered equivalent (with adjustments for variable weighting). A weighting coefficient was assigned to each factor to reflect its relative importance in contributing to P loss. The PI was calculated by multiplying each potential P loss rating by its corresponding weighting factor and summing the results. A modification introduced in recent indices mostly uses a multiplicative approach. The various PI factors are arranged into two distinct groups: phosphorus transport factors (for example, soil erosion, runoff class, and distance to a stream), and P source factors (P content in the soil, application of P chemical and organic fertilizer). The phosphorus source potential value is then multiplied by the P transport potential value. A detailed overview about PI development in USA and Europe is provided by Buczko and Kuchenbuch (2007). Despite the idea that PI is not a P loss quantification tool, but a P loss risk-assessment tool, designing of PI maximally appropriate for the specific conditions is the most complicated task of PI development and modification.

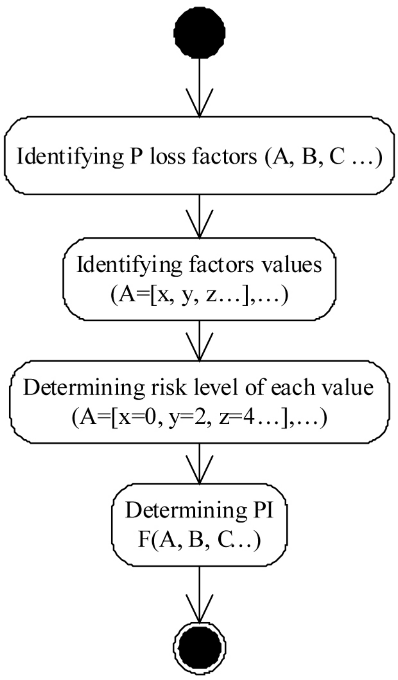


Fig. 3. Process of PI design.

Methodology of PI Development

Methodology of PI design for local conditions developed in the research consists of several steps. Step 1 includes identification of PI factors represented as index parameters that describe P loss. Parameters for PI design are adopted from P indexes already used in USA and Europe and are carefully selected for the best characterization of their influence on P availability, movement and management by taking into account data limitation for Latvia conditions. Following PI parameters were selected:

1) P source factors: soil P factor for representing the risk arising from processes of P loss resulting from high soil P content; P application factor for representing the risk of P loss arising due to an excessive and inappropriate application of phosphorus;
2) P transport factors: erosion, runoff, leaching, draining system, filter wells, and buffers.

Step 2 includes determination of PI parameters values. A rule is set that all values for each parameter must be qualitative to keep the original PI approach. Step 3 is devoted to ranking of parameter values and assigning them to P loss risk levels with a numerical value: very low (1), low (2), medium (4), high (6), and very high (8). It is one of the most important steps and requires use of expert systems. Expert system approaches usually are used to identify appropriate ratings and weightings for factors or indicators via the expert judgment if the data is limited or when the available data is incomplete as like as research data for specific conditions (Burgman, 2004; Linstone, Turoff, Helmer, 2002). Consequently, an expert system that relies on a panel of independent experts is applied to seek collective judgments about the rating of risk description for each parameter that explains a particular factor of P loss included in PI as possibly close to local conditions. For the agreed list of parameters and parameters values, experts' judgments are used to rate importance of each parameter with respect to the risk of nutrient loss from field to the wider environment. Experts' opinion is determined using rating scores from 1 (least important) to 8 (most important). For example, for the P leaching parameter experts suggested to use soil texture as risk estimator and made decision about soil textures that are most vulnerable to P leaching to soil textures that can not be considered with P leaching. Finally, all parameters values have two to five risk levels with assigned numerical values. The structure of PI is defined in step 4 (Fig. 3).

Finally, P management factors should be analyzed and evaluated with respect to notable role of the management to diminish the influence of P loss factors. These factors are defined as correction parameters and assigned to weights 0.2–1 and up. For solving the problem of PI outcome boundaries for all risk categories, multi-objective optimization methods and algorithms and multi-criteria decision making have been used (Berzina, Zujevs, 2008).

Parameters and Their Ratings Included in PI

Soil P component (SP) is the P source factor and includes soil testing results for P content in soil. Soil P status describes the natural background of the potential amount of P to be released. Pennsylvania PI and several PI's that are based on it use the soil test P number and multiply it by a fixed number. This number is decided by professionals on the field, as like as other weighting numbers. It should be noted that weighting factors are corrected in order to bring PI nearer to specific site conditions; however, like the original authors (Lemunyon, Gilbert, 1993) of the PI, other authors do not explain in their reports how these numbers are obtained. Consequently, soil P component is not presented as soil P testing result (suggested by Norwegian and Danish P indexes) (Heckrath, Bechmann et al., 2008). This component is developed based on research about P concentrations in Latvia soils (Timbare, Reinfelde, 2002). Soil P component categories as soil P content for PI calculation are set as follows: (a) less than 13 mg kg^{-1} (1 – very low risk); (b) 13–26 mg kg^{-1} (2 – low risk); (c) 27–52 mg kg^{-1} (4 – medium risk); (d) 53–109 mg kg^{-1} (6 – high risk); (e) over 109 mg kg^{-1} (8 – very high risk).

Application of P fertilizers (AP) component describes phosphorus application rate considering the total amount of P in manure and/or commercial fertilizer applied to a field for crop requirements. The application rate was based on generalized plant uptake requirements for commonly grown crops in the area. The higher are plant requirements, the higher is the risk of P loss because P fertilizer application arises. Phosphorus application parameter rates are placed in the following categories: no additional P (1 – very low risk), pastures (2 – low risk), winter and spring cereals, alfalfa, (4 – medium risk), rape, potatoes, beets (6 – high risk), and vegetables – cabbage, cucumbers, beans (8 – very high risk).

Erosion component (E) describes the loss of P as a product of the erosion rate and the P concentration of the eroded matter (Ekholm, Turtola et al., 2005). The output of the erosion component is an approximate estimate of the total amount of P delivered with sediment, excluding dissolved P in runoff. Several studies highlight the importance of soil erosion and physical transfer of P with soil particles from land to water. Even some episodes of water erosion occur during snowmelt and when frozen soil thaws may increase P losses (Djodjic, Bergstrom, 2005). Erosion is documented as the most important factor determining P transport in Norway and Sweden. However, soil erosion is not considered as major P loss pathway in Denmark due to topography and rainfall intensity (Heckrath, Bechmann et al., 2008). The transfer of particulate P in overland flow and erodibility is significantly affected by soil management (Bechmann, 2005). Usually soil erosion potential for PI is calculated using the Universal Soil Loss Equation (USLE), but there are some limitations while using the USLE to calculate soil loss in Latvia, because the USLE is calibrated for use in the USA. The represented PI model uses research about erosion processes in Latvia (Boruks, 2004). For parameter "erosion" , rating categories of P loss risk are determined using the following: (a) field slope – 0–5% (1 – very low risk); (b) field slope – 6–9% (2 – low risk); (c) field slope – 10–14% (4 – medium risk); (d) field slope – 15–20% (6 – high risk); (e) field slope >20% (8 – very high risk).

The surface runoff (R) component estimates the amount of both particulate and dissolved P (Hart, Quin, Nguyen, 2004). Runoff is highlighted as the major P transport pathway for most agricultural soils. Soil and plant material are significant sources of P to runoff, but their effect can be overwhelmed by P release from recently applied, inorganic fertilizers that are left unincorporated (Hart, Quin, Nguyen, 2004). Results from the research clearly show the influence of P sources and rainfall intensities on P concentration in surface runoff (Shigaki, Sharpley, Prochnow, 2007; Quinton, Catt, Hess, 2001). Vadas, Owens, and Sharpley (2008) present data that the amount of P fertilizer adsorbed by soil reaches a maximum at about 75% of that applied and remaining 25% of P fertilizer stay available to be leached by rain and transported in runoff. They also observed that adsorption of fertilizer P by soil decreased as the soil moisture or degree of contact between fertilizer and soil decreased (Vadas, Owens, Sharpley, 2008). Other studies (Kleinman, Sharpley et al., 2002; Kleinman, Srinivasan et al., 2006) show that dissolved P concentrations in runoff in the first storm after fertilizer application can be greater than P concentrations in runoff from unfertilized soils. Shigaki, Sharpley, and Prochnow (2007) reported an example that the effective depth of interaction between surface soil and runoff P increase with an increase of rainfall intensity and field slope. However, there is also evidence that high levels of P pollution can arise from grassland fields in pastoral

Table 3

Runoff evaluation classes

Slope, %	Soil texture classes		
	sand	loamy sand, sandy loam	clay
<0.5	1 (very low risk)	2 (low risk)	4 (medium risk)
0.6–3.0	2 (low risk)	4 (medium risk)	6 (high risk)
>3.0	4 (medium risk)	6 (high risk)	8 (very high risk)

farming areas. This appears to arise both during slurry spreading and during grazing. The occurrence of high levels of loss under wet conditions indicates environmental benefits from avoiding slurry spreading on wet soil or during rain (McGechan, Lewis, Hooda, 2005). Fresh application of P may be a significant reason for incidental loss of dissolved and particulate P forms in land runoff when rainfall interacts directly with fertilizers and manures which are spread, or excreted, onto the soil surface. Studies in Norway show that incidental P loss may give a dominant (50–98%) contribution to P loads in runoff (Bechmann, Krogstad, Sharpley, 2005). The review of Heckrath, Bechmann et al. (2008) also pays attention to soil type in the process of surface runoff evaluation. Runoff must be a particularly important PI parameter also for Latvia conditions (Dzalbe, Jansons et al., 2005). The presented PI model arranges risk classes for parameter "runoff" based on data about field slope and soil texture (Table 3). The background for this assumption is provided by Radcliffe and Nelson (2005) and Shkinkis (Шкинкис, 1981).

Leaching (L) as well as sub-surface drainage may be important pathways of P loss under certain conditions, particularly if the soil has a very high content of P. Sandy soils are tended to be particularly vulnerable since they have a very low adsorption capacity for phosphorus (Mainstone, Parr, 2002). High leaching losses have been documented from heavily fertilized sandy soils, particularly in combination with large phosphorus doses in the form of manure or artificial fertiliser (Djodjic, Bergstrom, 2005). Other soils are supposed to be less vulnerable, but still may be at risk due to macropore and fissure flow within the soil structure. Concentrations of P in leachate vary notably between soil textures. Fortune, Lu et al. (2005) have pointed out the change point concentration above which a significant quantity of P is available for leaching losses. Change point is the P concentrations in soils at which the rate of P leaching from soil suddenly increases. The frequent application of animal manures has been shown to promote the downward movement of P. The results suggest that despite the establishment of fast growing grass, P concentrations would not be mitigated in the short-term, due to the large contribution of P in subsurface pathways (McDowell, Sharpley, Folmar, 2001). Another option to reduce the risk of phosphorus leaching is to grow crops such as lucernes, which due to their deep root system have the capacity to take up large amounts of phosphorus from the soil. At harvest, the phosphorus is then removed from the field (Bergström, Djodjic et al., 2007). However, opinion about leaching varies, for example, loamy soils are attributed a higher weight in the Danish PI than sandy soils due to the risk of macropore flow. Danish studies also have shown large P losses from tile-drained organic soils. The phosphorus binding capacity of soils is almost exclusively associated to the mineral fraction. Thus, the P binding capacity of organic soils is normally very low. Consequently, organic soils are assigned the highest risk of P leaching in the Danish PI (Andersen, Heckrath et al., 2007). Organic soils often are represented as the ones with higher risk of P releases (Loeb, Lamers, Roelofs, 2008). This effect has also been shown in the Norwegian monitoring programme where P losses were highest from organic soils compared to other soil types (Heckrath, Bechmann et al., 2008*)*. According to previous studies, P loss risk classes for parameter "leaching" are defined and rated as: (a) clay (1 – very low risk); (b) loam (2 – low risk); (c) sandy loam (4 – medium risk); (d) sand (6 – high risk); (e) peat (8 – very high risk).

Subsurface drainage component (D) estimates the amount of total dissolved P delivered to surface water resources through flow to tile lines (Mallarino, Stewart et al., 2002). The presence of tile drains leave impact on the natural flow of nutrients through the soil profile, as they are designed to move water quickly from the soil subsurface to recipient streams, and often they bypass any buffer zones which would otherwise prevent a nutrient loss to the waterway. The subsurface drainage component that describes the possibility that P may be delivered to surface water through drainage is necessary because of the vast area of land in Latvia that has been tiled. It has been believed that P is mainly lost from the field by surface runoff and soil erosion. However, recent studies have shown that a considerable portion of total P added to the field is lost through sub-surface runoff. As a result, it is considered that P transport through subsurface runoff is negligible. However, for the highly fertilized soils, any added P can exceed the P sorption capacity of the soil, causing P concentrations to increase in the soil solution (Sharpley, 1995; Nohra, Chandra et al., 2007).

Now it has been shown that a considerable percentage of P loads come from subsurface discharge of tile-drained fields (Nohra, Chandra et al., 2007). However, dissolved P tends to be higher in surface runoff than in drainage flow (Turtola, Jaakkola, 1995; Ekholm, Turtola et al., 2005). Tile drains and the presence of inlets for collection of surface runoff increase the field connectivity and thereby the risk for P losses. Recent research has shown that a considerable load of P in fresh water bodies is attributed to subsurface runoff from artificially drained fields (Kronvang, Bechmann et al., 2005; McGechan, Lewis, Hooda, 2005). There are also remarks that phosphorus moves readily through soil to field drains when macropores are water-filled, but in dry soil the P carrying colloids become trapped, so losses remain at a low level (McGechan, Lewis, Hooda, 2005). Loss of P from tile-drained soils includes both particulate and dissolved P fractions transported from the soil surface through soil or macropores to the tile drainage system. Consequently, sub-surface drainage and leaching may be important pathways under certain conditions, particularly if the soil has high content of P (Mainstone, Parr, 2002). Phosphorus losses in drainage dominate also on the tile-drained clay soils in the region around big lakes in south and central Sweden (Djodjic, Bergstrom, 2005). Loamy soils have been attributed a higher weight, i.e. a higher risk of P losses, in the Danish PI than sandy soils due to the risk of macropore flow and rapid transport of both particulate and dissolved P to drains. Some organic soils have a low P-binding capacity, therefore, typically tile-drained, organic soils tend to be particularly vulnerable to P losses (Heckrath, Bechmann et al., 2008). Djodjic and Bergstrom (2005) show that the main P transport mechanisms are surface runoff and subsurface drainage. Also in Denmark tile drains and leaching are considered major P loss pathways (Andersen, Kronvang, 2006). For tile drained areas there is a direct link of subsurface drainage from field to stream, consequently the risk class is higher for a field with drainage. The presence of tile drains should be an important factor in the transport and loss of P to the water body. When precipitation occurs in an area, which has drainage, the fine loose particles are the first to be flushed from the site during the initial rainfall activity (Sharpley, McDowell, Kleinman, 2001). Tile drainage and soil erosion is linked to increased volume of both dissolved phosphorus (DP) and particulate phosphorus (PP) entering in waterways. For the presented model, parameter "drainage" is placed in the following rating categories of P loss risk: (a) no drainage (1 – very low risk); (b) single tile drains (2 – low risk); (c) systematic tile drainage (4 – medium risk).

The presented index model considers identification of the presence or absence of surface runoff collectors on a field and uses it as **filter wells parameter (W)**. Filter wells as cylindrical artificial channels in the subsoil do function of temporary method of drainage and speed up surface runoff to drainage system or direct drain to surface water bodies. Filter wells decrease overland flow and P transport. As the spacing and the travel distance of the water increases, water reaching the filter wells has greater amounts of P. This parameter is ranked in fallowing categories: (a) no filter wells on field (1 – very low risk); (b) filter wells on field (2 – low risk). The **vegetative buffer factor (B)** accounts for the removal of finer particles that are transported in the eroded sediment (Zaimes, Schultz, 2002). A buffer zone is a varying width strip of uncultivated land, which runs alongside the water body. Its purpose is to act as a trap for sediments being transported down-slope towards the water body, as well as utilizing an area where soluble P can be adsorbed and/or utilized by the plant cover before it is lost to the stream (Zaimes, Schultz, 2002). Buffers at the stream can reduce the P load to streams, by stabilizing stream banks; however; the effects of established buffer strips along the streams on transport of the eroded material containing P from the edge of the fields to the watercourse are known to be extremely hard to estimate. Another positive effect of buffer strips is that ploughing and fertilizing close to the stream bank is avoided (Ulen, Kalisky, 2005). However, there are additions, for instance, that introduction of a buffer zone reduces losses of unreactive P, whereas it has a small impact on reactive P losses (Djodjic, Bergstrom, 2005). Unreactive P is generally considered to represent organic forms of P, although some condensed forms of P, such as polyphosphates. Soil tillage changes (no tillage in autumn) have been shown to be able to greatly reduce soil and P losses from high to medium risk arable fields, but the probability for sediment to escape through buffer zones receiving runoff water and soil material seems to be very dependent on the buffer zone width. However, experiments with 5 and 10 m wide vegetated buffer zones in Norway showed high removal efficiencies for both soil material and total P (>70%) (Kronvang, Bechmann et al., 2005). In numerous experiments it has been demonstrated that even small buffer strips between a field and receiving waters can effectively retain large amounts of total P being mobilized from the field by erosion or surface runoff. Danish field-based research (Kronvang, Bechmann et al., 2005) has shown that the risk of sediments passing through a buffer strip is a function partly of the width of the buffer strip and partly of the magnitude of the uphill erosion. It is documented under Norwegian conditions that vegetated buffer zones reduce surface runoff losses of P by 42–96% using buffer zones of 5–10 m width (Bechmann, Krogstad, Sharpley, 2005). The suggested PI model uses recommendations of Latvia Good Agriculture practice and sets the following risk classes for the parameter "buffers": (a) at least a 4 m wide buffer zone from the field edge (for draining-ditch) with perennial grassland (0 – very low risk); (b) at least an 1.5 m unploughed and grassed zone between the field and the draining ditch (2 – low risk); (c) no protective zone (4 – medium risk).

Moreover, there are a number of factors that could also be included in PI calculations to rise up or to bring down the value of PI. All factors that could diminish or, quite opposite, accelerate P loss or, in other words, factors that are consequent on Good Agriculture practice are called correction parameters. One of them – **contributing distance (C)** – is adapted in a number of index examples. The contributing distances refer to the distance of the field from the stream. As the distance increases, the risk of P pollution decreases. Gburek and Sharpley (1998) have showed that not all fields within a catchment have the same risk of actually causing pollution in the stream via distance from edge-of-field to stream. According to this it is suggested that areas greater than 50 m from the open stream are less important for nutrient transfer than near-stream zones. Similarly, several P indices call for screening tool that includes estimation of field distance to nearest water body. If the distance is grater than 45–50 m, PI calculation is stopped (The Pennsylvania …, 2006). Generally, the nearest water body is the water source where phosphorus enrichment could be a problem. For purposes of the PI, any permanent stream, lake or wetland, drainage ditch or other water course that is wet most of the year and eventually empties to a stream or a lake should be considered the nearest surface water (Minnesota Phosphorus …, 2006). Consequently, the study suggests using correction for P transport erosion and runoff parameters according to field distance to the nearest water body, multiplying the sum of these factors with the corresponding weights: (a) distance greater than 150 m – 0.2; (b) distance from 50 to 150 m – 0.6; (c) distance less than 50 m – 1.

Also results from the P research experiments strongly indicate that tillage practice, **fertilizer application type (FT)**, and soil management strongly affect erosion and losses of P via surface runoff (Ulen, Kalisky, 2005). It is a well known fact that incorporation of P lowers the risk of being lost compared to surface application. Regulation No. 531 of the Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia, adopted on 18 December 2001, "Regulations regarding Protection of Water and Soil from Pollution with Nitrates Caused by Agricultural Sources" (MK noteikumi Nr. 531 ..., 2001) require incorporation of manure on arable soil within 24 hours (solid manure) or 18 hours (slurry) after application. Suggested time for application of organic fertilizers is from March 1 till November 15, but for chemical P fertilizers – until October 15. The application of P on frozen or snow-covered soil introduces a high risk of P loss through surface runoff, consequently Latvian national regulations prohibit P application on snow-covered or frozen ground, thus tending to assumption that P application on frozen soil has the highest risk value. Snow, snowmelt, soil freezing and thawing phenomena also are very important for the amount of P transferred in Norway. As research in Norway shows, P losses during snowmelt contribute on average 30% of the total annual P load in small agricultural catchments in south-eastern Norway (Heckrath, Bechmann et al., 2008). Based on local legislation stipulations (MK noteikumi Nr. 531 ..., 2001) there is proposed correction for parameter "P application factor" by using weights for fertilizer application type as follows: (a) incorporation of fertilizers into soil at least 5 cm deep directly after application – 0.2; (b) incorporation of manure into soil during 24 hours after application, and for slurry within 12 hours – 0.4; (c) incorporation of manure into soil later than in 24 hours during March 1 till November 15, and mineral fertilizers for grasslands till October 15 – 0.6; (d) incorporation of manure into soil later than in 24 hours during November 15 till March 1, and mineral fertilizers for grasslands later

Table 4

Site vulnerability rating (phosphorus hazard classes)

P risk class	Rating	Interpretation
Very low	0–70	If soil conservation and P management practices remain at current levels, impacts on surface water from P losses from the field will be considered to be small
Low	71–120	P delivery to surface water bodies is greater than from a field with a very low rating, current soil conservation and P management practices likely do not worsen the water quality
Medium	121–170	Impacts on surface water are considered to be higher than for a field with a low rating, P delivery potential does not significantly produce water quality impairment. However, consideration should be given to P management practices that could reduce the risk of P delivery
High	171–300	Impacts of surface water resources are considered to be high. Remedial action (soil and water conservation and/or P management practices) is required to reduce P movement to surface water bodies
Very high	>300	Impacts on surface water resources are extreme. Remedial action is required to reduce P movement such as all necessary soil and water conservation practices and P management plan

than October 15 – 0.8; (e) spreading of fertilizers on wet, frozen, snow covered soil or in territories under risk of flooding – 1.

Very important factors are not only timing and method of P application but also amount of P fertilizers applied and availability of P in different types of manure. For future development of PI it is advisable to use several additional correction parameters for P application factor as **fertilizing rate (FR):** (a) do not cover crop requirements for nutrients – 0.8; (b) cover cultivated plant requirements for a nutrient – 1; (c) exceed cultivated crop requirements for a nutrient – 1.2; as well as type of **organic fertilizer (OF)**: (a) no manure or compost – 0.2, (b) compost – 0.6; (c) cattle manure or slurry – 0.8; (d) pig slurry, manure or poultry manure – 1. However, it is necessary to carry out more observations and investigations about field distance to water body. The general conservation recommendations are based on the national legislation. Additional characteristics that have been considered are not used for tested fields because their contributions are not fully understood and they are considered difficult to obtain.

PI Calculation and Risk Class Identification

The designed PI is partly based on original PI and on the framework of the Pennsylvanian PI and its modifications – Norwegian and Danish PI. The basic PI calculation includes the multiplication of P source and transportation factor values:

$$PI = SF \times TF, \tag{1}$$

where

SF – source factor;

TF – transportation factor.

Calculation of the source factor is suggested as follows:

$$SF = SP + AP, \tag{2}$$

where

SP – soil P status;

AP – application of P fertilizers.

Recommended calculation of P transportation factor is described by formula:

$$TF = E + R + L + D + W + B, \tag{3}$$

where

E – erosion component;

R – runoff;

L – leaching;

D – drainage;

W – filter wells;

B – buffers.

However, advanced model of PI asks to take into account also correction factors:

$$PI = (SP + (AP \times FR \times FT \times OF)) \times ((E+R) \times C) + L + D + W + B), \quad (4)$$

where

FR – fertilization rate;
FT – fertilizer application type;
OF – organic fertilizer type;
C – contributing distance.

The numerical values that correspond to the appropriate levels for each characteristic are preferable to multiply by the weighting factor to obtain the characteristic's rating (5). The rating system then can be changed to meet most localized conditions:

$$PI = \{[\Sigma\ (SF \times w) \times \Sigma\ (TF \times w)]\}, \quad (5)$$

where

w – weight factor.

The suggested risk class boundaries and risk class description for every field to loss of phosphorus are defined in Table 4 showing PI rating values for fields, based on the value that was calculated from PI. The higher the PI value, the more expected that the field is more vulnerable to phosphorus loss.

Conclusions

The results of this study suggest that, with certain limitations, the PI can be used at the field scale to prioritize P loss vulnerability using readily available data from a field. Further research should be done on the strengths and weaknesses of the approach in a certain site adjusting the PI more accurately to a particular region. Most important, PI cannot quantify P loss in waters because it is a qualitative tool that only predicts the potential P loss, and the development of adapted tools for European countries still is at an early stage. Therefore, the first adapted version of PI version must be validated in local conditions.

References

1. Andersen, H., Heckrath, G., Hoffmann, C.C., Iversen, B.V., Jacobsen, O.H. (2007) Phosphorus Index approach for Denmark. *NJF Plant Science*, 130, 255–257.
2. Andersen, H.E., Kronvang, B. (2006) Modifying and evaluating a P Index for Denmark. *Water, Air and Soil Pollution*, 174, 341–353.
3. Bechmann, M. (2005) The phosphorus index tool for assessing phosphorus transfer from agricultural areas in Norway. *Doctor Scientiarum Thesis*. University of Life Sciences, Norway, 39 pp.
4. Bechmann, M.E., Krogstad, T., Sharpley, A.N. (2005) A phosphorus index for Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica*, *Section Soil and Plant Science*, 55, 205–213.
5. Bechmann, M.E., Stalnacke, P., Kværnø, S.H. (2007) Testing the Norwegian Phosphorus Index at the field and subcatchment scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120, 117–128.
6. Bergström, L., Djodjic, F., Kirchmann, H., Nilsson, I., Ulén, B. (2007) *Phosphorus from Farmland to Water – Status, Flows and Preventive Measures in a Nordic Perspective*. SLU, Uppsala, 64 pp.
7. Berzina, L., Zujevs, A. (2008) Design of Phosphorous Index model as environmental tisk assessing tool. *HAICTA 2008 4th International Conference on Information & Communication Technologies in Bio & Earth Sciences Proceedings*, 70–77.
8. Birr, A. S., Mulla, D. J. (2001) Evaluation of the Phosphorus Index in Watersheds at the regional scale. *Journal of Environmental Quality*, 30, 2018–2025.
9. Boruks, A. (2004) *Dabas apstākļi un to ietekme uz agrovidi Latvijā.* Rīga, LR Valsts Zemes Dienests, 166 lpp.
10. Buczko, U., Kuchenbuch, R.O. (2007) Phosphorus indices as risk-assessment tools

in the USA and Europe – a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 170, 445–460.

11. Burgman, M.A. (2004) *Risks and Decisions for Conservation and Environmental Management*. Cambridge University Press, Cambridge, 500 pp.
12. Djodjic, F., Bergstrom, L. (2005) Conditional Phosphorus Index as an educational tool for risk assessment and phosphorus management. *Ambio*, 34, 296–300.
13. Dzalbe, I., Jansons, V., Busmanis, P., Sudārs, R. (2005) Assessment of agriculture impact on water quality with agro-environmental indicators. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*, 15, 9–16.
14. Ekholm, P., Turtola, E., Gronroos, J., Seuri, P., Ylivainio, K. (2005) Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110, 266–278.
15. Fortune, S., Lu, J., Addiscott, T.M., Brookes, P.C. (2005) Assessment of phosphorus leaching losses from arable land. *Plant and Soil*, 269, 99–108.
16. Gburek, W.J., Sharpley, A.N. (1998) Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. *Journal of Environmental Quality*, 27, 267–277.
17. Hart, M.R., Quin, B.F., Nguyen, M.L. (2004) Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: a review. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1954–1972.
18. Haygarth, P.M., Condron, L.M., Heathwaite, A.L., Turner, B.L., Harris, G.P. (2005) The phosphorus transfer continuum: Linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach. *Science of the Total Environment*, 344, 5–14.
19. Haygarth, P.M., Sharpley, A.N. (2000) Terminology for Phosphorus transport. *Journal of Environmental Quality*, 29, 10–15.
20. Heckrath, G., Bechmann, M., Ekholm, P., Ule, B., Djodjic, F., Andersen, H.E. (2008) Review of indexing tools for identifying high risk areas of phosphorus loss in Nordic catchments. *Journal of Hydrology*, 349, 68–87.
21. Huttunen, I., Huttunen, M., Vehvilainen, B., Tattari, S. (2007) Large scale Phosphorus transport model diffuse phosphorus loss. *NJF Plant Science*, 130, 215–217.
22. Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N., Moyer, B.G., Elwinger, G.F. (2002) Effect of mineral and manure phosphorus sources on runoff phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 31, 2026–2033.
23. Kleinman, P.J.A., Srinivasan, M.S., Dell, C.J., Schmidt, J.P., Sharpley, A.N., Bryant, R.B. (2006) Role of rainfall intensity and hydrology in nutrient transport via surface runoff. *Journal of Environmental Quality*, 35, 1248–1259.
24. Kovács, Á. (2004) Modeling non-point phosphorus pollution with various methods. *8th international conference on diffuse/nonpoint pollution proceedings*, 24–29 October, Kyoto, Japan, 257–264.
25. Kronvang, B., Bechmann, M., Lundekvam, H., Behrendt, H., Rubæk, G.H., Schoumans, O.F., Syversen, N., Andersen, E.H., Hoffmann, C.C. (2005) Phosphorus losses from agricultural areas in river basins: effects and uncertainties of targeted mitigation measures. *Journal of Environmental Quality*, 34, 2129–2144.
26. Lemunyon, J.L., Gilbert, R.G. (1993) The concept and need for a phosphorus assessment tool. *Journal of Production Agriculture*, 6, 483–486.
27. Leone, A., Ripa, M.N., Boccia, L., Porto, Lo A. (2008) Phosphorus export from agricultural land: a simple approach. *Biosystems engineering*, 101, 270–280.
28. Linstone, H.A., Turoff, M., Helmer, O. (2002) *The Delphi Method Techniques and Applications*: http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook/ – Accessed on July 26, 2010.
29. Loeb, R., Lamers, L.P.M., Roelofs, J.G.M. (2008) Prediction of phosphorus mobilisation in inundated floodplain soils. *Environmental Pollution*, 156, 325–331.
30. Mainstone, C.P., Parr, W. (2002) Phosphorus in rivers – ecology and management. *The Science of the Total Environment*, 282–283, 25–47.
31. Mallarino, A.P., Stewart, B.M., Baker, J.L., Downing, J.D., Sawyer, J.E. (2002) Phosphorus indexing for cropland: Overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57, 440–447.
32. McDowell, R., Sharpley, A., Folmar, G. (2001) Landscape and watershed processes phosphorus

export from an agricultural watershed: linking source and transport mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 30, 1587–1595.
33. McDowell, R.W., Sharpley, A.N. (2003) Phosphorus solubility and release kinetics as a function of soil test P concentration. *Geoderma*, 112, 143–154.
34. McGechan, M.B., Lewis, T.D.R., Hooda, P.S. (2005) Modelling through-soil transport of phosphorus to surface waters from livestock agriculture at the field and catchment scale. *Science of the Total Environment*, 344, 185–199.
35. *Minnesota Phosphorus Site Risk Index Program User's Guide* (2006): http://www.mnpi.umn.edu. – Accessed on July 26, 2010.
36. *MK noteikumi Nr. 531 "Noteikumi par ūdens un augsnes aizsardzību no lauksaimnieciskas darbības izraisītā piesārņojuma ar nitrātiem"* (2001): http://www.likumi.lv/doc.php?id=56960&from=off – Accessed on July 26, 2010.
37. Nohra, J.S.A, Chandra, A., Madramootoo, C.H., Hendershot, W.H. (2007) Modelling phosphate adsorption to the soil: Application of the non-ideal competitive adsorption model. *Environmental Pollution*, 149, 1–9.
38. Pautler, M.C., Sims, J.T. (2000) Relationships between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in Delaware soils. *Soil Science Society of America Journal,* 64, 765–773.
39. Quinton, J.N., Catt, J.A., Hess, T.M. (2001) The selective removal of phosphorus from soil: is event size important? *Journal of Environmental Quality*, 30, 538–545.
40. Radcliffe, D., Nelson, N. (2005) Predicting phosphorus losses. *Southern Extension and Research Activity – Information Exchange Group 17 (SERA-17) Position Paper*: http://www.sera17.ext.vt.edu/Documents/Predicting%20P%20Losses.pdf – Accessed on July 26, 2010.
41. Sharpley, A.N. (1995) Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. *Ecological Engineering*, 5, 261–279.
42. Sharpley, A.N., McDowell, R.W., Kleinman, P.J.A. (2001) Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil*, 237, 287–307.
43. Shigaki, F., Sharpley, A., Prochnow, L.I. (2007) Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays. *Science of the Total Environment*, 373, 334–343.
44. *The Pennsylvania Phosphorus Index: Version 1* (2006): http://panutrientmgmt.cas.psu.edu/pdf/rp_PIndex_Guidance_Manual0605.pdf – Accessed on July 26, 2010.
45. Timbare, R., Reinfelde, L. (2002) Augšņu agroķīmisko analīžu rezultātu vērtēšanas normatīvi. *Ražība*, 2, 11–13.
46. Turtola, E., Jaakkola, J. (1995) Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B Soil and plant science*, 45, 159–165.
47. Ulen, B.M., Kalisky, T. (2005) Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment – need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy*, 8, 477–484.
48. Vadas, P.A., Owens, L.B., Sharpley, A.N. (2008) An empirical model for dissolved phosphorus in runoff from surface-applied fertilizers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127, 59–65.
49. Zaimes, G.N., Schultz, R.C. (2002) *Phosphorus in Agricultural Watersheds: A Literature Review*: www.buffer.forestry.iastate.edu/Assets/Phosphorus_review.pdf – Accessed on July 26, 2010.
50. Шкинкис, Ц.Н. (1981) *Гидрологическое действие дренажа*. Ленинград, 312 с.

Anotācija

ASV radītais un plaši izmantotais fosfora indekss ir rādītājs, ar kura palīdzību novērtē fosfora noplūdes riska iespējamību virszemes ūdenstilpēs un ūdenstecēs no lauksaimniecībā izmantojamām platībām. Indeksa oriģinālā versija pēdējos gados tiek modificēta un piemērota lietošanai vairākās Rietumeiropas un Skandināvijas valstīs

saistībā ar ūdeņu eitrofikācijas problēmu risinājumiem, savukārt fosfora nonākšana ūdens vidē tiek uzskatīta par vienu no eitrofikācijas cēloņiem.
Indekss kā riska modelēšanas instruments fosfora slodzes novērtēšanai uz ūdeņiem no minerālmēslu un citiem avotiem veidots izmantošanai zemnieku saimniecībā. Indeksā iekļautie fosfora avota (fosfora saturs augsnē, pielietotie minerālmēsli vai organiskie mēsli) un fosfora transportēšanās uz ūdens avotu sekmējošie faktori (erozija, notece, izskalošanās, drenāža) ļauj izvērtēt fosfora zudumu iespējamo daudzumu, fosfora zudumus veicinošos faktorus un lauku apsaimniekošanas praksi fosfora zudumu ierobežošanai. Fosfora indeksa rezultāts raksturo katru saimniecībā pētāmo lauku atbilstoši 5 riska klasēm: ļoti zems, zems, vidējs, augsts un ļoti augsts risks. Rakstā analizēti fosfora indeksā iekļautie parametri, parametru vērtību piesaiste riska klasēm un indeksa algoritma struktūra.

The Concept of Phosphorus Index for Identification of Phosphorus Loss Risk
II. Application of Phosphorus Index to Estimate the Risk of Off-site Agricultural Phosphorus Loss to Water Bodies
Fosfora indekss fosfora noplūdes riska noteikšanai
II. Fosfora indeksa pielietojums virszemes ūdeņu piesārņojuma riska novērtēšanā

Laima Bērziņa, Ritvars Sudārs
Department of Environmental Engineering and Water Management, LLU
LLU Vides un ūdenssaimniecības katedra
e-mail: Laima.Berzina@llu.lv; Ritvars.Sudars@llu.lv

Abstract. Phosphorus index (PI) as a field-level assessment tool has been developed particularly for ranking the relative potential of off-site movement of phosphorus from the landscape due to increased attention on environmental risk assessment in agricultural production areas. The paper presents the results of testing the modified PI version to evaluate agricultural fields' vulnerability of P loss to surface water sources. The reliability of the PI was tested within agricultural areas in the central part of Latvia within two catchments at the field scale based on input data that could be easily derived from soil analysis and field observations. The final indices were represented as ranking of fields according to the relative risk of P losses. The PI values were compared with surface water quality monitoring results. The study found an acceptable relationship between PI rating and P concentrations in the nearest water sources monitored over the study period. Additionally, the PI can be used to identify nutrient management practices that reduce high P losses and that contribute to soil conservation and water quality. The presented PI is, however, the first version adapted to Latvia conditions.
Key words: phosphorus index application, phosphorus loss, surface water quality.

Introduction

Many factors are identified to have an impact on phosphorus (P) export from agricultural land to surface water. Two major factors influencing P movement to water body can be categorized into those that influence the source of P and those that influence its transport (McDowell, Sharpley, Folmar, 2001; McDowell, Biggs et al., 2004). Source factors that contribute to P loss include soil P concentration and the rate, timing, method and form of applied P (as fertilizer and/or manure) to soil (Shigaki, Sharpley, Prochnow, 2007; Hart, Quin, Nguyen, 2004). In general, P sources can be natural (indigenous soil P and atmospheric deposition) and anthropogenic (fertilizers applied to the soil); however, the major sources of P in the soil are mentioned inorganic and organic fertilizers, also plant residues and rock weathering. It is strongly admitted that prolonged inputs of P to soil can result in the P accumulation in topsoil and create the potential for an increase of P transfer to the wider environment (Haygarth, Condron et al., 2005). Transport factors are those mechanisms causing P movement within the landscape, such as erosion, runoff and leaching (Shigaki, Sharpley, Prochnow, 2007; Haygarth, 2004). Phosphorus index (PI) helps to identify the risk level of areas that contribute to P losses within agricultural catchments by using available data and allows making judgements of the likelihood that water bodies will meet the defined environmental objectives (Djodjic, Bergstrom, 2005). However, approaches of PI design have become rather complicated, and PI needs to be modified to local or regional conditions in order to incorporate all potential P loss pathways. A detailed literature review about PI framework is presented in the first part of this article (Bērziņa, Sudārs, 2010). The main objective of the article is to demonstrate the results of modified PI application to prioritize fields at the catchment scale based on P loss vulnerability. The calculated PI results are linked with the surface water quality measurements to analyse how the index ratings correspond to actual P losses from a site.

Table 1

Characteristics of research sites

Characteristic feature	Auce	Bauska
Catchment area	105 ha	740 ha
Median of a single field area	3.4 ha	14.9 ha
Median for a field slope	4%	<1%
Maximum for a field slope	13%	2.8%
Median of a single field pH KCl	7.2	7.3
Median of organic matter	2.8% (3 fields are located on peat with organic matter of up to 50%)	3%
Median of the soil P concentration	47 mg kg^{-1}	106 mg kg^{-1}
Drainage	Partly drained by tile drains and partly by separate drains	Tile drains
Soil cover type, % of total area	Dominating winter crops (44%) and alfalfa (37%), also pastures, idle land, cereal grasses	Dominating spring crops (58%) and winter crops (37%), also pastures, idle land, cereal grasses

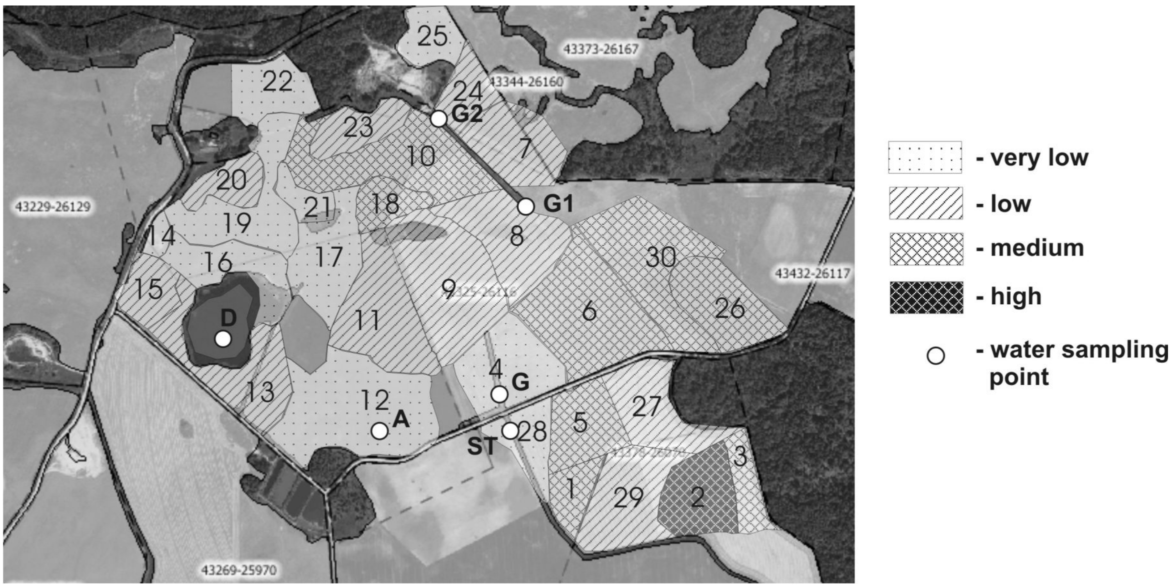


Fig. 1. Field risk classes calculated by PI and water sampling points in Auce site.

Materials and Methods

Case Study

Data for PI design evaluation were collected from 2 sites: Auce (Auce rural muinicipality) and Bauska (Gailīši rural municipality) located in the central part of Latvia with intensive agricultural production. The research site in Auce rural municipality is located in Austrumkursa highland on Carboniferous dolomite, which is covered by sandy loam and loamy sand. Glaciofluvial material has mixed layers of different permeability and forms 8–15-m-thick Quaternary deposits. Slightly undulating and somewhere rolling moraine with high slopes in the upper part of the catchment is typical for this area, with an altitude of 97–123 m above the sea level. Some layers in the parent material have high groundwater transport capacity. Springs and drainage runoff throughout the year is common for Auce area. Stagnic Cambisols (according to FAO) is the dominating soil type in the Auce site. Due to the relatively steep slopes, the soil in some parts of the catchment is eroded.

The research site in Bauska is located in Zemgale lowland. The territory of Bauska is characterized by flat relief with an average altitude of 25 m. The Upper Devonian bedrock surface is covered by a thin, 7–8 meters, cover of Quaternary deposits. Same layers of parent material have poor groundwater transport capacity. Soils in the catchment are not linked to erosion processes. Gleyic Luvisols (according to FAO) is the dominating soil type, and the main determined soil textures are loam, sandy loam, and loamy sand (according to FAO) in the Bauska site. Detailed characteristics of fields in the study sites are listed in Table 1.

Sample Collection and Processing

Soil samples from 30 fields in Auce site and soil data from 41 fields in Bauska site were analyzed. Random sampling was used to make one composite soil sample (5 subsamples) per field. Top soil samples in Auce site were taken in May, 2008, at the depth of 10 cm. The soil sampling in Bauska site was done in April, 2007. Additionally, grab water samples at 6 sampling points were collected from draining-ditches every second week during August–November of 2008 in Auce site. Surface water sample collecting was done according to guidelines of LVS ISO 5667-6:2005 and LVS ISO 5667-4:1987 A. The water sampling strategy was designed and sample sites located in order to cover a possibly wide range of runoff origin (Fig. 1). All information about surface water quality results from Bauska site makes part of Latvia agricultural runoff monitoring.

Analysis of water samples for $P_{tot.}$ and PO_4-P was carried out in the accredited laboratory "Vides audits" with standard testing methods LVS EN ISO 15681-1 ($P_{tot.}$) and LVS EN ISO 15681-1 (phosphates). Plant available soil phosphorus was determined by the Egner-Riehm method (extraction with 0.02 M calcium lactate, buffer solution pH 3.5, colorimetric determination). Soil organic carbon was determined by Tyurin method (wet oxidation using $K_2Cr_2O_7$ + H_2SO_4, spectrophotometric determination). Organic matter in soils higher than 15% was determined by loss on dry combustion at the temperature of 525 °C. Soil pH was measured potentiometrically in 1 M KCl suspension, soil/solution – 1:2.5.

Index Parameters

Parameters for PI were selected from the P indexes already used in USA and Europe to get the best characterization of their influence on P availability, movement, and management. Each parameter included in PI was evaluated taking into account Latvia conditions. The following information was available for index calculation of each field: soil P content, soil pH KCl and content of organic matter in soil, land use (dominant crop), inputs of P in fertilizers and manures, soil type, texture and field slope, field area. Data on land use and inputs of P were achieved from land users and direct on-field observations. Soil types, field slopes and drainage options were derived from drainage maps (Department of Environmental Engineering and Water Management, LLU). Firstly, the individual risk indices were calculated and applied at field scale on 30 fields in Auce site. The indexing results were validated with data from 41 samples in Bauska site.

Statistical Analyses

All fields were scored using the index model (Formula 1), and the resultant score was compared to water quality data downstream of particular fields. Relationships between calculated PI and water quality data were investigated using Spearman correlation coefficient. Nonparametric statistical analysis (Kruskal-Wallis test) was used to compare medians for P concentrations in water sampling points. The success of classification of fields for P loss was verified by discriminant analysis. All statistical analyses were made in SPSS and EXCEL, where the risk of rejecting a true hypothesis or confidence level was set at 5% (α=0.05).

PI Calculation Methodology

The tested PI consists of the two major factors: sources of P, and transport promoters of P loss. Multiplicative approach was accepted for PI calculation as:

$$\begin{aligned} PI &= SF \times TF, \\ SF_{(1...8)} &= \sum SP, AP, \\ TF_{(1...8)} &= \sum E, R, L, D, W, B, \end{aligned} \tag{1}$$

where

SF – source factor;
TF – transport factor;
SP – soil P status;
AP – application of P fertilizers;
E – erosion;
R – runoff;
L – leaching;
D – drainage;
W – filter wells;
B – buffers.

The source and transport factors were multiplied in order to account for evident interaction effects. Rating values of index parameters were collected in Table 2.

Table 2

Parameter values for PI calculation

P source characteristics	P loss rating value				
	Very low (1)	Low (2)	Medium (4)	High (6)	Very high (8)
1. Soil test P (mg kg^{-1} P)	<13	13–30	31–60	61–122	>122
2. Application of P fertilizers (for cultivated crop requirements)	no additional P	pastures	winter and spring crops	alfalfa, rape grassland	potatoes, beets, vegetables
P transport characteristics	**P loss rating value**				
	Very low (1)	Low (2)	Medium (4)	High (6)	Very high (8)
3. Risk of erosion (field slope)	<6%	6–9%	10–14%	15–20%	>20%
4. Risk of runoff (field slop, % and soil texture class)	– slope <0.5 and sand	– slope <0.5 and loamy sand, sandy loam – slope 0.6–3.0 and sand	– slope <0.5 and clay – slope 0.6–3 and loamy sand, sandy loam – slope >3 and sand	– slope 0.6–3 and clay – slope >3 and loamy sand, sandy loam	– slope >3 and clay
5. Risk of leaching (soil texture class)	clay	loam	sandy loam	sand	peat
6. Artificial drainage	no drainage	single tile drains	systematic tile drainage		
7. Filter wells	no filter wells on field	filter wells on field			
8. Buffers	at least 4 m wide buffer zone from field edge with perennial grassland	at least 1.5 m wide unploughed and grassed zone	no protective zone		

P risk class rating values were attached to the following intervals: very low risk (1–70), low risk (71–120), medium risk (121–170), high risk (171–300), and very high risk (>300).

Results and Discussion

PI Calculation and Risk Class Identification

Observations as well as calculation and validation of the first version of the PI for Latvia were carried out at 2 sites to reach the differences between fields regarding soil type, field slope, and soil P status that make data set suitable for a PI performance testing. Soil chemical properties showed that pH for fields were within the range of 5.5–8.1. The organic matter in these soils ranged from low to high. In Auce site, 34% of soils had less than 2.5% of organic matter, which is insufficient for sandy loam soils; 33% of soils had acceptable (2.5–3.0%) values of organic matter, and 22% of soils had high organic matter value (3.1–10%). Whereas in Bauska site, only 0.02% of soils had insufficient amount of organic matter, and 67% of soils were considered as soils with high organic matter content. According to Timbare and Reinfelde (2002), high organic matter content is within the range of 2.6–10% for loamy sand, and 2.1–10% for sand. Soil P values showed a wide range for both research sites: from 3 to 285 mg kg^{-1} of P in Auce site, and 42–535 mg kg^{-1} of P in Bauska site. According to Timbare and Reinfelde (2002), the samples from both research sites should be classified as very high in P content. It is defined that soils with very high soil P level are indicated by values of up to 96 mg kg^{-1} of P for sandy loam, up to 81 mg kg^{-1} of P_5 for loamy sand, and up to 68 mg kg^{-1} of P for sand. Excessively high concentrations of P in some agricultural soils could be linked with intensive application of swine manure on fields in the research sites. It is important to include fields with such high concentration of soil P in the environmental research, because agricultural runoff monitoring results show that P in surface water increases rapidly at higher levels of soil P concentrations. Knowledge on timing of P inputs and methods made the greatest uncertainty because these data were based only on the landowner statement. Uncertainty of fertilizer application rates consequently contributed most to the output uncertainty. Details about calculated PI summary statistics to identify fields with a high potential for P losses are presented in Table 3.

Results of fields testing with PI and P loss risk class identification in Auce are graphically presented also in Fig. 1. The median of calculated PI for Auce site reaches value 96, which, in general, shows Auce site as a low risk example of P loss, while PI median value for Bauska site reaches value 140, which falls in a medium risk class of P loss. Table 4 summarizes and compares the first results of PI scores calculated by PI approach using formula (1) for ranking fields

Table 3

Summary statistics for the PI of experimental fields

Site	Median of PI	Mode of PI	Range of PI	Minimum of PI	Maximum of PI	Median of source factor	Median of transport factor
Auce	96	72	180	1	180	6	18
Bauska	140	140	160	96	256	10	16

Table 4

Summary of risk classes for experimental fields

Site	Indicator	Risk class				Total
		1 – very low	2 – low	4 – medium	6 – high	
Auce	count	10	11	8	1	30
	% of total	33.3	36.7	26.7	3.3	100.0
Bauska	count	0	4	26	11	41
	% of total	0	9.8	63.4	26.8	100.0
Total	count	10	15	34	12	71
	% of total	14.1	21.1	47.9	16.9	100.0

Table 5

Classification results

Indicator	Risk class	Predicted risk class membership				Total
		very low	low	medium	high	
Count	very low	10	0	0	0	10
	low	0	11	4	0	15
	medium	0	0	33	1	34
	high	0	0	1	11	12
%	very low	100	0	0	0	100
	low	0	73.3	26.7	0	100
	medium	0	0	97.1	2.9	100
	high	0	0	8.3	91.7	100

according to their vulnerability to the potential of P loss. The majority of low PI index values were found in Auce site; however, most of fields in Bauska site were ranked to higher risk classes. Only one field in Auce has PI, which is defined as high, while 21 fields have PI below 120 indicating a very low or low risk of P transfer. Quite different results show data from Bauska site. There are no fields identified in the very low risk class – most of them fall in the medium and high risk of P loss.

Risk classes that represent very low and low risk for P losses refer to fields with very low indices for P source factor; however, there are fall fields with comparatively high transportation factor estimation. The class that represents medium risk of P loss includes fields with comparatively high P source factor estimation and prevalence of leaching and runoff as transportation factors, there are also fields with filter wells. The high risk class includes fields with an approximately similar evaluation of transportation factors, but very high estimations of P source, and, by reference to previous statement, fields with very high risk class were not identified within the investigation. Assuming PI values, they show that the majority of calculated PI values for fields with intensive agriculture fall in medium risk class of P loss. Generally, the source factor explained 60% of the variation in the PI, which implies that the source factor was more important for the identification of high-risk areas than the transport factor. The high P source factor for fields in Bauska site (67% of total PI variation explained by source factor) was due to high soil P status as well as a high fertilizer application rate. Due to high source factors and the uniformity of transport factors within the catchment there was a smaller variation in the PI values in Bauska site, in fact, these data resulted in comparatively high PI scores. However, regarding transport factors, the observations in Auce site showed greater variability (53% of total PI variation explained by transport factor). Overall results of the research pointed that P source factors had a decisive role for field classification.

The success of classifying was verified with discriminant analysis. Discriminant analysis is a multivariate statistical technique commonly used to build a predictive model of group discrimination based on observed predictor variables, and to classify each observation into one of the groups. The dependent variable was set as a risk class (1 – very low, 2 – low, 4 – medium, 6 – high, 8 – very high), and 8 predictor variables were utilized to predict category membership of these groups. A classification result gives a simple summary of the number and percent of subjects classified correctly and incorrectly. The output includes cross-validation table presented in Table 5.

Values in the classification table reflect the correct classification of individuals into groups based on their scores on the discriminant dimensions. As the results of analysis show, the most evident uncertainty to predict risk class is associated with the low and medium risk class group; all cases to predict very low or high risk group were correct. In general, 91.5% of originally grouped cases are supposed to be correctly classified. Overall, the study showed that the greatest uncertainties in PI estimates were for the fields with the lowest levels of soil P.

The performance of the PI was initially tested by comparing the calculated PI values with measured P concentration in surface water near to experimental fields. To test links of PI with surface water quality

Table 6

PI and P in water samples close to experimental fields

Bauska	PI	Risk class	PO_4-P, mg L^{-1}
B-1	128	medium	1.79
B-2	144	medium	0.07
B-3	196	high	2.04

there were collected water samples in six points in Auce site (Fig. 1):

- G1 – draining-ditch (eroded soils);
- G2 – draining-ditch (eroded soils);
- G – draining-ditch;
- ST – draining-ditch (peat and sandy soils);
- A – well;
- D – pond (soils with high P concentrations).

Additionally, water quality monitoring results from Bauska site were analyzed. Analysis of surface water samples clearly showed increased concentrations of P in Bauska site water samples, and P indices values were also calculated higher than for fields in Auce catchment. Mean of PO_4 concentration in the water samples taken during the investigation period close to experimental fields reached 0.013 mg L^{-1} in Auce site, and 0.9 mg L^{-1} in Bauska catchment correspondingly the average PI peak – the value 91 in Auce site, and the value 159 in Bauska site. Spearman correlation coefficient showed the potential of PI for P transfer from the agricultural catchments by describing the relationship between the P-PO_4 concentrations in surface waters and the PI at the catchment scale at the level of r=0.58 (*p*-value 0.10). This result indicates that the PI successfully ranked two catchments noting that the highest P concentrations in surface waters are close to the highest P indices. However, the objective of the PI is to define high risk areas within a catchment. In that context, it must recognize that the PI is developed for field scale risk assessment and the catchment scale testing does not directly show the applicability of the PI at field scale. Subsequently, the PI was evaluated closer to the scale for which it was developed. However, it was not possible to find statistically significant correlations between particular fields PI and P concentrations in surface water near to these fields. Moreover, it should be noted that statistically different P concentrations among water samples taken in Auce site at presented sites by Kruskal-Wallis test (Chi-Square 4.49; Asymp. Sig. 0.340) were not found. Despite the conclusion that the relationship between the P concentrations at the field scale and the PI for subsequent field had very low correlation and coefficients were nonsignificant in Auce site, individual testing of each case showed the same evident tendencies. Comparatively higher P concentrations were observed in the draining ditch next to most eroded soil. Similarly, the fields with the high ranks of runoff potential were these near the elevated P concentrations in the waters accrued. The considerable mean of P concentration (0.017 PO_4-P) in water was observed in a sampling point A (well), which could be explained by high rank of runoff risk for the field No. 12; however, the total PI value for the field shows very low risk of P loss. At the same time, it is important to note that presence of a well plays a significant role in collection of surface runoff. Research has documented that even 0.1 mg L^{-1} of total P in waters is associated with eutrophic criteria (McDowell, Sharpley, 2001). Such value of total P in water samples during investigation period occurred in water sampling points D, A, and G2, and possibly was influenced by very high P transportation factor values and prevalence of erosion, runoff and drainage risk for belonging fields. However, these fields are defined as very low and low risk class examples of P loss. The presence of drains can significantly alter the flow of nutrients, as they are designed to move the water quickly from the soil surface to recipient streams. The highest mean of P (0.022 PO_4-P) for Auce site water sampling sites was observed in sampling point G1, where 0.1 mg L^{-1} of total P in a single sample was not observed. This sampling point was located next to a field representing medium risk of P loss with maximum value (22) of transport factor sum within the investigation. The water sample analysis was also done for Bauska site. Statistically significant differences (Chi-Square 36.24; *p*-value. 0.000) were found in water samples collected from draining ditches in 3 observation points in the catchment by Kruskal-Wallis test. Furthermore, remarkable differences in P concentrations in water samples were found near fields with similar PI risk class evaluations (Table 6).

However, it is important to admit that the field next to observation point B-1 is located close to manure storage lagoons. Possibly these high concentrations result form accidental runoff from manure storage lagoons that are not considered by PI parameters. Anyway, precise interpretation about nutrient losses from agricultural areas must be considered also by pollution of point sources. If to exclude point B-1 from the analysis, the relationship between PI and P concentrations in surface water becomes statistically significant. Moreover, all collected water samples in Bauska site sampling point B-1 exceeded 0.1 mg L^{-1} of total P, for sampling points B-2 and B-3 the relative frequency of exceeding reached accordingly 0.25 and 0.88. Consequently, these results are very demonstrative to show that PI is not a P loss quantification tool but rather a P loss risk-assessment tool. The potential for P losses estimated with risk assessment tools may not always be realized in the field, especially since calculations of PI values do not cover all processes influencing P losses. There should be admitted several reasons for the low correlation for PI and P concentrations in waters within field level. Firstly, the lack of appropriate weighting of PI factors according to their relative impact on loss of P remains a weak point of the adopted index for Latvia. The first testing of the accuracy of PI showed that the index should be improved by increasing the weighting of erosion risk and runoff risk. Moreover, additional analyses could be declared as essential to facilitate PI adjustment in order to explain the influence of the factors weightings on PI scores and sensitivity of nearest water source. However, it became clear that the relative importance of different factors under field conditions and their representation in P indices could be understood after long-term experiments.

Secondly, there are suggestions that areas greater than 40–50 m from the open stream by using edge-of-field approach are less important for nutrient transfer than near-stream zones. This investigation of the PI, however, uses approach that the connectivity depends on the shape of fields in relation to the stream and not on the actual distance from the areas within the field (Bechmann, Stalnacke, Kværnø, 2007). For this purpose, a framework to identify high-risk areas should be continued in order to investigate field position influence on the P loss to nearest surface water source. Thirdly, evaluation of PI did not include P management factors according to still limited data. However, such factors as P fertilization rate, fertilizer application method, fertilizer type, and fertilization timing are very important factors to control P loss. The amount of P which enters the water body depends also on the intensity of precipitation that was not directly measured by PI.

Overall, the study illustrated the potential of the PI to detect areas with the highest risk of P loss indicating that higher PI values resulted in higher P concentrations in surface waters. Results also showed that the source factor contributed most to the variation between fields and hence were important for the identification of high-risk areas in Bauska site, while importance of transport was shown in Auce site. It was found that the soil P status described 70% of the variation in the source factor. Among the transport variables, it was found that erosion risk, runoff risk, and drainage presence risk had an important influence on the transport factor. The research affirmed that PI is not a tool to quantify how much P will enter in a water body. Instead, PI calculated the rate of movement of P from a field towards the water body, and due to P chemical properties it is possible that P will travel to a water body for a long time.

Conclusions

The first results obtained from evaluation of the first modified version of the PI indicated that the index has potential to rank fields according to the P losses. By means of the PI it was possible to detect fields and catchments with the highest measured P concentrations in surface waters. Using data from field studies in the central part of Latvia with intensive agriculture production, the PI model was validated to predict the possible P loss from a field to the nearest surface water source. PI results totaling 14% of very low risk areas, 21% of low risk areas, 48% of medium risk areas, 17% of high risk areas, and no very high risk areas from the investigated fields were obtained. Discriminant analyses confirmed PI results for successful classification of fields according to the risk class of P loss; however, testing has also shown the week points and potential directions for PI improvement. One of the challenges is to prove that the ranking of fields with the PI actually reflects the risk of P transfer from a given field to the open stream. By considering the limitations of this approach, an objective for the future is to adjust the PI more accurately to site management factors. It is also expected to add weights for each parameter and to rate the relative degree of importance of each factor with respect to the overall risk of nutrient loss. PI could be a valuable decision support tool for nutrient management according to the PI system approach simplicity and low requirements to input data.

References

1. Bechmann, M.E., Stalnacke, P., Kværnø S.H. (2007) Testing the Norwegian phosphorus index at the field and subcatchment scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120, 117–128.
2. Djodjic, F., Bergstrom, L. (2005) Conditional Phosphorus Index as an educational tool for risk assessment and phosphorus management. *Ambio*, 34, 296–300.
3. Hart, M.R., Quin, B.F., Nguyen, M.L. (2004) Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: a review. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1954–1972.
4. Haygarth, P.M. (2004) Importance of incidental phosphorus losses at different scales. *Proceedings of the 4th International Phosphorus Workshop*. Wageningen, The Netherlands, p. 104.
5. Haygarth, P.M., Condron, L.M., Heathwaite, A.L., Turner, B.L., Harris, G.P. (2005) The phosphorus transfer continuum: Linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach. *Science of the Total Environment*, 344, 5–14.
6. McDowell, R., Sharpley, A., Folmar, G. (2001) Landscape and watershed processes phosphorus export from an agricultural watershed: linking source and transport mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 30, 1587–1595.
7. McDowell, R.W., Biggs, B.J.F., Sharpley, A.N., Nguyen, L. (2004) Connecting phosphorus loss from agricultural landscapes to surface water quality. *Journal of Chemical Ecology*, 20, 1–40.
8. Shigaki, F., Sharpley, A., Prochnow, L.I. (2007) Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays. *Science of the Total Environment*, 373, 334–343.
9. Timbare, R., Reinfelde, L. (2002) Augšņu agroķīmisko analīžu rezultātu vērtēšanas normatīvi. *Ražība*, 2, 11–13.

Anotācija

Fosfora indeksa piemērošana noteiktas teritorijas ģeoloģiskajiem, meteoroloģiskajiem un tautsaimnieciskajiem apstākļiem ir jāsaista ar fosfora noplūdes ietekmējošo faktoru izvēli, faktoru gradāciju izveidi, kā arī to ietekmes būtiskuma noteikšanu. Darbā pārbaudīta iepriekšējā pētījumā izstrādātā fosfora indeksa versija, to testējot lauksaimniecības platībās Bauskā un Aucē. Fosfora indekss tika aprēķināts 71 laukam un izvērtēts saistībā ar tuvējos virszemes ūdeņos esošo eksperimentāli noteikto fosfora savienojumu koncentrāciju. Izveidotais fosfora indekss apstiprina, ka, paaugstinoties noteikta lauka riska indeksa vērtībai, tuvējos ūdens objektos palielinās iespējamība novērot salīdzinoši augstas fosfora savienojumu koncentrācijas. Fosfora indeksa aprēķinu precizitāti palielinātu katra faktora ietekmes uz tuvējā virszemes ūdens avota kvalitāti būtiskuma jeb nozīmības svaru noteikšana un iekļaušana indeksa modelī.

Latvijas priežu mežu atmirums atšķirīgos meža augšanas apstākļos
Amount of Deadwood of Latvian Pine Forests in Different Forest Growing Conditions

Aigars Jansons
Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava"
Latvian State Forest Research institute „Silava"
e-mail: aigars_jansons@inbox.lv

Abstract. The amount of deadwood of Latvian pine forests is analyzed, and the impact of growing conditions on the deadwood volume and structure is estimated in this research. The study material was collected within the framework of the National forest inventory from 2004 until 2008, and the data about 1627 sample plots, dominated by pine, were selected and analyzed. The total deadwood volume and the volume of the deadwood components (snags, broken standing stems, and lying deadwood) were analyzed in different growing conditions and locality classes. It was found out that the amount of deadwood increases with the increase of soil fertility and stand productivity. Comparatively more different pine stands were observed in the *Sphagnosa, Callunosa turf. Mel.,* and *Cladinoso-callunosa* forest types, where the amount of deadwood was the smallest, but proportion of snags in the total deadwood structure – the highest.
Key words: pine stands, deadwood volume, growing conditions, locality class.

Ievads

Mežā līdzās organisko vielu sintēzes procesam norisinās arī nepārtraukta koku atmiršana, kuras cēloņi var būt visdažādākie. Tie var būt gan abiotiska rakstura faktori, tādi kā uguns, vējlauzes, vējgāzes, snieglauzes, appludinājums, sausums u.c., gan arī biotiska rakstura faktori – konkurence pēc barības vielām, gaismas un ūdens, slimības, kukaiņi, vecums, mehāniskā nelīdzsvarotība u.c. (Franklin, Shugart, Harmon, 1987). Minēto faktoru un to mijiedarbības ietekmes rezultātā mežos veidojas atmirusi koksne, kuras galvenie veidi ir kritalas jeb guļoši koki un atmiruši stāvoši koki – sausokņi un stumbeņi. Šī atmirusī koksne ir nozīmīga bioloģiskās daudzveidības, oglekļa un barības vielu aprites ciklu un audzes struktūras komponente, kā arī kurināmā resurss (Roundeux, Sanchez, 2009; Woodall, Roundeux et al., 2009).

Pieprasījums pēc informācijas par atmirušās koksnes resursiem mežos pasaulē pēdējos divdesmit gados ir pieaudzis gan saistībā ar bioloģiskās daudzveidības novērtēšanu un saglabāšanu mežos (Schuck, Meyer et al., 2004; Hahn, Christensen, 2004), gan ar siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisijas un piesaistes novērtēšanu (Woodall, Heath, Smith, 2008), gan arī ar meža ugunsgrēku riska novērtēšanu (Woodall, Roundeux et al., 2009).

Latvijā līdz šim plaši pētījumi par atmirušās koksnes lielumu un struktūru saimnieciski nozīmīgāko koku sugu mežos nav veikti, tādēļ ar atmirumu saistīto publikāciju skaits literatūrā ir neliels un tie galvenokārt attiecas uz agrākajos gados izstrādātajiem normatīviem meža resursu inventarizācijā, kontrolē un plānošanā (Latvijas PSR Mežsaimniecības …, 1984), kā arī vēlāk izdotajiem normatīviem meža taksācijā (Нормативы для таксации …, 1988). Pēdējos gados ir izstrādāta metodika un publicēti pētījuma rezultāti par Latvijas skujkoku mežu ikgadējā krājas pieauguma, tai skaitā arī ikgadējā atmiruma, noteikšanu (Liepa, 2008). Pēc šīs metodikas attiecīgās audžu kopas rādītājus aprēķina kamerāli, izmantojot tikai ar nogabala metodi (Latvijā līdz šim dominējošā meža inventarizācijas metode) iegūto audžu kopas informāciju: valdošā koku suga, bonitātes klase, vecums un šķērslaukums.

Atsevišķi atmirušās koksnes uzmērījumi un struktūras analīze 1996. gadā ir veikti daļā no Pasaules Dabas Fonda pārmitro mežu programmas laikā nodalītajiem liegumiem – etaloniem. Visos gadījumos pētījums attiecās uz maz skartām, aizsardzībai prioritārām vietām (Priedītis, 1999).

Šobrīd statistiski ticamu un nozīmīgu informāciju par atmiruma lielumu un struktūru Latvijas mežos ļauj iegūt 2004. gadā Latvijā uzsāktā meža statistiskā inventarizācija, kas tiek veikta 5 gadu ciklā, pārklājot Latvijas teritoriju ar regulāru pastāvīgo un pagaidu parauglaukumu tīklu. Šajos parauglaukumos tiek noteikti gan mežsaimniecībā tradicionālie audzes raksturlielumi, gan arī atmirušās koksnes krāja. Jāatzīmē, ka arī lielākajā daļā pasaules valstu, kur tiek veikta nacionālā meža inventarizācija, atmirušās koksnes inventarizācija uzsākta tikai pēdējā desmitgadē (Woodall, Roundeux et al., 2009), līdz ar to pieejamo datu un publikāciju skaits ir ierobežots, kas palielina to nozīmību.

Tā kā priede *(Pinus sylvestris* L.) ir viena no saimnieciski nozīmīgākajām un izplatītākajām koku sugām Latvijā (priežu audzes aizņem 29% no mežaudžu kopējās platības) (Meža platība, 2009) un tai raksturīga plaša ekoloģiskā amplitūda (no nabadzīgām smilts līdz pat slapjām kūdras augsnēm), tad šī pētījuma mērķis bija noskaidrot Latvijas priežu mežu atmiruma lielumu un struktūru atkarībā no augšanas apstākļiem.

Materiāls un metodes

Pētījumā izmantoti Latvijas meža statistiskās inventarizācijas (MSI) laikā iegūtie dati par atmiruma lielumu un struktūru mežaudzēs. Meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu ierīkošana dabā, uzmērīšana un mežaudzes parametru aprēķināšana tiek veikta atbilstoši Latvijas Republikas Zemkopības ministrijas apstiprinātajai metodikai „Meža statistiskās inventarizācijas veikšanas un mežaudzes sekundāro parametru aprēķināšanas metodika”, saskaņā ar kuru MSI mērītais atmirums tiek iedalīts atmiruma grupās: sausokņi (stāvoši nokaltuši koki ar galotnēm), stumbeņi (stāvoši nokaltuši koki bez galotnēm un zemāk lūzuši koku stumbri) un kritalas (guļoši nokrituši, nolauzti un izgāzti koki un guļošas atlūzas).

Atbilstoši pētījuma mērķim no MSI datu bāzēm tika atlasīti un analizēti dati par 1627 parauglaukumiem, kas ierīkoti laikā no 2004. līdz 2008. gadam. Pētījumā izmantoto parauglaukumu atlase veikta pēc šādiem kritērijiem:

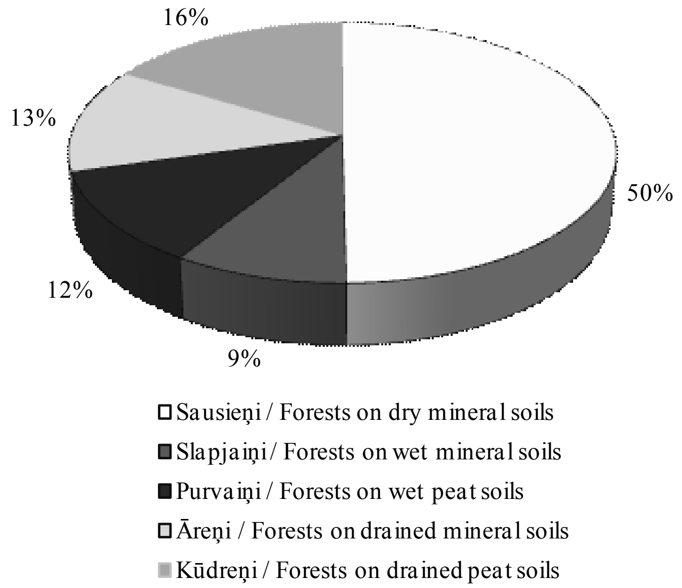
1) parauglaukuma veids – pastāvīgie parauglaukumi;
2) zemes kategorija – mežs;
3) parauglaukuma platība – atlasīti tie parauglaukumi, kuru platība mežā ir vismaz 400 m^2 jeb 4/5 no parauglaukuma kopplatības;
4) valdošās sugas īpatsvars audzē – atlasīti tie parauglaukumi, kuros valdošās sugas (priedes) īpatsvars ir vismaz 50% no kopējās pirmā stāva krājas;
5) meža tips – atlasīti tikai tie meža tipi, kuros priede ir mērķsuga (Bušs, 1981);
6) audzes vecums – atlasītas 21–160 gadu vecas priežu audzes;
7) kritiskais koku skaits un kritiskais šķērslaukums atbilst Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem Nr. 892 (Noteikumi par koku ciršanu meža zemēs, 2006);
8) atmirušās koksnes un dzīvās koksnes attiecība – atlasīti tie parauglaukumi, kuros attiecība starp atmirušās koksnes krāju un dzīvās koksnes krāju ir mazāka par 1.0.

Atmiruma analīze veikta gan pa meža augšanas apstākļu tipiem (sinonīms edafiskajām rindām: sausieņu meži, slapjaiņu meži, purvaiņu meži, āreņi, kūdreņi), gan arī pa atsevišķiem meža tipiem (sils, mētrājs, lāns, damaksnis, slapjais mētrājs, slapjais damaksnis, purvājs, niedrājs, mētru ārenis, šaurlapju ārenis, viršu kūdrenis, mētru kūdrenis, šaurlapju kūdrenis), kā arī pa bonitātes klasēm. Analizēti gan dati pa atsevišķām atmiruma grupām (sausokņi, stumbeņi, kritalas), gan arī kopējais atmirušās koksnes lielums priežu mežos (m^3 ha^{-1}).

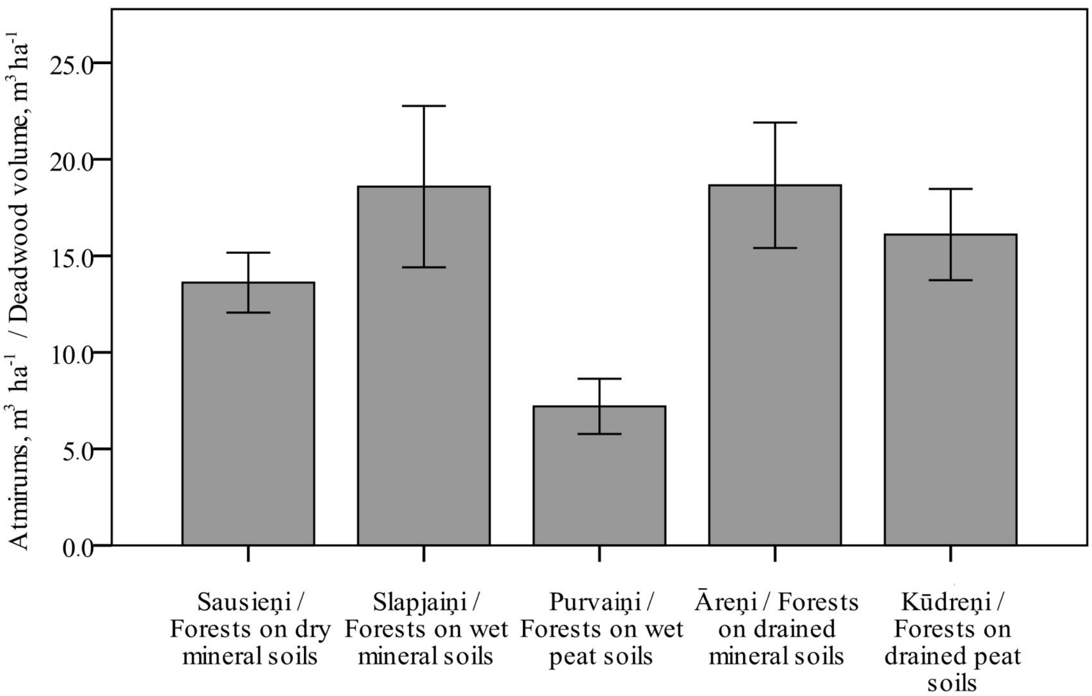
Empīriskā sadalījuma atbilstība normālajam sadalījumam pārbaudīta, izmantojot Kolmogorova–Smirnova testu. Noskaidrots, ka gan paraugkopā kopumā, gan pa meža edafiskajām rindām un bonitātes klasēm atmirušās koksnes lielums neatbilst normālajam sadalījumam. Līdz ar to, lai noskaidrotu, vai augšanas apstākļiem ir būtiska ietekme uz priežu audžu atmiruma lielumu, no neparametriskajām metodēm izmantots Kruskala–Valisa tests, kas ir alternatīva metode viena faktora dispersijas analīzei (Paura, Arhipova, 2002).

Rezultāti un diskusija

Analizēto parauglaukumu sadalījumā pa meža augšanas apstākļu tipiem, t.i., pa līdzīgu klimatisko, hidroloģisko un edafisko faktoru kopām, lielāks īpatsvars ir sausieņu mežiem – 810 parauglaukumi jeb 50% no visiem analizētajiem parauglaukumiem (1. att.). Salīdzinoši liels parauglaukumu īpatsvars ir arī nosusinātajos mežos – 479 parauglaukumi jeb 29% no visiem analizētajiem parauglaukumiem, no kuriem 16% jeb 267 parauglaukumi atrodas nosusinātās kūdras augsnēs (kūdreņi), bet 13% jeb 212 parauglaukumi atrodas nosusinātās minerālaugsnēs (āreņi). Nedaudz mazāks parauglaukumu īpatsvars ir slapjās kūdras augsnēs (purvaiņi) – 190 parauglaukumi jeb 12% no visiem analizētajiem parauglaukumiem, bet vismazākais



1. att. Parauglaukumu sadalījums pa meža augšanas apstākļu tipiem.
Fig. 1. Distribution of sample plots in different growing conditions.



2. att. Priežu audžu atmiruma atšķirības pa meža augšanas apstākļu tipiem (vidējās vērtības, m^3 ha^{-1}, un 2 standartkļūdas).
Fig. 2. Deadwood volume differences of pine stands among various growing conditions (mean values, m^3 ha^{-1}, and 2 standard errors).

parauglaukumu īpatsvars ir slapjās minerālaugsnēs (slapjaiņi) – 148 parauglaukumi jeb 9% no visiem analizētajiem parauglaukumiem.

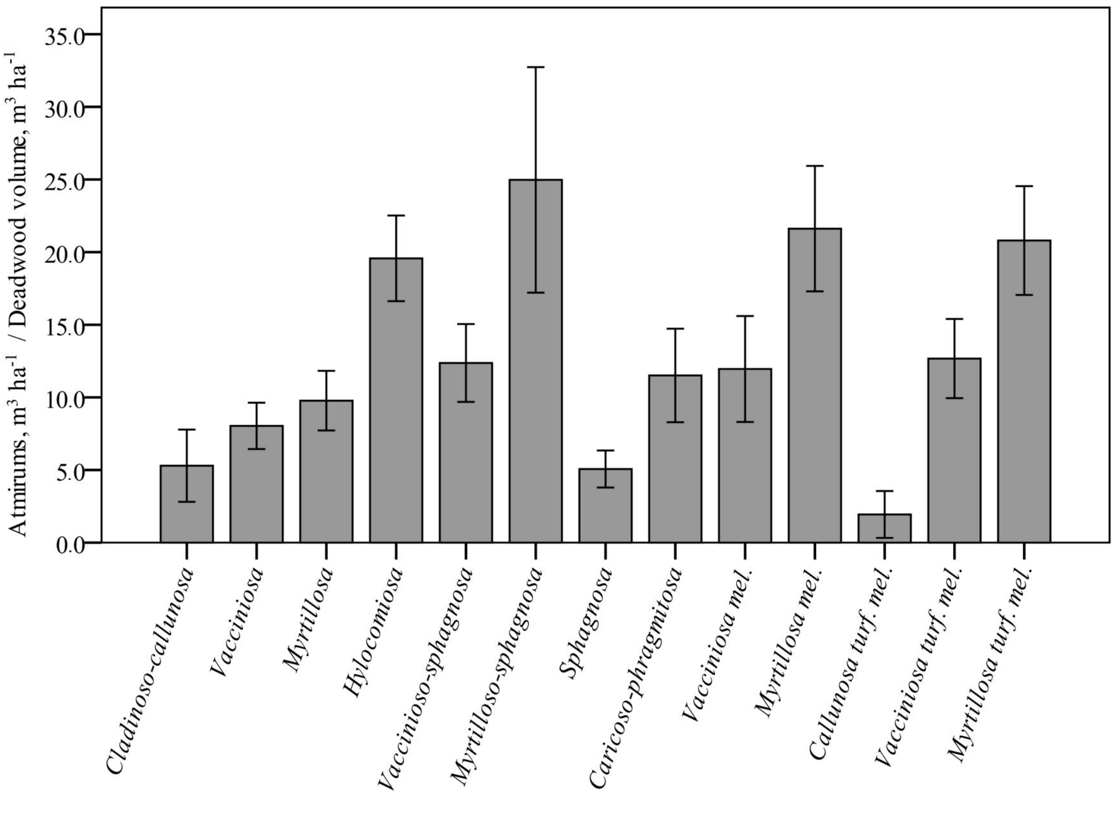
Ar Kruskala–Valisa testu konstatēts, ka meža tipu edafiskajām rindām ir būtiska ietekme uz atmiruma lielumu (p-vērtība=0.000<α=0.05). Taču, noraidot H_0 hipotēzi, ka gradācijas klašu vidējās vērtības būtiski neatšķiras, Kruskala–Valisa tests nedod atbildi, starp kurām gradācijas klasēm pastāv būtiskas atšķirības. Līdz ar to gradācijas klašu vidējo vērtību salīdzināšanai tika izmantotas grafiskās metodes 2 standartkļūdu ietvaros.

Salīdzinot atmiruma lieluma atšķirības starp dažādiem meža augšanas apstākļu tipiem, konstatēts, ka būtiskas atmiruma lieluma atšķirības priežu audzēs vērojamas starp purvaiņiem un pārējiem augšanas apstākļu tipiem (2. att.). Purvaiņos ir vidēji vismazākā atmirušās koksnes krāja – 7.2±0.72 ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) m^3 ha^{-1}, kas galvenokārt izskaidrojams tieši ar zemo priežu audžu ražību šajos augšanas apstākļos. Purvaiņos augsnes aerācija un vielu aprite ir vāja, augu organiskās atliekas pilnībā nesadalās, bet veido kūdras uzkrājumus, kuras biezums pārsniedz 30 cm, un koku saknēm nav tiešas saskares ar minerālaugsni (Bušs, 1981; Meža enciklopēdija, 2003). Šādu mežaudžu zemo ražību apstiprina arī citu autoru pētījumi (Lībiete, 2006; Lībiete, Jansons, Zālītis, 2009), kuros noskaidrots, ka viszemākās ražības rādītāju (koksnes krājas un krājas tekošais pieaugums) vērtības priežu audzēs ir purvaiņu mežos.

Vislielākais vidējais atmirums priežu audzēs vērojams slapjaiņos un āreņos – attiecīgi 18.6±2.09 m^3 ha^{-1} un 18.7±1.62 m^3 ha^{-1}, savukārt sausieņos un kūdreņos – 13.6±0.78 m^3 ha^{-1} un 16.1±1.18 m^3 ha^{-1}. Pasaules Dabas Fonds savos pētījumos konstatējis, ka sausajos priežu mežos atmirušās koksnes lielums ir 3–9 m^3 ha^{-1}, bet pārmitrajos priežu mežos – 3–11 m^3 ha^{-1} (Priedītis, 1999). Visos gadījumos pētījumi attiecās uz relatīvi maz skartām un aizsardzībai prioritārām vietām, un kopējais novērojumu skaits bija neliels (13 uzmērījumi).

Slapjaiņu mežos lielāka atmirušās koksnes krāja izskaidrojama ar nestabilo ūdens un gaisa režīmu augsnēs. Slapjās vasarās gruntsūdens appludina koku sakņu horizontu, koku pieaugumi jūtami krītas un augu organiskās atliekas lielā mitruma un anaerobo apstākļu dēļ sadalās lēni, uzkrājas zemsega. Savukārt sausās vasarās norisinās atpurvošanās, organiskās atliekas sadalās straujāk un koku pieaugumi uzlabojas. Sava ietekme uz atmirušās koksnes daudzuma atšķirībām sausieņu un slapjaiņu mežos varētu būt arī mežu apsaimniekošanai, kas intensīvāk norisinās sausieņu mežos.

Salīdzinoši krasās atšķirības, kas priežu audzēs vērojamas starp atmiruma apjomu purvaiņos un kūdreņos, un pavisam niecīgās atšķirības starp



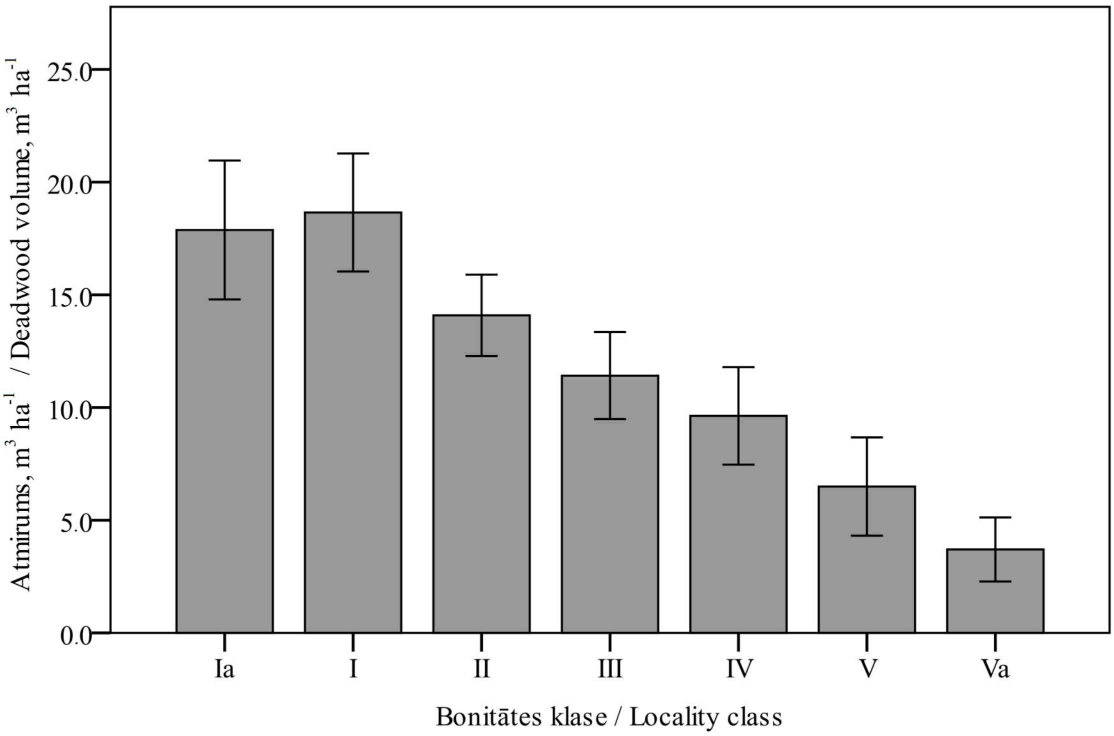
3. att. Priežu audžu atmiruma atšķirības pa meža tipiem (vidējās vērtības, m^3 ha^{-1}, un 2 standartkļūdas).
Fig. 3. Deadwood volume differences of pine stands among different forest types (mean values, m^3 ha^{-1}, and 2 standard errors).

atmiruma lielumu slapjaiņos un āreņos zināmā mērā var izskaidrot ar to, ka nosusināšanas efektam lielāka ietekme uz priežu audžu ražības palielināšanos ir tieši slapjajās kūdras augsnēs. Savukārt āreņos priežu audzes tiek pakļautas intensīvākai apsaimniekošanai.

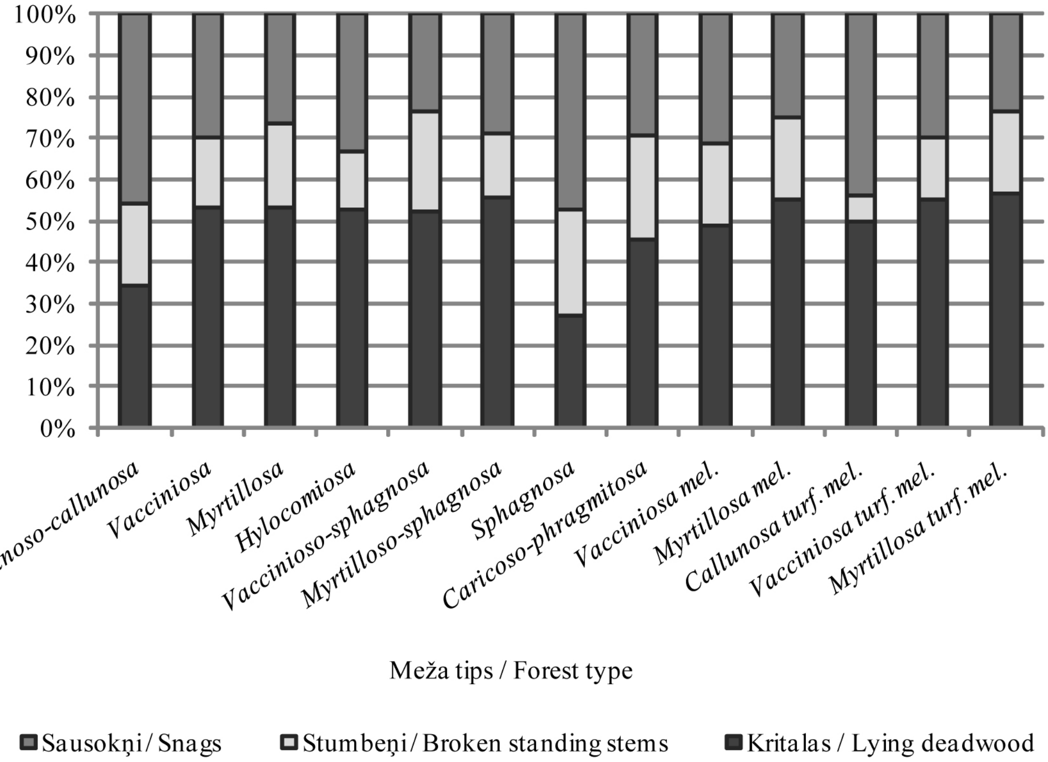
Analizējot parauglaukumu datus detalizētāk pa meža tipiem, konstatēts, ka atmirušās koksnes krāja priežu audzēs viršu kūdrenī *(Callunosa turf. mel.)* un purvājā *(Sphagnosa)* būtiski atšķiras no atmirušās koksnes krājas pārējos meža tipos (3. att.), izņemot vienīgi silu *(Cladinoso-callunosa)*. Jāatzīmē, ka visos gadījumos, izņemot viršu kūdreni (n=23), parauglaukumu skaits ir lielāks par 30.

Viršu kūdrenī, kā arī purvājā un silā atmiruma lielums ir vismazākais – attiecīgi 1.9±0.81 ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) m^3 ha^{-1}, 5.1±0.64 m^3 ha^{-1} un 5.3±1.24 m^3 ha^{-1}. Savukārt vislielākā atmirušās koksnes krāja priežu audzēs vērojama tieši slapjajā damaksnī *(Myrtilloso-sphagnosa)* – 25.0±3.88 m^3 ha^{-1}, kā arī šaurlapju ārenī *(Myrtillosa mel.)* un šaurlapju kūdrenī *(Myrtillosa turf. mel.)* – 21.6±2.16 m^3 ha^{-1} un 20.8±1.87 m^3 ha^{-1}. Salīdzinoši liela atmirušās koksnes krāja veidojas arī damaksnī *(Hylocomiosa)* – 19.6±1.47 m^3 ha^{-1}, kas būtiski atšķiras no atmirušās koksnes krājas pārējos sausieņu mežu tipos. Mētrājā *(Vacciniosa)* un lānā *(Myrtillosa)* atmirušās koksnes krāja attiecīgi ir 8.0±0.80 m^3 ha^{-1} un 9.8±1.03 m^3 ha^{-1}. Nedaudz lielāka atmirušās koksnes krāja konstatēta slapjajā mētrājā *(Vaccinioso-sphagnosa)*, niedrājā *(Caricoso-phragmitosa)*, mētru ārenī *(Vacciniosa mel.)*, kā arī mētru kūdrenī *(Vacciniosa turf. mel.)* – attiecīgi 12.4±1.34 m^3 ha^{-1}, 11.5±1.60 m^3 ha^{-1}, 12.0±1.82 m^3 ha^{-1} un 12.7±1.36 m^3 ha^{-1}. Taču atšķirības starp atmiruma apjomu šajos meža tipos būtiskuma līmenī α=0.05 nav būtiskas.

Kopumā analizētās audzes attiecībā uz atmirušās koksnes krājas lielumu var iedalīt trīs grupās (3. att.): priežu audzes oligotrofajās ekosistēmās ar nelielu atmirušās koksnes krāju (viršu kūdrenis, purvājs, sils), priežu audzes oligo-mezotrofajās ekosistēmās ar vidēji lielu atmirušās koksnes krāju (mētrājs, lāns, slapjais mētrājs, niedrājs, mētru ārenis un mētru kūdrenis) un priežu audzes mezo-eitrofajās ekosistēmās ar lielu atmirušās koksnes krāju (damaksnis, slapjais damaksnis, šaurlapju ārenis un šaurlapju kūdrenis). Grupu ietvaros atšķirības nav būtiskas, bet starp grupām – ir. Tātad līdz ar augsnes auglības un audžu ražības palielināšanos vērojama arī atmirušās koksnes krājas palielināšanās, ko uzskatāmi parāda arī atmirušās koksnes krājas sadalījums pa bonitātes klasēm (4. att.).



4. att. Priežu audžu atmirums bonitātes klasēs (vidējās vērtības, m^3 ha^{-1}, un 2 standartkļūdas).
Fig. 4. Deadwood volume differences of pine stands among locality classes (mean values, m^3 ha^{-1}, and 2 standard errors).



5. att. Relatīvais atmirušās koksnes krājas sadalījums, %, pa atmiruma grupām un meža tipiem.
Fig. 5. Relative distribution of deadwood volume, %, among types of deadwood and forest types.

Vislielākā atmirušās koksnes krāja vērojama Ia un I bonitātes priežu audzēs – attiecīgi 17.9±1.54 ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) m^3 ha^{-1} un 18.7±1.31 m^3 ha^{-1}, kas būtiski atšķiras no atmirušās koksnes krājas pārējās bonitātes klasēs, izņemot tikai II bonitātes priežu audzes, kur atmirušās koksnes lielums vidēji ir 14.1±0.90 m^3 ha^{-1}. Savukārt vismazākā atmirušās koksnes krāja konstatēta Va un V bonitātes priežu audzēs – vidēji attiecīgi 3.7±0.71 m^3 ha^{-1} un 6.5±1.09 m^3 ha^{-1}. Trešās un ceturtās bonitātes priežu audzēs atmirušās koksnes krāja vidēji veido 11.4±0.97 m^3 ha^{-1} un 9.6±1.08 m^3 ha^{-1}.

Atmiruma struktūras analīze rāda, ka salīdzinājumā ar citiem meža tipiem silā un purvājā ir lielāks sausokņu krājas īpatsvars – attiecīgi 45.9% un 47.2% no kopējā atmiruma, bet mazāks kritalu īpatsvars – attiecīgi 34.6% un 26.9% no kopējā atmiruma (5. att.). Lielāks sausokņu krājas īpatsvars (43.7 % no kopējā atmiruma) vērojams arī viršu kūdrenī, kas izveidojas pēc purvāju un priedēm apaugušu augsto purvu nosusināšanas.

Purvājā lielāks sausokņu krājas īpatsvars daļēji izskaidrojams ar to, ka koku augstums šajā meža tipā ir salīdzinoši neliels un koki ir mazāk pakļauti vēja ietekmei (vējgāzēm, vējlauzēm), kuru rezultātā mežos parasti veidojas samērā liels daudzums kritalu un stumbeņu. Arī koku gadskārtas purvājā ir šaurākas, koksne blīvāka un mehāniski izturīgāka, līdz ar to dabiski atmiruši koki ilgāk saglabājas stāvošu nokaltušu koku veidā un to sadalīšanās, salīdzinot ar guļošiem kokiem, ir lēnāka. Dabiskos, cilvēka neskartos pāraugušos priežu mežos šādu atmirušu stāvošu koku saglabāšanās vecums sasniedz pat 100 un vairāk gadu (Siitonen, 2001).

Silā lielāks sausokņu krājas īpatsvars varētu būt izskaidrojams ar to, ka šī ir viena no nabadzīgākajām un jutīgākajām sausieņu mežu ekosistēmām, kur koku aktīvā sakņu sistēma koncentrēta galvenokārt augsnes augšējos horizontos, kas sausākās vasarās var iekalst. Sausās vasarās silā ir ļoti augsta ugunsbīstamība, tādēļ iespējams, ka kritalas tiek regulāri izvāktas.

Slapjajos un nosusinātajos mežos līdz ar augsnes auglības palielināšanos kopējā atmiruma struktūrā palielinās arī kritalu krājas īpatsvars, kas ir visaugstākais slapjajā damaksnī un šaurlapju kūdrenī – attiecīgi 55.5% un 56.4%. Savukārt sausieņu mežos atšķirības starp atsevišķiem meža tipiem, izņemot silu, ir ļoti niecīgas, un kritalu īpatsvars atmiruma struktūrā veido 52.6–53.4%.

Auglīgākajos priežu mežos lielāks kritalu krājas īpatsvars varētu būt izskaidrojams ar citu sugu piemistrojumu kokaudzē un to īpatsvaru kopējā atmiruma krājā, jo, kā liecina pētījumi, kas veikti 35–130 gadu vecās neapsaimniekotās Lietuvas mežaudzēs (Vasiliauskas, Vasiliauskas et al., 2004), atmiruma struktūra (atmirušu stāvošu, lauztu un izgāztu koku īpatsvars) starp koku sugām var ievērojami atšķirties. Vienas sugas ietvaros atmiruma struktūra var mainīties atkarībā no edafiskajiem apstākļiem un audzes vecuma. Minētajos pētījumos konstatēts, ka parastās priedes atmiruma struktūrā galvenokārt dominē atmiruši stāvoši koki un vēja izgāztu koku īpatsvars ir pavisam neliels. Savukārt parastās egles *(Picea abies* (L.) Karst.), apses *(Populus tremula* L.), āra un purva bērza *(Betula pendula* Roth un *Betula pubescens* Ehrh.) atmiruma struktūrā dabiski atmirušu stāvošu koku īpatsvars ir ievērojami mazāks, toties lielāks ir vēja izgāztu un lauztu koku īpatsvars.

Secinājumi

1. Meža tipu edafiskajām rindām ir būtiska ietekme uz atmiruma apjomu priežu mežos. Nozīmīgas atmirušās koksnes krājas atšķirības priežu audzēs vērojamas starp purvaiņiem un pārējiem augšanas apstākļu tipiem.
2. Palielinoties augsnes auglībai un audžu ražībai priežu mežos, palielinās arī atmirušās koksnes krāja. Vismazākā atmirušās koksnes krāja ir oligotrofajos priežu mežos (viršu kūdrenī, purvājā un silā – attiecīgi 1.9±0.81 m^3 ha^{-1}, 5.1±0.64 m^3 ha^{-1} un 5.3±1.24 m^3 ha^{-1}), bet vislielākā – mezo-eitrofajos priežu mežos (damaksnī – 19.6±1.47 m^3 ha^{-1}, slapjajā damaksnī – 25.0±3.88 m^3 ha^{-1}, šaurlapju ārenī – 21.6±2.16 m^3 ha^{-1} un šaurlapju kūdrenī – 20.8±1.87 m^3 ha^{-1}.
3. Atmiruma struktūras ziņā visatšķirīgākās priežu audzes ir purvājā un silā, kur salīdzinājumā ar citiem meža tipiem atmirušās koksnes kopējā krājā lielāks īpatsvars ir sausokņu krājai, bet mazāks – kritalu krājai.

Literatūra

1. Bušs, K. (1981) *Meža ekoloģija un tipoloģija*. Rīga, Zinātne, 68 lpp.
2. Franklin, J.F., Shugart, H.H., Harmon, M.E. (1987) Tree death as an ecological process: the causes, consequences and variability of tree mortality. *BioScience,* Vol. 37, No. 8, 550–556.
3. Hahn, K., Christensen, M. (2004) Dead wood in European forest reserves – a reference for forest management. *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe – from ideas to operationality. EFI proceedings*, No. 51. Ed. M. Marchetti. European Forest Institute, 181–191.
4. *Latvijas PSR Mežsaimniecības un mežrūpniecības ministrijas nozares automatizētās vadības sistēmas apakšsistēmas „Meža resursu inventarizācija, kontrole un plānošana" normatīvi.* (1984) LPSR Mežsaimniecības un mežrūpniecības ministrija, Latvijas mežierīcības uzņēmums, 95 lpp.
5. Liepa, I. (2008) Latvijas skujkoku mežu krājas pieaugums. *LLU Raksti,* 20(135), 46–52.
6. Lībiete, Z. (2006) *Pētījums par priedes, bērza un egles audžu ražības un stumbra kvalitātes reģionālajām atšķirībām Latvijā uz meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu bāzes*. Zemkopības ministrijas Meža attīstības fonda pasūtīta pētījuma pārskats, LVMI „Silava", 45 lpp.
7. Lībiete, Z., Jansons, J., Zālītis, T. (2009) Latvijas skujkoku audžu vecumstruktūra un ražība. *Mežzinātne*, 19(52), 28–48.
8. *Meža enciklopēdija*. (2003) 1. sējums, red. J. Broks. Rīga, Zelta Grauds, 367 lpp.
9. Meža platība. (2009) Latvijas Republikas Zemkopības ministrija: http://www.zm.gov.lv/doc_upl/meza_platiba.pdf – Resurss aprakstīts 2010. gada 15. novembrī.
10. Noteikumi par koku ciršanu meža zemēs. (2006) LR MK noteikumi Nr. 892: http://www.vmd.gov.lv/doc_upl/892.pdf – Resurss aprakstīts 2010. gada 15. novembrī.
11. Paura, L., Arhipova, I. (2002) *Neparametriskas metodes. SPSS datorprogramma*. Mācību līdzeklis. Jelgava, LKKC, 148 lpp.
12. Priedītis, N. (1999) *Latvijas mežs: daba un daudzveidība*. Rīga, Pasaules Dabas fonds, 209 lpp.
13. Roundeux, J., Sanchez, Ch. (2010) Review of indicators and field methods for monitoring biodiversity within national forest inventories. Core variable: Deadwood. *Environmental Monitoring and Asseessment,* Vol. 164, No. 1–4, 617–630: http://www.springerlink.com/content/3mt25l2305u35g38/ – Resurss aprakstīts 2010. gada 15. novembrī.
14. Schuck, A., Meyer, P., Menke, N., Lier, M., Lindner, M. (2004) Forest biodiversity indicator: dead wood – a proposed approach towards operationalising the MCPFE indicator. *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe – from ideas to operationality. EFI*

proceedings, No. 51. Ed. M. Marchetti. European Forest Institute, 49–77.
15. Siitonen, J. (2001) Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological bulletins,* 49, 11–41.
16. Vasiliauskas, R., Vasiliauskas, A., Stenlid, J., Matelis, A. (2004) Dead trees and protected polypores in unmanaged north-temperate forest stands of Lithuania. *Forest ecology and management,* 193, 355–370.
17. Woodall, C.W., Heath, L.S., Smith, J.E. (2008) National inventories of down and dead woody material forest carbon stocks in the United States: challenges and opportunities. *Forest ecology and management,* 256, 221–228.
18. Woodall, C.W., Roundeux, J., Verkerk, P.J., Ståhl, G. (2009) Estimating dead wood during National Forest Inventories: a review of inventory methodologies and suggestions for harmonization. *Environmental Management,* 44, 624–631.
19. *Нормативы для таксации леса Латвийской ССР.* (1988) Редактор Я.К. Матузанис. Рига, 176 с.

Mathematical Model for Using Soil Heat with Thermal Pumps
Matemātiskais modelis zemes virskārtas siltuma izmantošanai ar siltuma sūkņiem

Uldis Iljins
Department of Physics, LLU
LLU Fizikas katedra
e-mail: Uldis.Iljins@llu.lv
Guntis Andersons
Department of Structural Engineering, LLU
LLU Būvkonstrukciju katedra
e-mail: Guntis.Andersons@llu.lv
Juris Skujāns
Department of Architecture and Building, LLU
LLU Arhitektūras un būvniecības katedra
e-mail: Juris.Skujans@llu.lv

Abstract. Use of soil thermal energy in systems with thermal pumps is important during cold winters when the heat extracted from soil is insufficient, as well as when alternative thermal energy sources should be used for a shorter time. The amount of heat extracted from soil depends on several factors, e.g., cold carrier's technical parameters, the depth at which the cold carrier pipes are placed in soil as well as the distance between them, composition of soil, and average monthly air temperature during the building heating period. Thermal amount which is necessary for the building heating is influenced by geometrical parameters of a building, air temperature in rooms, as well as building technical parameters which are estimated by heat loss during the heating period. A computer program mathematical model of the thermal pumps' system is developed and analyzed in the paper. When planning the heating system, the mathematical model provides a possibility of calculating the distance between cold bearers (which is one of the main thermal pumps' construction parameters) with certain reserve. The developed mathematical model can be applied for any outdoor air temperature and soil thermophysical parameters which are considered when modifying the approximate coefficients. With the help of the computer system it is possible to analyze the already established thermal pump systems and to predict their efficiency – to determine the object's provision with thermal energy during the building heating season, to evaluate additional functions for the system, etc.
Key words: thermal pumps, soil**,** mathematical model, cold carriers.

Introduction

Because of the lack of traditional energy sources and increased environment pollution, energy saving is becoming more and more popular. To economically use traditional energy sources, as well as to acquire and utilize more extensively the alternative energy sources, application of modern technologies is increasing throughout the world. The most commonly used environment-friendly alternative energy sources are wind, sun, soil, and water. In Latvia, use of thermal pumps is expanding as they allow utilization of one of the alternative energy sources – solar heat accumulated in soil, water, air – with minimal electrical energy consumption.

The heat accumulated in soil upper or deeper layers can be used by installing boreholes in the soil (Blumberga, 2008). Under Latvia's climatic conditions, the soil upper level is rarely freezing deeper than 1.2–1.5 m.

Soil heat is usually used for building heating and water heating. The thermal pump heating system consists of three parts: surface collectors for extracting the heat from soil, a thermal pump for concentrating and shifting the external environment

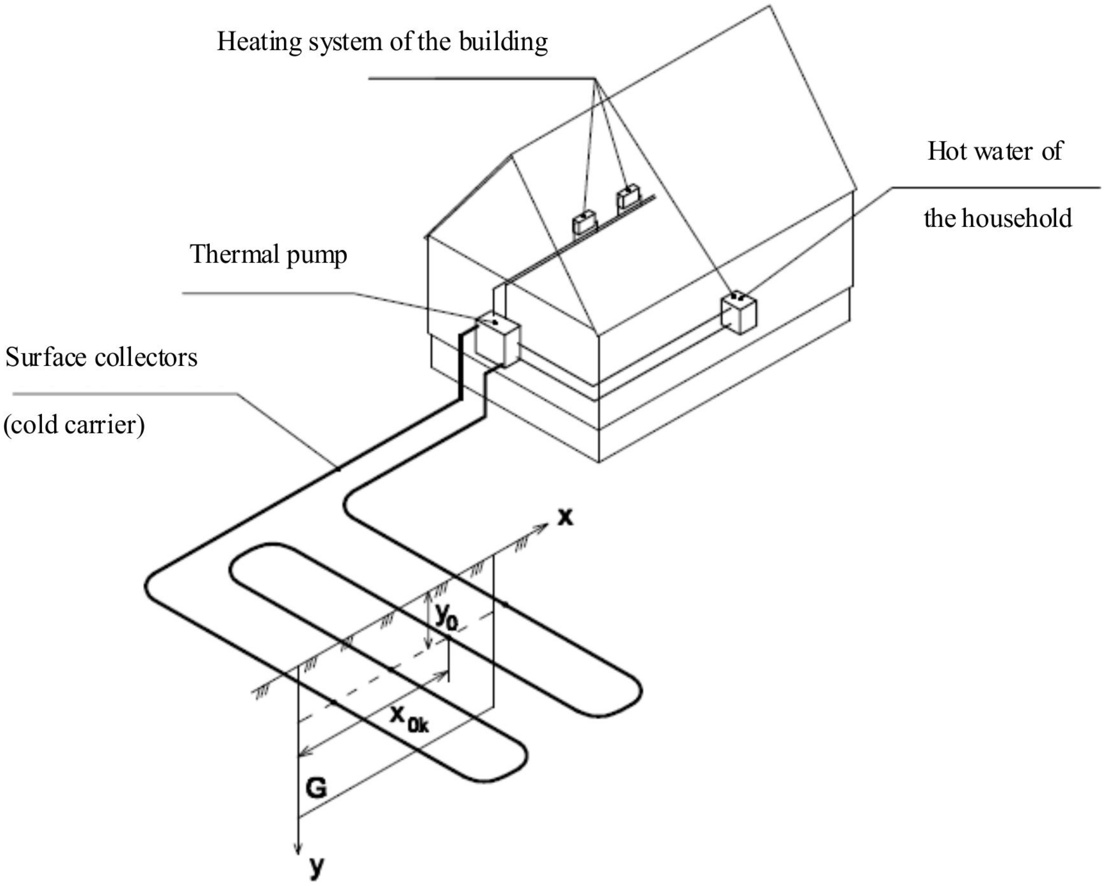


Fig. 1. The scheme of using soil surface heat for the building heating (Fakti par ..., 1997).

heat intended for heating of the building and water, and internal building heating systems (Fig. 1) (Fakti par ..., 1997).

For the building heating systems which use heat accumulated in the upper soil level, the cold carrier usually is made from polyethylene pipes.

The amount of heat extracted from soil and the power of heating system are influenced by the cold carriers' parameters (material of pipes, thickness, internal diameter), depth and distance between the pipes, soil texture (clayey, sandy, etc.), soil moisture, and soil freezing depth. When designing the building heating systems, it is very important to evaluate these parameters in order to provide minimal additional heating for the building heating system during the cold winter months. If there are mistakes in the process of engineering the heating system, system defects and even system work breaks during the heating season are possible. Mathematical modelling is widely used in the world (Blumberga, 2008; Hectors, van Reusel, Driesen, 2008; Cepite, Jakovičs, Halbedel, 2008; PrzyŁucki, 2008; Kuvaldin, Lepeshkin, 2008) for solving technical issues in various sciences.

The purpose of the research was to develop a mathematical model which would include the above-mentioned parameters, climatic conditions, different soil types, and building heating loss, which influences the heating system operation. By means of the developed mathematical model, the necessary distance between cold carriers can be determined.

Materials and Methods

A theorem in mathematics has been proven that for a correctly formulated mathematical physics problem (in our case it consists of equation (1), beginning condition (5), and boundary conditions (2-4)) there is only one solution – formulas (14–16). The problem solution scheme is well known and relatively large therefore, in this paper, it is not reflected fully but only to the extent that specialists in this field could develop a solution (14–16). For demonstration purposes the paper presents two cities, Dobele and Daugavpils, with different climatic conditions and two types of soil (sandy loam and loamy sand), polyethylene cold carrier

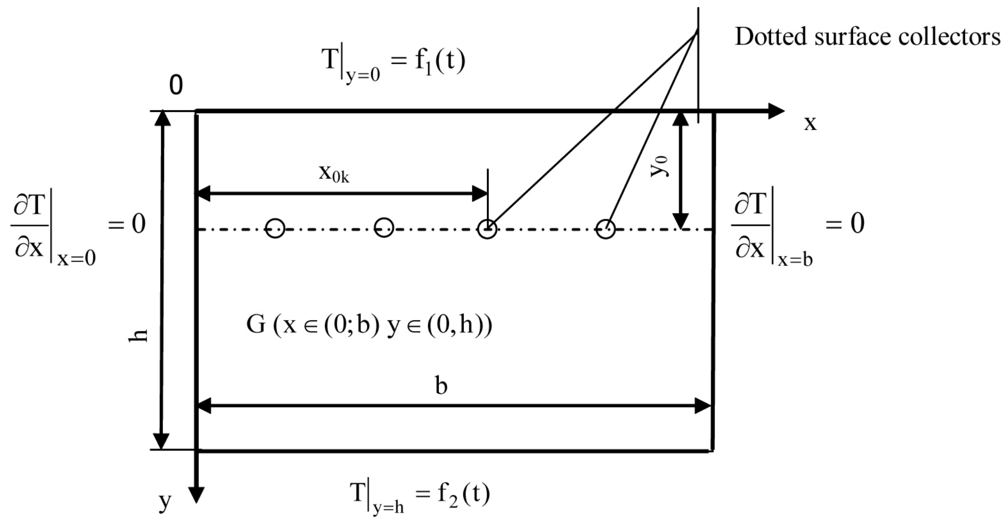


Fig. 2. The scheme of the mathematical problem for the building heating using thermal pumps.

pipes with internal diameter of 40 mm, built at the depth of 1.2 m, distance between the pipes – 1.5 m. Also other values are used.

It can be assumed that in a definite soil area G ($x \in (0;b)\ y \in (0,h)$) (Figs 1 and 2) there are installed cold carriers that serve as heat energy transformers for the building heating.

In order to calculate temperature division in soil, which in the plane xy (Figure 2) is presented as dotted cold carriers, a mathematical physics problem can be formulated. It consists of:

– non-stationary heat conduct equation:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\Delta T + \frac{a}{\lambda} q(t) \sum_{k=1}^{N} \delta\,(x - x_{0k}; y - y_0)\,, \tag{1}$$

where

T – temperature, °C;
t – time, s;
λ – soil thermal conductivity coefficient, W m^{-1} K^{-1};
$a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – temperature conduct coefficient, m^2 s^{-1} (c – soil specific thermal capacity, J kg^{-1} K^{-1}; ρ – soil density, kg m^{-3});
$\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – Laplace operator (x, y – coordinates);
q(t) – cold carriers' intensity (rate), W m^{-1};
$\delta(x-x_{0k}; y-y_0)$ – cold carriers' delta function (describes dotted coordinates x_{0k} and y_0 of cold carriers), m^{-2};
N – number of cold carriers in soil;

– boundary conditions in the direction of x axis (heat does not move in the direction of x axis at area limits x=0 un x=b):

$$\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=b} = 0\,, \tag{2}$$

where

b – area latitude, m;

Table 1

Approximation coefficients of functions $f_1(t)$ and $f_2(t)$

Location	Coefficient a_i values for function $f_1(t)$			Coefficient b_i values for function $f_2(t)$		
	1	2	3	1	2	3
Dobele (sandy loam)	0.0014	-0.2666	7.1821	0.00009	-0.0465	10.410
Daugavpils (loamy sand)	0.0015	-0.2760	6.3384	0.00020	-0.0660	11.118

– boundary conditions in the direction of y axis:

$$T\big|_{y=0} = f_1(t), \tag{3}$$

which defines temperature change on soil upper level during the heating period:

$$T\big|_{y=h} = f_2(t), \tag{4}$$

which defines temperature changes in soil depth (h) during the heating period;

– beginning condition:

$$T\big|_{t=0} = F(0,y), \tag{5}$$

where function F(0,y) defines temperature division in the defined soil area G($x \in (0;b)$ $y \in (0,h)$) during time t=0 (Figure 2).

Functions $f_1(t)$ and $f_2(t)$ of the expressions (3 and 4) describe the average temperature change during the heating season, which close to the experimental measures (Справочник …, 1965) can be approximated by polynomials:

$$f_1(t) = a_1 t^2 + a_2 t + a_3, \tag{6}$$

$$f_2(t) = b_1 t^2 + b_2 t + b_3. \tag{7}$$

Coefficients a_i and b_i of the expressions (6 and 7) can be developed by the smallest quadrate method, which, for example, for the Dobele sandy loam soil and the Daugavpils loamy sand soil are presented in Table 1 (time periods were measured in days, the heating season started on October 15).

Figures 3 and 4 present the experimentally defined (Справочник …, 1965) average monthly temperature and its approximation functions $f_1(t)$ and $f_2(t)$.

In a sufficient depth, where annual temperature does not change, the geometrical gradient exists from 0.01 to 0.037 K m^{-1} (Pandalons, Iljins, 2001), which at a sufficient value (λ=1.5 W m^{-1} K^{-1}) of soil thermal conductivity produces heat flow of 0.015–0.055 W m^{-2}, which, in its turn, is very little and may not be taken into account regarding the building heating. As the function's $f_2(t)$ derivation according to y is proportional to the geometrical gradient, the function's $f_2(t)$ derivation according to y should be zero (0), which means that at the soil area where cold carriers are installed, heat from deeper soil layers is not supplied.

The mathematical physics problem (1–5) is solved using the popular method of variables separation. The scheme of the method is well known and described in mathematics textbooks. The scheme extension is relatively long and consists of lines of various integrals' calculations and long algebraic transformations, therefore all mathematical transformations are not presented. All necessary formulas are presented for a reader to calculate a solution.

Attention has to be drawn to the function F(t, x, y) (5). This formula has to be presented in a simple form, but maximum close to the actual soil temperature division. As there is no foundation to consider that at the start moment t=0 temperature division exists on x axis, it is presumed that function F does not depend on x. The function's F dependence on y can be developed differently. One of the

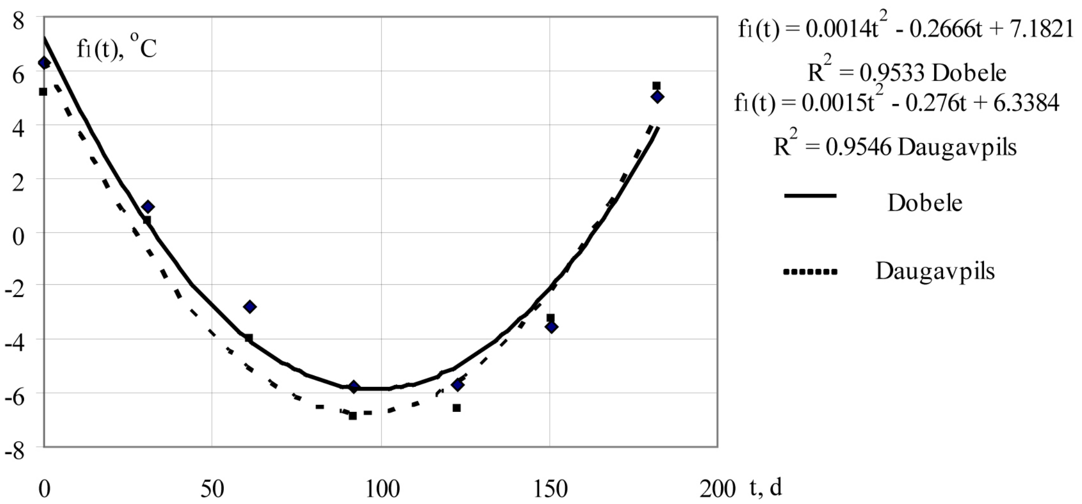


Fig. 3. Changes in the monthly average temperature $f_1(t)$ during the heating season (starting on October 15) in the soil upper level (y=0) in Dobele (sandy loam) and Daugavpils (loamy sand).

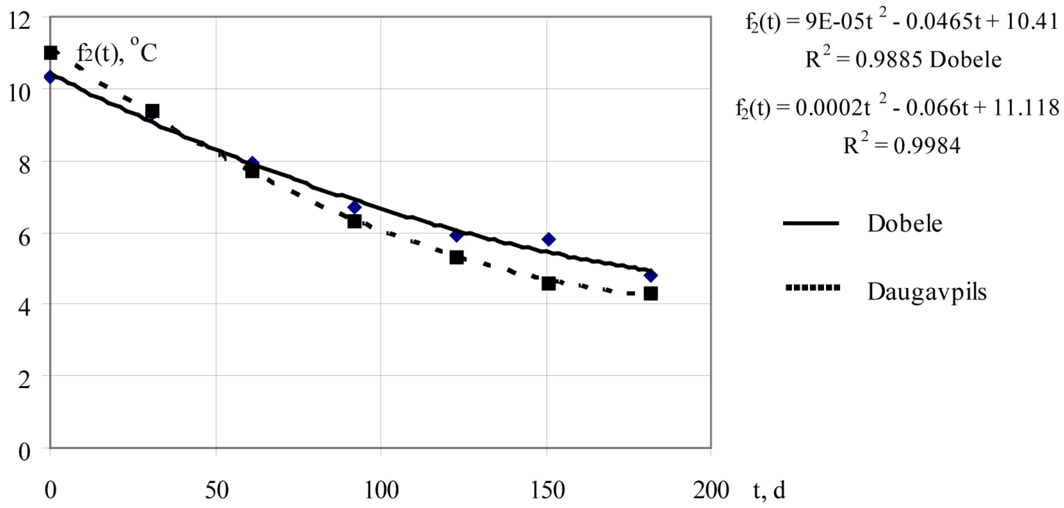


Fig. 4. Changes in the monthly average temperature in soil $f_2(t)$ during the heating season (starting on October 15), y=h=3.2 m, in Dobele (sandy loam) and Daugavpils (loamy sand).

possibilities described by the authors is to construct the function F as a linear combination of the functions $f_1(t)$ and $f_2(t)$. However, the obtained data varied significantly from the temperature division data on y coordinate found in the literature (Справочник …, 1965). Therefore the authors chose quadrate function's F dependence on y:

$$F(t;y) = f_1(t) + 2\left[f_2(t) - f_1(t)\right]\cdot\frac{y}{h} - \left[f_2(t) - f_1(t)\right]\cdot\frac{y^2}{h^2}, \qquad (8)$$

which corresponds to the literature (Справочник …, 1965) data. At the same time, function F has to satisfy certain limits which are discussed further in the text.

Compliance of the beginning condition (5), given by formula (8) at t=0 F(0, y), with experimental data is shown in Figure 5.

The basic idea of the variables separation method is to find the problem (1–5) solution as an infinite-line sum, where each line member is a multiplication of three functions; moreover, each of these three functions is only a function for a single argument function. Construction of a solution is possible only if problem limits (2–4) are homogeneous. The limit (2) is homogeneous, but limits (3, 4) are not homogeneous. Thus, the solution by substitution

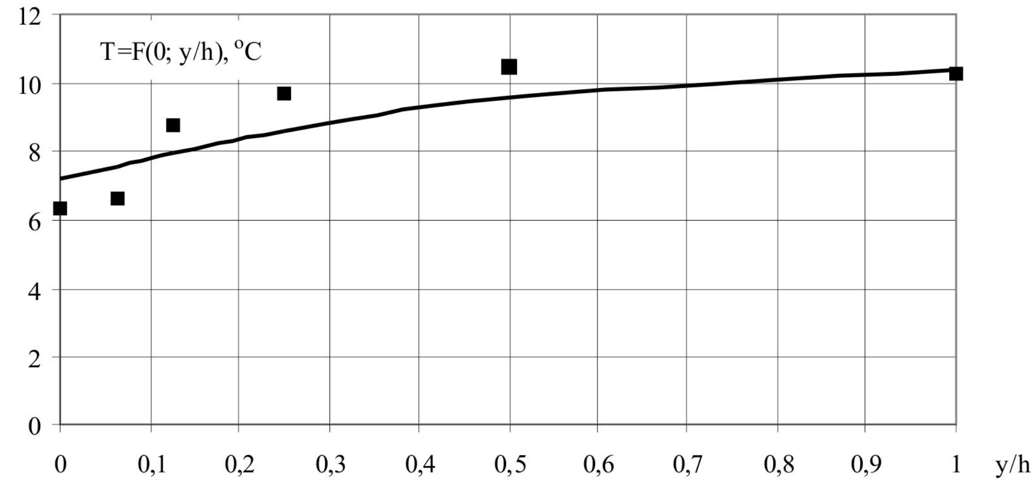


Fig. 5. Dependence of the function F(0, y/h) on the relative depth y/h at the beginning of the heating season, October 15, in Dobele.

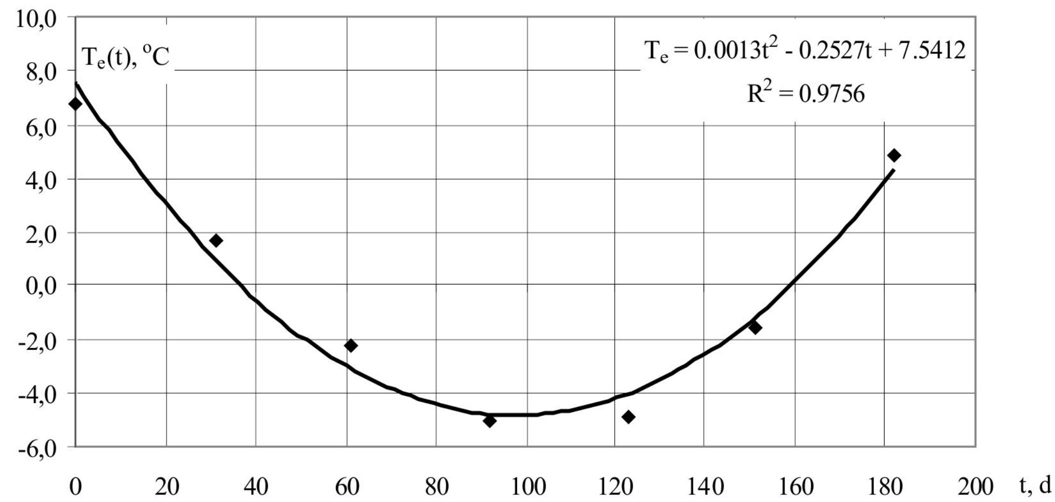


Fig. 6. Changes in the average monthly air temperature $T_e(t)$ in the heating season, starting on October 15, in Dobele.

$$T(t, x, y) = F(t, x, y) + U(t, x, y), \tag{9}$$

is divided into two parts. If the function F satisfies the limits, the function's U homogeneous limits remain. As it is seen, the authors' constructed function (8) does not contain coordinate x, and function's F(t, y) limits (2–4) are satisfied. Thus, function's U limits are homogeneous.

The second function which should be found is the necessary intensity q(t) of cold carriers' dependence on time. This can be developed presuming that cold carriers' intensity is proportional to the monthly average temperature difference in the inside and outside air. Using (Справочник …, 1965), data of an average monthly temperature change during the heating season in the Dobele area is developed (Fig. 6). This dependence can be quite precisely approximated by a polynomial:

$$T_e(t) = pt^2 + rt + q, \tag{10}$$

where coefficients p=0.0013 K d^{-2}, r=-0.2527 K d^{-1}, and q=7.5412 K are obtained by the smallest quadrate method (time (t) is calculated in days, starting on October 15).

Latvian building standards (Latvijas būvnormatīvs ..., 2001) present values of the coefficient h_A in dwelling houses, retirement homes, hospitals, and kindergartens. The normative heat loss coefficient H_{TR} for those buildings can be determined according to formula:

$$H_{TR} = h_A A, \tag{11}$$

where

- h_A – specific heat loss coefficient of a building's one-square meter floor area (h_A values for one-, two-, three-, four- and more storey buildings are, respectively, 1.05, 0.8, 0.7, and 0.6 W m^{-2} K^{-1}) (Latvijas būvnormatīvs ..., 2001);
- A – sum of floor area at all building stories, m^2.

Then the cold carriers' intensity q(t) can be found using formula:

$$q(t) = \frac{N(t)}{L} = \frac{H_{TR}}{L}(T_i - T_e(t)), \tag{12}$$

where

- N(t) – total heating capacity used, depending on time, W;
- L – cold carriers' total length, m;
- T_i – internal temperature of a building, °C.

Considering formulas (10) and (11), the expression (12) can be rewritten in the following form:

$$q(t) = c_1 t^2 + c_2 t + c_3, \tag{13}$$

where

$$c_1 = \frac{h_A A}{L} p;$$

$$c_2 = \frac{h_A A}{L} r;$$

$$c_3 = \frac{h_A A}{L}(T_i - q).$$

For example, considering values T_i=20 °C, A=274 m^2, L=600 m, and h_A=0.8 W m^{-2} K^{-1}, the following coefficients are obtained: c_1=-0.0004749 W m^{-1} d^{-2}, c_2=0.09233 W m^{-1} d^{-1}, and c_3=4.5516 W m^{-1}.

Results

By solving problems (1-13) of mathematical physics by the method of separation of variables, a solution as an infinite line sum is obtained:

$$T(t,x,y) = T(t,y) + U(t,x,y), \tag{14}$$

where the expression's (14) first member does not contain coordinate x. The expression's (14) first member is calculated by summing the variable index j:

$$T(t,y) = F(t,y) + \sum_{j=1}^{\infty}\left(D_j(1-\exp(-a\eta_j^2 t) + E_j t + F_j t^2\right)\sin\eta_j y. \tag{15}$$

The function F(t,y) is presented by expression (8), but coefficients F_j, E_j, D_j can be solved using formulas:

$$F_j = \frac{\gamma_j}{\eta_j^2 a},\quad E_j = \frac{1}{\eta_j^2 a}\left(\beta_j - \frac{2\gamma_j}{\eta_j^2 a}\right),\ \text{and}\quad D_j = \frac{1}{\eta_j^2 a}\left(\alpha_j - \frac{1}{\eta_j^2 a}\left(\beta_j - \frac{2\gamma_j}{\eta_j^2 a}\right)\right),$$

where

$$\eta_j = \frac{\pi j}{h};$$

$$\alpha_j = \frac{b_2 - a_2}{h^2} e_j - \frac{2(b_2 - a_2)}{h} d_j - \frac{2a}{h^2}(b_3 - a_3)c_j, \quad \text{where} \quad c_j = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1 - \cos \pi j}{j}; \quad d_j = (-1)^{j+1} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{h}{j};$$

$$e_j = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{h^2}{j} \left((-1)^j + \frac{2}{\pi^2} \cdot \frac{1 - \cos \pi j}{j^2} \right);$$

numerical values of coefficients a_{1-3} and b_{1-3} are presented in Table 1;

$$\beta_j = \frac{2(b_1 - a_1)}{h^2} e_j - \frac{4(b_1 - a_1)}{h} d_j - \left(2a_1 + \frac{2a}{h^2}(b_2 - a_2) \right) c_j;$$

$$\gamma_j = -\frac{2a}{h^2}(b_1 - a_1)c_j.$$

The function U in expression (14) is a double sum of variables i and j:

$$U(t, x, y) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \left(Q_{ij}(1 - \exp(-a\mu_{ij}^2 t)) + R_{ij} t + P_{ij} t^2 \right) \cos \zeta_i x \cdot \sin \eta_j y, \tag{16}$$

where

$$\zeta_i = \frac{\pi i}{b};$$

$$\mu_{ij}^2 = \zeta_i^2 + \eta_j^2 = \left(\frac{\pi i}{b} \right)^2 + \left(\frac{\pi j}{h} \right)^2;$$

$$P_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{a\mu_{ij}^2};$$

$$\alpha_{ij} = \frac{4ac_1 \sin \eta_j y_0}{\lambda hb} \sum_{k=1}^{N} \cos \zeta_i x_{0k};$$

$$R_{ij} = \frac{\beta_{ij} - 2P_{ij}}{a\mu_{ij}^2};$$

$$\beta_{ij} = \frac{4ac_2 \sin \eta_j y_0}{\lambda hb} \sum_{k=1}^{N} \cos \zeta_i x_{0k};$$

$$Q_{ij} = \frac{\gamma_{ij} - R_{ij}}{a\mu_{ij}^2};$$

$$\gamma_{ij} = \frac{4ac_3 \sin \eta_j y_0}{\lambda hb} \sum_{k=1}^{N} \cos \zeta_i x_{0k};$$

N – number of cold carriers in area G;
x_{0k}, y_0 – cold carriers' coordinates, m;
c_1, c_2, c_3 – are taken from expression (13).

Figure 7 shows temperature division in soil (h_A=0.8 W m^{-2} K^{-1}, A=274 m^2), which is calculated by using formulas (15) and (16). In Fig. 7A, temperature on the cold carriers' surface is identical (the lowest temperature is -4.1 °C), except on the cold carriers on either side of the graph, where the temperature is higher. Fig. 7B demonstrates that with the decrease of the distance between the cold carriers, decreases also the temperature on their surface (first group – -5.5 °C, second group – -4.6 °C, third group – -3.9 °C).

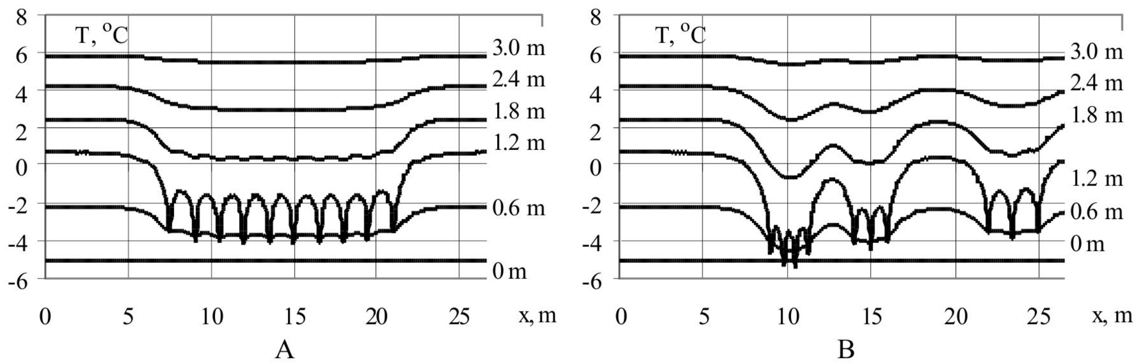


Fig. 7. Examples of temperature division at various soil depths y (h_A=0.8 W m^{-2} K^{-1}), depending on the placement of cold carriers:
A – cold carriers placed at an equal distance of 1.5 m; B – three groups of cold carriers placed at different distances (in the graph – from the left): 1st group – at the distance of 0.75 m (4 cold carriers); 2nd group – at the distance of 1 m (3 cold carriers); 3rd group – at the distance of 1.5 m (3 cold carriers).

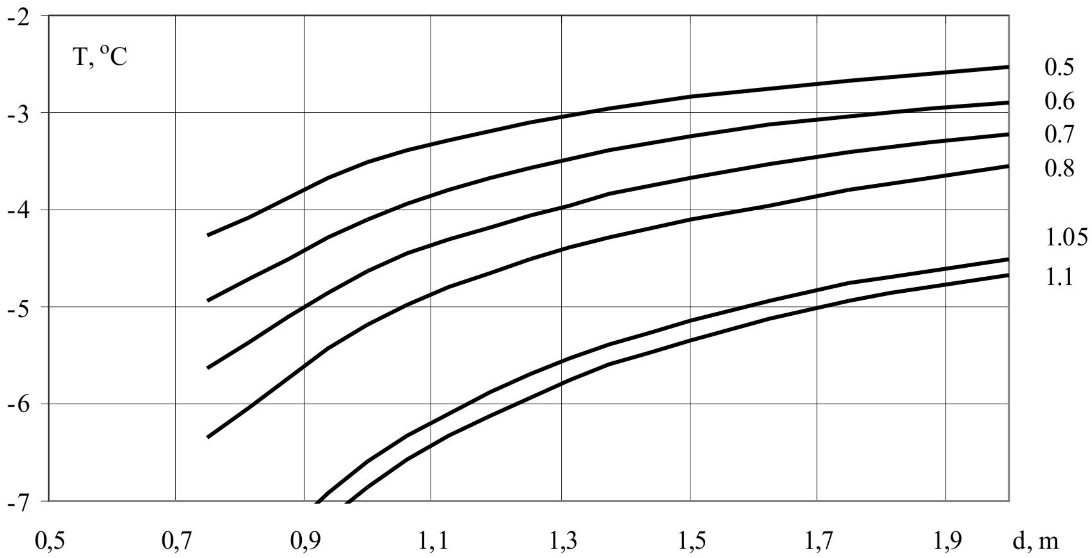


Fig. 8. The temperature on the cold carriers' surface, t=112 d (days), starting from the beginning of the heating season (October 15), depending on the distance between the cold carriers (d), for different building specific heat loss coefficients, h_A=0.5-1.1 W m^{-2} K^{-1}, at cold carrier's diameter of 40 mm and installation depth y_0=1.2 m.

Since constructively it is not allowed that the temperature on cold carrier's surface is lower than -5 °C (Viesmann ..., 2006), it is necessary to develop a computer program which would analyze temperature division in soil according to the following algorithm. Firstly, the collectors' working time has to be chosen when the temperature on the cold carrier elements is the lowest. It could be 110–115 days (i.e., on February 2–7) beginning from the system's start-up on October 15. At this time, using formulas (15) and (16), a graph is developed according to the parameters of the building, soil, and climate (Fig. 8). For example, if h_A=0.8 W m^{-2} K^{-1}, A=274 m^2, y_0=1.2, the cold carrier's diameter is 40 mm, and the lowest temperature on the cold carrier's surface is -4 °C, then distance between the cold carriers has to be 1.6 m. Whereas, if the distance between the cold carriers is 1.0 m, the lowest temperature on the cold carriers' surface will be approximately -5.2 °C, which means that pauses in the system's operation might occur. The graph shows temperature on the average cold carriers' surface depending on distance (d) between them at different values of the building's specific heat loss coefficient h_A. The building heat loss coefficient can be determined by the building's heat usage in the previous years or by the building project energy audit. The minimal distance between cold carriers, demonstrated in Figure 8, is determined for engineering the thermal pump, which will allow to keep the temperature at the necessary temperature limit, i.e., at -5 °C .

Conclusions

1. The mathematical model with an appropriate computer programme, using a surface collector for extracting the soil heat, ensures the following benefits:
- designing of the soil heat usage systems (to determine parameters of systems) for heating of dwelling houses and water. The program is able to evaluate collectors of different diameter, depth, and distance;
- evaluation and analysis of various soil heat usage projects with particular parameters of thermal pumps, collectors (material, size, installation depth, distance between collectors, and total length), soil (soil type, moisture, density, etc.), as well as climatic conditions (air temperature) of the geographical area. For example, specification of the winter air temperature, at which the system will be able to heat the building, as well as prediction of the number of days, during which alternative heating sources will be used at a low air temperature;
- analogical analysis of the constructed soil heat usage systems, as well as determination of whether additional building or water heating systems can or cannot be connected.

2. The mathematical model and computer program can be changed for designing the building's heating systems, using vertical collectors, as well as collectors installed in an open-water facility.

References

1. Blumberga, D. (2008) *Siltuma sūkņi*. RTU, Rīga, 139 lpp.
2. Cepite, D., Jakovičs, A., Halbedel, B. (2008) Modelling the temperature homogeneity of the glass melt obtained by em action. *Przeglad Elektrotechniczny*, 84 (11), 165–169: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-57049168751&partnerID=40&md5=5121150a9c2075afe643e04a2f86be34 – Accessed on November 16, 2010.
3. Fakti par siltumsūkņiem un iekārtām. (1997) Zviedrijas Siltumsūkņu biedrība: http://www.divine.lv/fakti_siltumsukni.doc – Accessed on November 16, 2010.
4. Hectors, D., Van Reusel, K., Driesen, J. (2008) Experimental validation of electromagnetic-thermal coupled modelling of levitation melting. *Przeglad Elektrotechniczny*, 84 (11), 140–143: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-57049088084&partnerID=40&md5=681dd80fa010165cab22dd76c9814f60 – Accessed on November 16, 2010.
5. Kuvaldin, A., Lepeshkin, A. (2008) Mathematical modelling of induction hardening on view of thermal stresses. *Przeglad Elektrotechniczny*, 84 (11), 215–218: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-57049179635&partnerID=40&md5=f414ab242575b8c80e14031409e17e5d – Accessed on November 16, 2010.
6. Latvijas būvnormatīvs LBN 002-01. (2001) Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika. *Latvijas Vēstnesis*, Nr. 174.
7. Pandalons, V., Iljins, U. (2001) *Meteoroloģija*. II daļa. LLU, Jelgava, 174 lpp.
8. PrzyŁucki, R. (2008) Calculations of the induction heating system with the monitoring of thermal stress in the charge. *Przeglad Elektrotechniczny*, 84 (11), 210–214: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-57049119131&partnerID=40&md5=97ba9a3a92fb4cc747f9e2f0d0812c48 – Accessed on November 16, 2010.
9. Viesmann siltumsūkņu sistēmas. (2006) *Vitocal 300* / 350, Plānošanas instrukcija, 03/2006.
10. *Справочник по климату СССР*. (1965) Выпуск 5б. Латвийская ССР, часть 2. Температура воздуха и почвы. Гидрометеоиздат, Ленинград, 191 стр.

Anotācija

Zemes virskārtā akumulētās siltuma enerģijas izmantošanas sistēmās ar siltuma sūkņiem ir svarīgi, lai aukstās ziemās, kad no zemes iegūtais siltuma daudzums ir nepietiekams, ēkas apsildīšanai pēc iespējas īsāku laiku būtu jāizmanto alternatīvi siltuma enerģijas avoti. No zemes virskārtas iegūstamais siltuma daudzums ir atkarīgs no vairākiem faktoriem, piemēram, aukstuma nesēja tehniskajiem parametriem, aukstuma nesēja cauruļu novietošanas dziļuma zemē un to savstarpējā attāluma, grunts veida un mitruma, kā arī no apsildāmās ēkas āra gaisa mēnešu vidējās temperatūras ēkas apsildes periodā. Savukārt ēkas apsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu ietekmē apsildāmo telpu ģeometriskie parametri, telpās nodrošināmā gaisa temperatūra, kā arī ēkas tehniskie parametri, ko novērtē ar siltuma zudumiem apsildes periodā. Darbā izstrādāts un analizēts siltuma sūkņa sistēmas matemātiskais modelis ar datorprogrammu, kas sistēmas projektēšanas gaitā ievērtē iepriekšminētos faktorus. Matemātiskais modelis dod iespēju, projektējot apkures sistēmu, aprēķināt ar zināmu rezervi aukstuma nesēju savstarpējo attālumu, kas ir viens no galvenajiem siltuma sūkņa izbūves parametriem. Izveidotais matemātiskais modelis ir piemērojams jebkurām āra gaisa temperatūrām un jebkuriem grunts termofizikālajiem parametriem, kas tiek ievēroti, variējot attiecīgos aproksimācijas koeficientus. Ar datorprogrammas palīdzību iespējams analizēt arī jau ierīkotas siltuma sūkņu sistēmas un prognozēt to darbības efektivitāti – noteikt objekta nodrošinājumu ar siltuma enerģiju ēkas apsildes sezonā, novērtēt iespējas sistēmai uzticēt papildu funkcijas u.tml.

Makro- un mikroelementu saturs medū
Macro- and Trace Elements in Honey

Zane Vincēviča-Gaile
Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia
e-mail: Zane.Vincevica@gmail.com

Abstract. Bee honey is a well-known natural food commodity with very complex composition especially due to the great amount of such organic compounds as carbohydrates. Composition of honey is tightly dependent on the origin, both the botanical and geographical, and is influenced by natural factors as well as by anthropogenic factors. Therefore data derived by quantitative analysis of honey can be used for assessment of environmental impact. Analytical methods for macro- and trace element determination in honey are variable, mostly based on spectroscopy or mass spectrometry techniques (e.g. inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, atomic absorption spectrometry). This article embraces the available scientific information on honey macro- and trace element composition in several European countries. Thirty two chemical elements identified in honey samples are split into two groups: macroelements (Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Zn), and trace elements (Al, As, B, Ba, Br, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Hg, La, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U). Analytical data show that the ranges of amounts of individual chemical elements are variable and may depend on many factors including possible pollution sources. For monitoring reasons the greatest attention should be paid to the amounts of essential elements which are important for human health, and to the presence of possibly toxic elements in honey.

Key words: honey, trace elements, macroelements, quantitative analysis methods.

Ievads

Medus jau no seniem laikiem ir labi zināma vērtīga uztura sastāvdaļa, galvenokārt izmantojama kā salda piedeva vai cukura aizstājējs cilvēka ikdienas uzturā. Medu – dabisku produktu ar šķidru vai daļēji šķidru, viskozu konsistenci – ražo medus bites *(Apis mellifera)* gan no ziedu nektāra, iegūstot tā saukto nektāra medu, gan no sekrēta uz augu lapu virsmas, kas rodas augiem fizioloģisku procesu rezultātā vai ko rada augu sūcējkukaiņi, piemēram, *Metcalfa pruinosa*, iegūstot tā saukto medusrasas medu (Madejczyk, Baralkiewicz, 2008; Pisani, Protano et al., 2008; Golob, Dobersek et al., 2005). Pārtikā medus tiek lietots tiešā veidā bez pārstrādes, kā arī tiek izmantots par sastāvdaļu pārtikas rūpniecībā, lielākoties miltu izstrādājumu ražošanā cukura aizstāšanai, krāsas un garšas uzlabošanai, karamelizācijas un viskozitātes veicināšanai (Rashed, Soltan, 2004).

Medus ķīmiskais sastāvs ir sarežģīts un lielā mērā atkarīgs no bišu barības. Visbiežāk bišu barība ir dabisks ziedu nektārs, bet bites var tikt barotas arī ar mākslīgām piedevām, piemēram, ar cukura sīrupu, kas būtiski ietekmē medus kvalitāti (Rashed, Soltan, 2004). Kopumā medus var saturēt līdz pat 200 sastāvdaļām (Silva, Videira et al., 2009), no kurām galvenās ir monosaharīdi – glikoze un fruktoze – attiecīgi 25–45% un 25–37%, vai abas kopā – 65–75% no kopējā šķīstošo cieto vielu apjoma medū (Enrich, Boeykens et al., 2007). Tālāk seko maltoze (2–12%), saharoze (0.5–3%) un citi ogļhidrāti atkarībā no ziedu botāniskās izcelsmes, kā arī ūdens (15–20%) (Enrich, Boeykens et al., 2007; Ioannidou, Zachariadis et al., 2005). Turklāt medus satur olbaltumvielas, aminoskābes, fermentus, hormonus, organiskās skābes, vitamīnus, flavonoīdus, pigmentus, makroelementus, mikroelementus, kā arī ziedputekšņus un vaska daļiņas (Ajtony, Bencs et al., 2007; Golob, Dobersek et al., 2005).

Medus veidošanās procesu, ko veic bites, viennozīmīgi novērtēt ir ļoti sarežģīti. Zinot to, ka bites meklē barību, aplidojot aptuveni 7 km^2 lielu platību (Enrich, Boeykens et al., 2007; Ioannidou, Zachariadis et al., 2005; Buldini, Cavalli et al., 2001), nav iespējams ņemt vērā visus faktorus, kas varētu ietekmēt medus un arī citu bišu produktu ķīmisko sastāvu. Tomēr ģeogrāfisko īpatnību un vides faktoru ietekme ir pašsaprotama un tiek vērtēta kā būtiska daudzos pētījumos. Tādējādi medus analīžu datus var izmantot kā indikatīvus rādītājus vides apstākļu raksturošanai noteiktā teritorijā, kā arī, zinot konkrēta medus parauga sastāva īpatnības, var noteikt tā izcelsmi, īstumu un autentiskumu.

Medus sarežģītā ķīmiskā sastāva dēļ zinātniskajā literatūrā atrodami dati par dažādu analīzes metožu pielietošanu un pielāgošanu medus pētījumiem. Vispāratzītas un plaši pielietotas ir fizikāli ķīmiskās metodes, kas ietver pH un elektrovadītspējas noteikšanu, aminoskābju testus, ogļhidrātu profila noteikšanu un putekšņu olbaltumvielu atpazīšanu (Pisani, Protano, Riccobono, 2008; Downey, Hussey et al., 2005). Putekšņu analīze (melisopalinoloģija) ir vēsturiska un tradicionāla, gan kvalitatīva, gan kvantitatīva analīzes metode medus botāniskās izcelsmes noteikšanai, tomēr šis medus analīzes veids ir ļoti komplicēts un darbietilpīgs. Melisopalinoloģija ietver ziedputekšņu skaitīšanas procedūru, identificēšanu un interpretāciju, kas ir sarežģīts process un nav paveicams bez specifiskām zināšanām un pieredzes (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Fernández-Torres, Pérez-Bernal et al., 2005). Papildus iepriekš uzskaitītajām metodēm kā medus botāniskās un ģeogrāfiskās izcelsmes indikators var tikt pielietota medus sastāvā esošo ķīmisko elementu izpēte ar instrumentālām kvantitatīvām metodēm. Galvenās instrumentālo metožu grupas, kas piemērotas medus analīzei, ir masspektrometrija (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Bogdanov, Haldimann et al., 2007; Ioannidou, Zachariadis et al., 2005; Rashed, Soltan, 2004) un spektroskopija (Enrich, Boeykens et al., 2007; Fernández-Torres, Pérez-Bernal et al., 2005; Golob, Dobersek et al., 2005), kā arī abu metožu apvienojums (Madejczyk, Baralkiewicz, 2008; Pisani, Protano, Riccobono, 2008). Aprakstītas arī citas metodes, piemēram, jonu hromatogrāfija un voltamperometrija, kas tiek izmantotas medus analīzei ne tik plašā mērogā, kaut arī sniedz augstas kvalitātes analītiskos rezultātus (Buldini, Cavalli et al., 2001).

Ar analītisko metožu palīdzību var ne tikai pētīt medus ķīmisko sastāvu, bet arī noteikt medus tīrības pakāpi un īstumu, kas var mainīties, atšķaidot medu ar ūdeni vai sīrupu vai arī sajaucot kopā dažāda veida un izcelsmes medu. Tāpat iespējams noteikt piesārņojošās vielas, kuras var ietekmēt medus sastāvu ievākšanas vai uzglabāšanas laikā. Šī raksta mērķis ir apkopot un novērtēt pieejamo zinātnisko informāciju par mikro- un makroelementu saturu Eiropas valstu medus paraugos.

Ķīmisko elementu iedalījums mikro- un makroelementos ir nosacīts un atkarīgs no pētniecības nozares, piemēram, ņemot vērā elementu nozīmi cilvēka fizioloģijā, tos var iedalīt atkarībā no kvantitatīvās nepieciešamības fizioloģisko procesu nodrošināšanai: mikroelementu dienas devas nepārsniedz 100 mg, bet makroelementi ir cilvēkam nepieciešami vairāk nekā 100 mg dienā (Fraga, 2005). Fizioloģijā un bioloģijā elementus var iedalīt arī pēc to koncentrācijas apjoma organismā. Ģeoķīmijā un citās ar vides izpēti saistītās zinātnēs ķīmiskos elementus nosacīti var klasificēt atkarībā no to koncentrācijas pētāmajā objektā: vairāk par 1 mg kg^{-1} – makroelementi; mazāk par 1 mg kg^{-1} – mikroelementi (Pisani, Protano, Riccobono, 2008).

Veidojot šo apskata rakstu par mikro- un makroelementu saturu medū, elementu klasifikācijas definēšanai ņemta vērā gan to nozīmība cilvēka fizioloģijā, gan sastopamība medū, tādējādi makroelementu grupā iekļauti Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S un Zn, bet visi pārējie elementi pieskaitīti mikroelementu grupai.

Analītiskās metodes mikro- un makroelementu noteikšanai medū

Medus kvantitatīvā analīze lielā mērā ir izaicinājums analītiskās ķīmijas lietpratējiem medus komplicētā sastāva dēļ, jo īpaši attiecībā uz ogļhidrātu augsto saturu. Tādēļ pirms analītisko mērījumu izpildes parasti nepieciešams veikt medus paraugu pirmapstrādi, lai tiktu noārdīta organiskā matrica un metālu joni tiktu izdalīti no bioloģiskajiem kompleksiem (Ioannidou, Zachariadis et al., 2005). Tomēr jebkura paraugu pirmapstrāde prasa šķīdinātāju izmantošanu, tāpēc jāapsver iespējamība, ka atšķaidīšanas rezultātā niecīgās mikroelementu koncentrācijas var samazināties līdz koncentrācijai, kura zemāka par analītiskās noteikšanas robežu, kura savukārt atkarīga no izvēlētās analītiskās metodes. Galvenās prasības, kuras tiek izvirzītas analīzes tehnikām mikro- un makroelementu noteikšanai medus paraugos, ir precizitāte, jutīgums, selektivitāte un augsta ticamības pakāpe (Ajtony, Bencs et al., 2007).

Visbiežāk lietotās analītiskās metodes medus analīzei ir balstītas uz spektroskopijas metodēm vai masas spektrometrijas metodēm, tādām kā induktīvi saistītas plazmas atomu emisijas spektrometrija (ICP-AES), induktīvi saistītas plazmas masspektrometrija (ICP-MS), atomabsorbcijas spektrometrija (AAS), pilnīgas atstarošanas rentgenfluorescences spektrometrija (TX-RF). Metodes, kas balstās uz atomu absorbciju, piemēram, atomabsorbcijas spektrometrija (AAS), liesmas atomabsorbcijas spektrometrija (F-AAS) un liesmas atomabsorbcijas spektrometrija uz grafīta virsmas (GF-AAS), tiek plaši lietotas medus analīzē (Madejczyk, Baralkiewicz, 2008; Lachman, Kolihova et al., 2007; Bratu, Georgescu, 2005). GF-AAS tiek raksturota kā viena no visselektīvākajām un precīzākajām metodēm ar lielisku jutību un plaša elementu spektra analīzes iespējām (Ajtony, Bencs et al., 2007). F-AAS ir viena no visbiežāk izmantotajām metodēm metālu noteikšanai medū un citās organiskās matricās. Metodes priekšrocības ir tās salīdzinoši zemās izmaksas un pietiekami augstais analītiskais sniegums. Svarīgākais ierobežojošais faktors dažādu metožu lietošanā (piemēram, pilnīgas atstarošanas rentgenfluorescences spektrometrijā), ir tas, ka nav iespējams panākt ķīmisko elementu analītisko noteikšanu *ppb* līmenī (Buldini, Cavalli et al., 2001).

Problēma, kas apgrūtina medus kvantitatīvo analīzi, ir cieši saistīta ar medu kā komplicētu matricu attiecībā uz jutīgām analīzes metožu tehniskajām īpatnībām, jo īpaši dēļ augstā ogļhidrātu satura paraugos. Medus paraugu sagatavošanai instrumentālajai analīzei ir piemērotas vairākas metodes. Organiskās matricas mineralizācija pasargā gan no spektrālas interferences, gan arī no atlieku uzkrāšanās mēraparatūras kamerās. Tomēr, kā liecina eksperimenti, atomabsorbcijas lineārais diapazons nav pietiekami plašs. Viens no veidiem, kā pārvarēt grūtības, ko rada organiskās vielas augstā koncentrācija, ir medus paraugu šķīdināšana paskābinātā vidē (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008). Tomēr ir arī pētījumi, kuros medus analīzes ar ICP-AES veiktas bez paraugu šķīdināšanas (Ioannidou, Zachariadis et al., 2005). Aprakstīta arī tāda metode, kas ļauj noteikt galvenos metālus (Fe, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Co) matricās ar augstu ogļhidrātu saturu un ar nelielām metālu koncentrācijām, kam jāpiemēro vismazākā paraugu pirmsapstrāde. To var īstenot, ja medus paraugus oksidē ar UV fotolīzes palīdzību un veic analīzes ar diferenciāla pulsa katoda voltmetru (DPCSV) (Buldini, Cavalli et al., 2001). Visvairāk lietotās metodes smago metālu noteikšanai medū, tādas kā elektrotermālā atomabsorbcijas spektrometrija (ET-AAS) un induktīvi saistītas plazmas atomu emisijas spektrometrija (ICP-AES), parasti ietver līdzīgu pieeju paraugu sagatavošanas procesam, kā, piemēram, šķīdināšana skābē, dietilditiokarbamāta kompleksu ekstrakcija metilizobutilketona vidē vai šķīdumu fermentācija. Līdz šim vispieņemamākā pieeja paraugu mineralizācijai ietver matricas sašķelšanu mikroviļņu iedarbībā. Tomēr problēmas var radīt negaistošu vielu atlikumi, kas pēc paraugu apstrādes var uzkrāties iekārtās un ietekmēt analītiskos rezultātus (Buldini, Cavalli et al., 2001).

Medus analītiskās izpētes ierobežojums ir arī sertificētu standartu neesamība, kuri nepieciešami analītisko mērījumu precizitātes un ticamības pārbaudei. Tāpēc medus ķīmiskā analīze ir laikietilpīgs process, jo jāizveido kalibrācijas līknes ar dažādām analizējamās vielas koncentrācijām (Ioannidou, Zachariadis et al., 2005). Tomēr literatūrā atrodams, ka analītisko kvalitāti var pārbaudīt, lietojot tādu sertificētu references materiālu kā kukurūzas *(Zea mais)* graudus (Pisani, Protano, Riccobono, 2008).

Piemērotāko analītisko metodi medus mikro- un makroelementu identificēšanai un kvantitatīvai analīzei izvēlas atkarībā no analīzes mērķa un elementiem, kurus iecerēts raksturot, turklāt jāņem vērā arī elementu noteikšanas robežas attiecīgās analītiskās metodes ietvaros. Tā, piemēram, itāļu zinātnieki, kombinējot induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometriju (ICP-OES) un induktīvi saistītās plazmas masspektrometriju (ICP-MS), medus paraugos noteikuši līdz pat divdesmit trīs elementiem (Pisani, Protano, Riccobono, 2008), kas ir visplašākais viena pētījuma ietvaros aprakstītais ķīmisko elementu skaits pēc pieejamo medus pētījumu datiem Eiropā. Parasti medus pētījumi neaptver tik plašu analizējamo elementu spektru. Maķedonijā medus paraugos analizēti makroelementi Ca, K, Mg, Na un Zn, izmantojot F-AAS, bet Cd, Cu, Fe un Mn identificēti ar ET-AAS (Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008). Pētnieki no Slovēnijas secinājuši, ka TX-RF ir piemērota metode, lai medū noteiktu vismaz 16 elementus (As, Br, Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, P, Pb, Rb, S, Sr, Ti) (Golob, Dobersek et al., 2005). Savukārt Lietuvā veiktie pētījumi liecina, ka retus mikroelementus (Ce, La, Rb, U) var noteikt, izmantojot ICP-MS (Staniškienė, Matusevičius et al., 2005, 2007). Jāpiebilst, ka nozīmīga loma ir analītisko datu apstrādes metodēm, kurās parasti tiek pielietotas dažāda veida datorizētās statistikas programmas.

Šajā rakstā apkopota informācija par trīsdesmit diviem ķīmiskiem elementiem, kas identificēti vairāku Eiropas valstu dažādos medus paraugos (1.un 2.tabula).

1. tabula / Table 1

Makroelementu saturs medū (zemākā-augstākā noteiktā koncentrācija), mg kg^{-1}
Range of macroelement content in honey (min-max concentration), mg kg^{-1}

Valsts / Country	Paraugu skaits / No. of samples	Makroelements / Macroelement								Literatūra / Reference
		Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	
Čehija / the Czech Republic	n=24	11.20–142.00	0.11–1.10	1.50–7.90	–	18.40–89.00	0.50–8.99	–	0.40–3.42	[20, 31]
Grieķija / Greece	n=5	–	n.a.–0.48	–	–	–	0.11–7.22	–	–	[16]
Īrija / Ireland	n=50	74.90–175.00	1.00–2.30	1.70–36.30	410.00–714.00	18.90–53.30	0.90–10.20	41.30–196.00	1.60–22.50	[9]
Itālija / Italy	n=51–69	9.10–409.00	<0.05–5.90	0.65–35.10	147.00–4136.00	3.90–159.00	0.08–16.90	6.10–232.00	0.72–3.66	[5, 7, 22]
Latvija / Latvia	n.d.	–	1.00–2.40	–	–	–	1.40–11.90	–	0.70–1.57	[8]
Lietuva / Lithuania	n=7–12	–	0.12–0.79	–	–	–	–	–	0.35–41.25	[17, 26, 27]
Maķedonija / Macedonia	n=123	4.10–170.00	0.02–5.90	0.03–7.00	169.00–3323.00	4.40–182.00	0.16–82.00	5.90–150.00	0.31–15.00	[28]
Polija / Poland	n=30–55	<LOD*–159.20	n.a.–2.63	n.a.–16.10	7.77–4221.60	0.07–64.80	0.13–13.20	0.38–89.60	n.a.–39.70	[6, 21]
Portugāle / Portugal	n=38	6.24–134.35	–	–	117.55–2590.60	10.62–70.41	–	90.22–727.79	–	[25]
Slovēnija / Slovenia	n=79	0.03–274.00	0.37–15.50	0.30–70.40	183.00–5810.00	–	0.12–66.40	–	0.55–11.20	[15]
Spānija / Spain	n=40–140	42.59–341.00	<0.53–2.12	2.26–4.70	483.10–1935.00	13.26–73.22	0.13–9.47	11.69–218.50	1.33–5.33	[11, 13]
Šveice / Switzerland	n=95	–	0.05–3.32	0.14–9.85	–	–	0.13–12.35	–	0.02–4.13	[2]
Ungārija / Hungary	n.d.	–	0.04–0.45	–	–	–	–	–	–	[1]

LOD – analītiskās noteikšanas robeža / limit of detection; n.a. – nav atrasts / not detected; n.d. – nav datu / not stated; * – LOD (Ca/ICP–MS) = 0.01 mg kg^{-1}

2. tabula / Table 2

Mikroelementu saturs medū (zemākā-augstākā noteiktā koncentrācija), µg kg^{-1}
Range of trace element content in honey (min-max concentration), µg kg^{-1}

Valsts / Country	Mikroelements / Trace element										Literatūra / Reference
	As	Ba	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Sr	Al*	B*	
Čehija / the Czech Republic	–	–	1.6–19.3	–	–	60.0–1530.0	42.0–96.0	–	0.61–20.20	9.40–54.90	[20, 31]
Grieķija / Greece	–	–	78.0–222.0	10.0–87.0	–	n.a.	–	–	–	–	[16]
Itālija / Italy	2.8–20.2	218.0–2634.0	1.0–305.0	1.6–56.6	<2.0–54.0	<50.0–2760.0	28.2–620.0	850.0–2010.0	<2.50–7.40	–	[5, 22]
Latvija / Latvia	–	–	3.0–23.0	–	100.0–280.0	90.0–1160.0	142.0–310.0	–	–	–	[8]
Lietuva / Lithuania	–	5.8–71.3	1.0–14.6	–	200.0–344.0	206.0–350.0	2.9–189.0	19.5–240.9	–	–	[17, 26, 27]
Maķedonija / Macedonia	–	–	1.0–270.0	–	–	–	–	–	–	–	[28]
Polija / Poland	–	<LOD**–906.0	<LOD**–103.0	–	5.1–93.0	10.0–1870.0	<LOD**–9200.0	–	n.a.–46.70	n.a.–15.90	[6, 21]
Slovēnija / Slovenia	1240.0–1490.0	–	–	–	110.0–33800.0	n.a.–12700.0	210.0–79100.0	730.0–1760.0	–	–	[15]
Spānija / Spain	–	44.0–1264.0	4.2–4.6	–	–	–	31.5–46.3	257.0–1462.0	–	2.31–8.46	[11, 13]
Šveice / Switzerland	–	–	<1.0–26.0	–	<1.0–37.0	<1.0–1966.0	3.0–329.0	–	–	–	[2]
Ungārija / Hungary	n.a.–13.0	–	0.8–3.3	–	1.8–109.0	–	12.0–163.0	–	–	–	[1]

LOD – analītiskās noteikšanas robeža / limit of detection; n.a. – nav atrasts / not detected; * – Al un B dati mg kg^{-1} / data for Al and B in mg kg^{-1};
** – LOD (Ba, Cd, Pb/ICP–MS)=1 µg kg^{-1}

Makroelementu saturs medū

Medus var saturēt līdz 0.17% makroelementu no tā masas, tomēr šis rādītājs ir mainīgs un lielā mērā atkarīgs no medus veida un izcelsmes (Ajtony, Bencs et al., 2007; Ioannidou, Zachariadis et al., 2005; Buldini, Cavalli et al., 2001). Eiropas medus paraugos identificēti un kvantitatīvi noteikti desmit makroelementi: Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, par kuriem dati apkopoti 1. tabulā, kā arī P un S.

Galvenie medū sastopamie makroelementi ir kālijs, nātrijs un kalcijs (Madejczyk, Baralkiewicz, 2008; Bogdanov, Haldimann et al., 2007). Kālija apjoms svārstās no 7.70 mg kg^{-1} Polijas medus paraugos līdz 5810 mg kg^{-1} Slovēnijas medū. Savukārt nātrijs konstatēts no 0.38 mg kg^{-1} Polijas medū līdz pat 727.79 mg kg^{-1} medus paraugos no Portugāles. Kalcijs variē, sākot no daudzuma, kas mazāks par analītiskās noteikšanas robežu (LOD kalcijam šeit – 0.01 mg kg^{-1}) Polijas medū, līdz 409 mg kg^{-1} Itālijas medus paraugos. Nātrija koncentrācija ir līdzīga visiem medus paraugiem neatkarīgi no to botāniskās izcelsmes, bet Mg, Ca, Mn un Zn koncentrācijas dažādu veidu medus paraugos ir atšķirīgas (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Silva, Videira et al., 2009; Fernández-Torres, Pérez-Bernal et al., 2005).

Dzelzs koncentrācija medū variē no niecīgiem daudzumiem Maķedonijas un Šveices medū (0.03–0.14 mg kg^{-1}) līdz 70.40 mg kg^{-1} Slovēnijas medū. Mangāna koncentrācijas skaitliskās vērtības ir līdzīgas dzelzs apjomiem medū: no 0.08–0.13 mg kg^{-1} Itālijas, Grieķijas, Slovēnijas, Polijas, Spānijas un Šveices medū līdz pat 82 mg kg^{-1} Maķedonijas medū.

No makroelementiem skaitliski mazākos daudzumos medū atrodams varš: no <0.05mgkg^{-1} Itālijas medū līdz 15.5mgkg^{-1} Slovēnijas medus paraugos. Varš konstatēts arī medū no Latvijas – 1.0–2.4mgkg^{-1}.

Pēc pieejamās zinātniskās literatūras datiem fosfors medus paraugos kvantitatīvi noteikts tikai divās valstīs – Slovēnijā (70.30–398.00 mg kg^{-1}) un Spānijā (51.17–154.30 mg kg^{-1}), bet sērs – tikai Slovēnijā (37.40–445.00 mg kg^{-1}). Līdz ar to šie dati ir informatīvi, jo nav iespējams objektīvi salīdzināt dažādas izcelsmes jeb dažādu valstu medus paraugus.

Acīm redzams, ka kopumā makroelementu kvantitātes diapazons medū ir ļoti mainīgs – augstākas makroelementu koncentrācijas novērotas Slovēnijā, Maķedonijā un Itālijā, turpretī dažās valstīs, kā Lietuvā, Šveicē, Īrijā, Čehijā un arī Latvijā, makroelementu saturs medū ir salīdzinoši zemāks.

Daudzi autori norāda, ka makroelementu saturs būtiski atšķiras gan dažādas botāniskas izcelsmes medū (piemēram, rapša ziedu medus, griķu ziedu medus u. tml.), gan nektāra un medusrasas medū (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Golob, Dobersek et al., 2005). Interesants ir fakts, ka tumšas krāsas medus ir bagātāks ar makroelementiem nekā bālas nokrāsas medus (Madejczyk, Baralkiewicz, 2008; Fernández-Torres, Pérez-Bernal et al., 2005; Vorlova, Čelechovská, 2002).

Mikroelementu saturs medus paraugos

Mikroelementu analīze ir īpaši noderīga potenciāli toksisku elementu identificēšanai medū, tomēr dažādās Eiropas valstīs veikto medus pētījumu datu salīdzināšanu apgrūtina nevienlīdzīgie kvantitatīvo analīžu apstākļi. Vienpadsmit Eiropas valstīs iegūtajos medus paraugos visbiežāk analizēti Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb un Sr, bet neviens pētījums nav ietvēris visu šo mikroelementu analīzi. Dati par mikroelementu minimālajām un maksimālajām koncentrācijām Eiropas valstu medus paraugos apkopoti 2. tabulā. Informācija par tiem mikroelementiem, kuri analizēti tikai dažu atsevišķu valstu medus paraugos, t.i., par Br, Ce, Cl, Hg, La, Rb, Sb, Se, Th, Ti, Tl un U, tabulā nav iekļauta.

Galvenie potenciāli toksiskie elementi un vides piesārņojuma indikatori ir kadmijs un svins, tādēļ šie elementi medū ir kvantitatīvi analizēti gandrīz visos apkopotajos pētījumos. Kadmija daudzums medū variē no niecīgas koncentrācijas, kas zemāka par analītiskās noteikšanas robežu, piemēram, Ungārijā, Polijā, Lietuvā, Šveicē un Čehijā (<LOD–1.55 μg kg^{-1}, kur LOD ir 1 μg kg^{-1}), līdz pat 270 μg kg^{-1} un 305 μg kg^{-1} attiecīgi Maķedonijas un Itālijas medus paraugos. Medus paraugos no Latvijas kadmijs atrasts 3–23 μg kg^{-1}. Savukārt svins medū konstatēts, sākot no vismazākajām koncentrācijām Polijā, Lietuvā un Šveicē (<LOD–3 μg kg^{-1}, kur LOD ir 1 μg kg^{-1}), līdz pat 79.1 mg kg^{-1} Slovēnijā (kas ievērojami pārsniedz pārējo valstu rādītājus). Latvijas medus paraugos svina daudzums ir vidējs – 142–310 μg kg^{-1}. Buldini ar kolēģiem (2001) norāda, ka ir valstis, kur sakarā ar smago metālu iespējamo toksisko iedarbību uz vidi un cilvēka veselību noteikta Pb pieļaujamā norma pārtikā (1 mg kg^{-1}), tomēr konkrētās valstis netiek minētas.

Eiropas Savienībā spēkā esošie normatīvie akti nosaka ierobežojumus smago metālu koncentrācijām dažādos pārtikas produktos. Maksimāli pieļaujamie smago metālu daudzuma līmeņi ir visai atšķirīgi: svinam – 0.02–1.50 mg kg^{-1} dzīvnieku valsts izcelsmes pārtikas produktos un 0.05–0.30 mg kg^{-1} augu valsts izcelsmes pārtikas produktos; kadmijam – attiecīgi 0.05–1.00 mg kg^{-1} un 0.05–0.20 mg kg^{-1}; dzīvsudrabam tikai zivīm un zivsaimniecības produktiem – 0.50–1.00 mg kg^{-1}; alvai tikai attiecībā uz konservētiem pārtikas produktiem – 50–200 mg kg^{-1} (Komisijas Regula (EK) 629/2008; Komisijas Regula (EK) 1881/2006). Tomēr šajās regulās uzskaitīto pārtikas produktu sarakstos medus neietilpst. Pašlaik Eiropas Savienības normatīvajos aktos, kas reglamentē medus kvalitātes novērtēšanu, nav noteiktas smago metālu maksimāli pieļaujamās koncentrācijas, lai gan Latvijas medus kvalitātes novērtēšanas standartos pirms iestāšanās Eiropas Savienībā dažiem metāliem tās pastāvēja (Dimiņš, 2006).

Stroncija un bārija augstākās koncentrācijas konstatētas medus paraugos no Itālijas (Sr – 850.0–2010.0 µg kg^{-1}, Ba – 218.0–2634.0 µg kg^{-1}), bet zemākās koncentrācijas – Lietuvā (Sr – 5.8–71.3 µg kg^{-1}, Ba – 19.5–240.9 µg kg^{-1}). Tāda potenciāli toksiska elementa kā arsēna saturs medus paraugos variē plašā diapazonā: no 2.8–20.2 µg kg^{-1} Itālijas un Ungārijas medus paraugos līdz pat 1240–1490 µg kg^{-1} medū no Slovēnijas. Kobalta koncentrācija salīdzinoši nav tik atšķirīga: no 1.6–56.6 µg kg^{-1} medus paraugos no Itālijas līdz 10–87 µg kg^{-1} Grieķijas medū. Hroms medū atrasts no <1.0–5.1 µg kg^{-1} paraugos no Itālijas, Polijas, Šveices un Ungārijas līdz >100 µg kg^{-1} Slovēnijas, Lietuvas un Latvijas medū. Slovēnijā konstatēta augstākā hroma koncentrācija, un tā sasniedz 3.38 mg kg^{-1}. Arī augstākais niķeļa saturs medū noteikts paraugiem no Slovēnijas – 12.7 mg kg^{-1}; salīdzinoši citās valstīs niķeļa saturs medū atrasts vidēji tikai 60–1500 µg kg^{-1}. Arī Latvijā medus paraugos analizēts niķeļa saturs, un tas ir 90–1160 µg kg^{-1}.

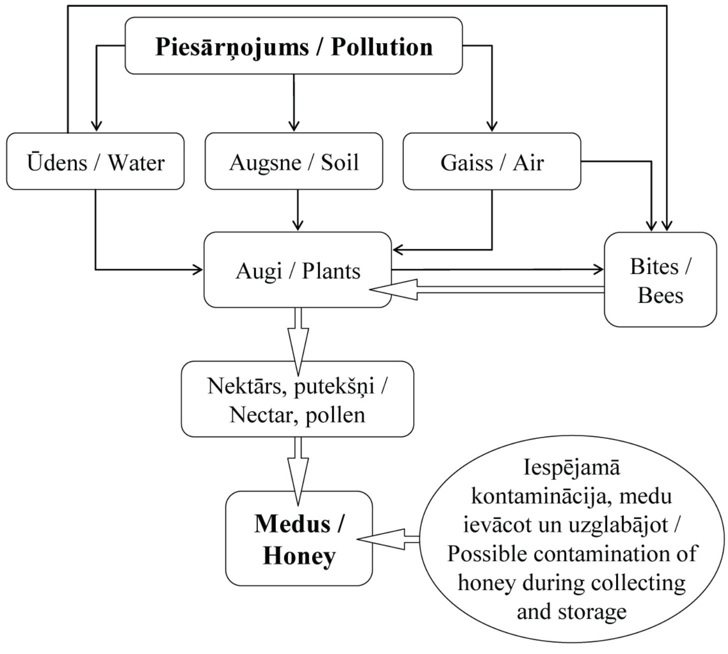
Vairākus mikroelementus, proti, Br, Ce, Cl, Hg, La, Rb, Sb, Se, Th, Ti, Tl un U, medū kvantitatīvi analizējušas tikai četras Eiropas valstis – Itālija, Slovēnija, Čehija un Lietuva. Medus paraugos no Itālijas atrasts antimons, tallijs, torijs un urāns attiecīgi šādās koncentrācijās: Sb – 1.2–3.3 µg kg^{-1}, Tl – <0.2–5.12 µg kg^{-1}, Th – 0.13–2.95 µg kg^{-1} un U – 4.53–14.80 µg kg^{-1}. Itālijas medus paraugos noteikts arī cilvēka fizioloģiskiem procesiem būtiskais elements selēns – <2.0–17.3 µg kg^{-1} (Pisani, Protano, Riccobono, 2008). Savukārt urāns medus paraugos no Lietuvas kvantitatīvi noteikts daudz mazākā apjomā nekā paraugos no Itālijas (0.8–8.0 ng kg^{-1}). Lietuvā medū atrasts arī Ce (3.9–31.9 ng kg^{-1}), La (1.8–16.0 ng kg^{-1}) un Rb (193–2447 µg kg^{-1}) (Staniškienė, Matusevičius et al., 2005, 2007). Čehijā analizēts dzīvsudraba saturs medū (1.05–1.9 µg kg^{-1}) (Vorlova, Čelechovská, 2002), bet Slovēnijā medū atrasts Br (0.31–1.66 mg kg^{-1}), Cl (3.97–558.00 mg kg^{-1}), Rb (0.04–34.80 mg kg^{-1}) un Ti (0.23–4.97 mg kg^{-1}) (Golob, Dobersek et al., 2005).

Kopumā augstākās mikroelementu koncentrācijas medū konstatētas paraugos no Slovēnijas un Itālijas, bet zemākās – paraugos no Lietuvas.

Vides faktoru ietekme uz medus sastāvu

Kā jau minēts, medus ķīmiskais sastāvs nav pastāvīgs un vienāds dažādos reģionos, jo to ietekmē tādi faktori kā botāniskā izcelsme un ģeogrāfiskā izcelsme ar vietai un laikam raksturīgām klimata īpatnībām (Conti, Stripeikis et al., 2007). Novērtējot iespējamās medu piesārņojošās vielas, būtiski ir ņemt vērā aspektu, ka medus ir bioloģisks produkts, ko galvenokārt patērē bez jebkādas priekšapstrādes. Tā kā bišu produkti ir nosacīts gala posms bioakumulācijas ķēdē, medus ķīmiskā analīze sniedz noderīgu informāciju par vides kvalitāti teritorijā, kurā bites ievāc barību, t.i., apmēram 3–4 km rādiusā ap bišu stropu atrašanās vietu (Pisani, Protano, Riccobono, 2008; Buldini, Cavalli et al., 2001), kā arī ļauj izvērtēt iespējamo medus piesārņojumu, ja ir zināmi attiecīgajam medus izcelsmes apvidum raksturīgie vides apstākļi. Tādējādi teorētiski vides ietekme uz medus sastāvu var tikt novērtēta samērā precīzi. Tomēr problēmu rada nenoteiktība attiecībā uz ietekmes zonas precīzu robežu identificēšanu un apmēru, kādā medus var tikt pakļauts ārējo faktoru iedarbībai. Vērtējot vispārīgi, medū esošo mikroelementu spektra un apjoma galvenais avots ir antropogēnais piesārņojums, bet makroelementu sastāvs lielā mērā ir atkarīgs no medus izcelsmes apvidus ģeoloģiskās specifikas (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008). Tāpēc daudzi autori ierosina medu izmantot vides monitoringā, lai novērtētu mikroelementu mainību vidē (Pisani, Protano, Riccobono, 2008; Golob, Dobersek et al., 2005), vai par vides kvalitātes marķieri piesārņojuma atklāšanai (Ajtony, Bencs et al., 2007; Conti, Stripeikis et al., 2007).

Pb, Cd, it īpaši Zn, kā arī Cu, Cr un Ni ir zināmi kā potenciāli gaisu un augsni piesārņojoši elementi, galvenokārt antropogēnas izcelsmes. Galvenie ķīmiskie elementi, kas norāda uz iespējamu vides piesārņojumu ir smagie metāli: As, Cd, Cr un Pb. Kadmija un svina klātbūtne medus paraugos liecina par iespējamu antropogēno



1. att. Shematisks pārskats par piesārņojuma ceļiem, kas var ietekmēt medus sastāvu.
Fig. 1. Schematic overview of the pathways of pollution which can influence honey composition.

piesārņojumu bišu barošanās areālā (Bogdanov, Haldimann et al., 2007).

Piesārņojums medū var nonākt ar ziedu nektāru un ziedputekšņiem, augiem uzņemot ķīmiskos savienojumus no augsnes, ūdens un gaisa, augu fizioloģiskās attīstības laikā, kā arī piesārņojumu var ienest bites no augiem, ūdens un ar gaisā esošajiem putekļiem (1. att.), kas izskaidrojams ar šo kukaiņu anatomisko uzbūvi (bites ķermenis klāts smalkiem matiņiem, kuros viegli ieķeras ne tikai ziedputekšņi, bet arī piesārņojošo vielu mikrodaļiņas). Attiecībā uz Fe un Cr ir iespējams, ka šie elementi galaproduktā – medū – nonāk tieši no gaisa vai ar bišu palīdzību mehāniskā veidā, nevis caur nektāru un medusrasu. Pb un arī Cr ir galvenie gaisu piesārņojošie ķīmiskie elementi, kas tiešā ceļā var nonākt nektārā, medusrasā vai medū (Bogdanov, Haldimann et al., 2007). Medus piesārņošana iespējama arī tā ievākšanas, priekšapstrādes un uzglabāšanas laikā, ja tiek izmantoti nepiemēroti trauki un darbarīki. Sakarā ar medus skābo reakciju, tam saskaroties ar metāla instrumentiem un traukiem, medū var nokļūt potenciāli toksiski elementi, piemēram, Cr, Pb un Zn (Pisani, Protano, Riccobono, 2008). Šo apgalvojumu pierāda lietuviešu pētnieku dati, kas atklāj, ka piesārņošanas dēļ medus uzglabāšanas laikā toksisku elementu koncentrācijas var ievērojami pieaugt. Medus paraugā, kas tika uzglabāts saskarē ar cinka sakausējumu, konstatēja 18 reizes lielāku Zn koncentrāciju, 4.4 reizes lielāku Pb koncentrāciju un 2.6 reizes lielāku Cd koncentrāciju nekā citos medus paraugos (Juodišius, Šimonėlienė, 2009). Tādēļ medus vākšanai un uzglabāšanai ļoti svarīgi ir izmantot piemērotus instrumentus un traukus. Jāizvairās no medus saskares ar priekšmetiem, kas satur metālu vai metālu sakausējumu detaļas, jo tas var nopietni ietekmēt medus kvalitāti (Juodišius, Šimonėlienė, 2009; Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008).

Pēc pieejamās zinātniskās literatūras analīzes var secināt, ka datu interpretācija lielā mērā ir atkarīga no izmantotās statistikas metodes. Kā norāda zinātnieki no Šveices, bezparametru Kruskala-Volisa (Kruskal-Wallis) tests starp medus paraugiem ar dažādu ģeogrāfisko izcelsmi atspoguļo būtiskas atšķirības vienīgi attiecībā uz Cr un Fe saturu, ja mērķis ir medus ķīmisko elementu izpēte. Augstākās Cr vērtības Šveicē tika konstatētas medus paraugos no pilsētu teritorijām (0.01 mg kg^{-1}), bet ievērojami zemākas vērtības novēroja medus paraugos no ciematu teritorijām (0.006 mg kg^{-1}). Hroma daudzums medū no lauku apvidiem un kalnu reģioniem Šveicē bija vēl mazāks – vidēji 0.004 mg kg^{-1}. Attiecībā uz dzelzi viszemākā tā koncentrācija tika atrasta medus paraugos no Šveices kalnu apvidiem (0.73 mg kg^{-1}), tam sekoja paraugi no lauku rajoniem (1.34 mg kg^{-1}), pilsētu teritorijām (1.70 mg kg^{-1}) un ciemu teritorijām (1.80 mg kg^{-1}). Toties ar Manna-Vitnija (Mann-

Whitney) testu tika atklātas izteiktas atšķirības starp medus paraugiem no Šveices kalnu apgabaliem un medu no pilsētām vai ciematu apkārtnēm, kā arī starp medus paraugiem no lauku apvidiem un medu no ciematiem (Bogdanov, Haldimann et al., 2007). Pīrsona (Pearson) tests, kas veikts Spānijas medus paraugiem, atklāj tiešu korelāciju starp Fe-Zn un Fe-Pb saturu un starp Zn-Cd un Cd-Pb saturu medū (Frias, Rubio et al., 2008).

Kopumā var secināt, ka hroma koncentrācija galvenokārt atkarīga no ģeogrāfiskiem un vides faktoriem vai pat klimatiskiem apstākļiem, kamēr dzelzs saturs ir ļoti atšķirīgs dažādas ģeogrāfiskās izcelsmes medus paraugos. Pie tam dzelzs ir nozīmīgs makroelements, lai diferencētu dažādas botāniskās izcelsmes medus paraugus (Bogdanov, Haldimann et al., 2007).

Lai gan ir pētnieki (Bogdanov, Haldimann et al. 2007; Frias, Rubio et al., 2008), kas atzīmē, ka Pb un Cd koncentrācijas nav tieši atkarīgas no medus ģeogrāfiskās izcelsmes, tomēr poļu, lietuviešu, ungāru un rumāņu medus pētījumu rezultāti (Chudzinska, Baralkiewicz, 2010; Juodišius, Šimonėlienė, 2009; Ajtony, Bencs et al., 2007; Bratu, Georgescu, 2005) liecina, ka augstu smago metālu (Pb, Cd, Cr, Ni, Zn) saturu medū var izraisīt bišu stropu tuvumā esošās automaģistrāles vai rūpniecības zonas, kā arī akmeņogļu un malkas degšanas procesā radītie izmeši vai piesārņojumu avotu veidotās mākoņu dispersijas. Arī retie elementi (Ce, La, Sr, Ba) lielākos apjomos atrasti medus paraugos no teritorijām, kuras pakļautas vides piesārņojumam (Staniškienė, Matusevičius et al., 2005, 2007).

Šveices zinātnieki, salīdzinot 20 gadu laikā iegūtu medus analīžu rezultātus, atklājuši, ka jaunākais pētījums liecina par samazinātu Pb un Cd koncentrāciju (attiecīgi 0.041 mg kg^{-1} un 0.003 mg kg^{-1}) medū, bet senākā pētījuma vērtības ir daudz lielākas: Pb – 0.17 mg kg^{-1}, Cd – 0.007 mg kg^{-1}. Zinātnieki to izskaidro ar automobiļu dzinēju katalizatoru izmantošanu pēdējo 10 gadu laikā, kā arī ar striktajiem Cd utilizācijas un izmantošanas ierobežojumiem Šveices rūpniecībā (Bogdanov, Haldimann et al., 2007).

Makroelementi Fe un Mn atrodami dabisko augsnes minerālu sastāvā, tādējādi no augsnes un ūdens tie nonāk augos, bet ar nektāru un ziedputekšņiem – medū. Tomēr visvairāk elementu saturu medū ietekmē botāniskie faktori, tāpēc dažu ķīmisko elementu kvantitatīva noteikšana var tikt izmantota medus botāniskās izcelsmes identificēšanai (Madejczyk, Baralkiewicz, 2008; Bogdanov, Haldimann et al., 2007). Iespējams, ka medus ķīmisko sastāvu ietekmē arī kādas ģeoloģiskas un ģeoķīmiskas iezīmes, jo īpaši attiecībā uz Ca, Na un Mn saturu (Pisani, Protano, Riccobono, 2008), tomēr, lai to viennozīmīgi varētu apgalvot, nepieciešami papildu pētījumi.

Ņemot vērā Rb koncentrāciju medū, pļavu izcelsmes medu var nodalīt no meža izcelsmes medus: paraugos, kas ievākti mežainā apvidū, Rb saturs ir 4–12 reizes lielāks nekā pārējos medus paraugos (Staniškienė, Matusevičius et al., 2005, 2007). Medus paraugi no mežiem klātiem reģioniem satur arī vairāk K, Ca, Mg un Mn (Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008).

Attiecībā uz ģeoloģiskiem faktoriem, kuri var ietekmēt medus sastāvu, Maķedonijas zinātnieki apraksta sakarību, kas pastāv starp elementu sastāvu medū un litoloģisko fonu. Maķedonijas litoloģiskajā kartē tiek nodalīti vairāki apvidi, kam raksturīgas elementu grupas: (1) apvidi, kurus maz skārusi antropogēnā darbība un kuru augsne satur Mg, Mn, Ca un K ar raksturīgu augstu korelācijas koeficientu starp elementiem; (2) apvidi, kuru augsnē novērojamas augstas Ca, K un Na koncentrācijas; (3) apvidi ar augstu augsnes Cd saturu un zemu Cu saturu,_ko galvenokārt ietekmē antropogēnā darbība. Augstais Cd saturs tiek saistīts ar ģeoloģiskajām īpatnībā Pb un Zn raktuvju tuvumā. Tādējādi identificētas divas dabiskās (Mg, Mn, Ca, K un Fe, Zn, Ca, K, Na) un viena antropogēnā (Cd un Cu) ģeoķīmisko saikņu elementu grupas, kā arī noteikta ģeoloģisko faktoru ietekme uz medus ķīmisko sastāvu (Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008).

Reti sastopamo mikroelementu, piemēram, tallija, torija, urāna, cērija vai lantāna, klātbūtne medū visdrīzāk liecina par vietai specifiski raksturīgām ģeoloģiskām īpatnībām. Augstākas tallija koncentrācijas konstatētas medū no apgabaliem, kuros ir vairāk karbonātisko augšņu atsegumu un vulkānisko iežu. Augsts Pb, Ba un Cd saturs novērots medū no noteikta Itālijas apvidus, ko var izskaidrot ar hidrotermālajām aktivitātēm šajā reģionā. Medū novērotā Th/U attiecība visticamāk atspoguļo atšķirīgu šo elementu ģeoķīmisko mobilitāti uz Zemes virsmas, kas savukārt ietekmē to biopieejamību (Pisani, Protano, Riccobono, 2008).

Niecīgos daudzumos radioaktīvie mikroelementi atspoguļo vidē pastāvošo dabisko ģeoloģisko radioaktivitāti, bet piesardzības nolūkos būtu jāņem vērā koncentrāciju paaugstināšanās vai straujas koncentrāciju izmaiņas. Itālijas pētnieki, analizējot medū konstatēto radioaktīvo elementu torija un urāna attiecību (Th/U), konstatējuši tās kraso atšķirību no

3. tabula / Table 3

Makroelementu ieteicamās devas un medus nozīme diennakts makroelementu bilancē
Dietary reference intakes for macroelements, and honey contribution in daily macroelement balance

Makro-elements / Macro-element	Ieteicamā deva uzturā, mg dienā / Dietary reference intake, mg per day		Medus nozīme diennakts makroelementu bilancē / Honey contribution in daily macroelement balance
	PVO / WHO [30]	ASV / U.S. [24, 32]	
Ca	1000	1000	3%
Cu	n.n.	0.9	54%
Fe	9.1–27.4* ♂ / 19.6–58.8* ♀	8 ♂ / 18 ♀	40% ♂ / 18% ♀
K	n.n.	4700	9%
Mg	260 ♂ / 220 ♀	400–420 ♂ / 310–320 ♀	3% ♂ / 4% ♀
Mn	n.n.	2.3 ♂ / 1.8 ♀	140% ♂ / 179% ♀
Na	n.n.	1500	2%
Zn	4.2–14.0* ♂ / 3.0–9.8* ♀	11 ♂ / 8 ♀	18% ♂ / 25% ♀

* – atkarībā no biopieejamības / depending on bioavailability; n.n. – nav noteikts / not specified;
♂ – vīriešiem / for men; ♀ – sievietēm / for women

parasti novērotās Th/U koncentrāciju attiecības iežos un augsnē, kas parasti ir 4/1. Tas tiek skaidrots ar atšķirīgo šo elementu mobilitāti vides sistēmās. Urāns ir mobilāks Zemes virsmas vidēs, tai skaitā biosfērā, kur urāns viegli oksidējas, pārejot mobilā formā, kāda ir uranila jons (UO_2^{2+}). Tikmēr torijs ir praktiski inerts, ar zemu šķīdību un biopieejamību. Tā rezultātā rodas apgriezta Th/U attiecība, ko pierāda elementu kvantitatīvie lielumi medus paraugos (Pisani, Protano, Riccobono, 2008).

Kopumā var vērtēt, ka zemākas elementu koncentrācijas medū novērotas tajās valstīs, kur rūpniecība nav dominējošā tautsaimniecības nozare, piemēram, Īrijā, Šveicē, Lietuvā.

Medus nozīme cilvēka ikdienas mikro- un makroelementu uztura bilancē

Apmēram piecdesmit no visiem zināmajiem ķīmiskajiem elementiem tiek atrasti izmērāmās koncentrācijās dzīvajās sistēmās. Cilvēku un citu zīdītāju organismā izpētīta 23 elementu fizioloģiskā aktivitāte (bioloģisko sistēmu pamatelementi H, C, N un O, kā arī mikro- un makroelementi Co, Cr, Cu, F, Fe, I, Mn, Mo, Se, V, Zn, Ca, Cl, K, Na, Mg, P, S un Si), līdz ar to noteikts, ka šie elementi cilvēka veselībai ir primāri nepieciešami un parasti profilaktiskās devās tiek uzņemti ar sabalansētu uzturu (Fraga, 2005). Cilvēka organisma funkcionēšanai primāri nepieciešamie makro- un mikroelementi ir tādas ķīmiskas pamatvielas, kuru loma uzturā ir neaizvietojama, lai tiktu nodrošinātas normālas organisma fizioloģiskās funkcijas. Attiecībā uz mikro- un makroelementiem var izvirzīt divējādas kritiskās robežas: (1) ja elementu uzņemšana notiek pārāk lielā apmērā – iespējama akūta vai hroniska toksiska ietekme, (2) ja elementu uzņemšana notiek pārāk mazā apjomā – iespējams elementu deficīts jeb nepietiekamība (Goldhaber, 2003).

Medus satur praktiski visus cilvēka veselībai nozīmīgos ķīmiskos mikro- un makroelementus. Lai arī medu nevar uzskatīt par atsevišķu pilnvērtīgu pārtikas produktu cilvēku uztura standartu ietvaros, tam ir būtiska loma kā ikdienas uztura papildinātājam (Silva, Videira et al., 2009; Stankovska, Stafilov, Šajn, 2008). Tomēr ķīmisko elementu saturs medū ir mainīgs atkarībā no dažādiem faktoriem, tāpēc medus ieguldījumu cilvēka veselībā var panākt, uzņemot diezgan lielas medus devas, piemēram, 50–80 g jeb 3–5 ēdamkarotes vienā ēdienreizē (Bogdanov, Jurendic et al., 2008).

Pasaules Veselības organizācija un citas pētniecības iestādes, piemēram, ASV Nacionālās Zinātņu akadēmijas Medicīnas institūts, balstoties uz klīnisko pētījumu datiem, izstrādājušas primāri nepieciešamo mikro- un makroelementu pieļaujamās un ieteicamās ikdienas devas, kas tiek izmantotas pārtikas riska novērtējumā. Galveno makroelementu ieteicamās ikdienas devas uzturā apkopotas 3. tabulā. Medus nozīme diennakts makroelementu bilancē aprēķināta, ņemot vērā katra elementa maksimālo kvantitatīvi noteikto vidējo skaitlisko vērtību un vidējo ieteicamo devu uzturā, kā arī pieņemot, ka ikdienas uzturā cilvēks lieto 3 ēdamkarotes medus katrā no trīs galvenajām ēdienreizēm. Iegūtie dati liecina, ka attiecībā uz dažiem elementiem (Mn, Cu, Fe, Zn) medus makroelementu vērtībai ir ievērojama nozīme, turklāt jāņem vērā, ka sabalansēta uztura gadījumā šie paši elementi tiek uzņemti arī ar citiem pārtikas produktiem. Tā kā aprēķini veikti, izmantojot maksimālās konstatētās elementu koncentrācijas medus paraugos dažādās Eiropas valstīs, tad maz ticama ir varbūtība, ka, ikdienas uzturā regulāri lietojot medu, varētu rasties makroelementu pārdozēšana.

Attiecībā uz mikroelementiem, ieteicamā dienas deva no medū atrodamajiem fizioloģiski nozīmīgajiem elementiem, hromam ir noteikta 35/25 µg dienā (vīriešiem/sievietēm), un selēnam – 55 µg dienā (Whiting, Barabash, 2006; Reports of Dietary ..., 1997–2004). Medus paraugos konstatētās hroma koncentrācijas variē plašā amplitūdā. Medus, kura izcelsme ir industriāli ietekmētas teritorijas, var saturēt hromu lielākā apjomā nekā cilvēkam ieteicamā dienas deva, kā arī hroms var būt dažādās oksidēšanās pakāpēs, kas ietekmē tā biopieejamību un iespējamo toksisko iedarbību. Selēna saturs noteikts tikai vienas valsts medus paraugos, un skaitliskās vērtības liecina par šī elementa niecīgo apjomu medū. Tādiem elementiem kā As, B, Ni un V, kuru loma cilvēka fizioloģijā nav viennozīmīgi pierādīta, ieteicamās dienas devas nav noteiktas. Medus paraugos šie elementi nav atrasti tik lielās koncentrācijās, lai rastos aizdomas par to potenciālo toksisko iedarbību, ko varētu izraisīt regulārs medus patēriņš uzturā.

Vairākiem mikroelementiem (Ba, Cd, Cr, Pb, Sb, Sr, U), kuru toksiskā ietekme uz dzīviem organismiem ir pierādīta klīniskos pētījumos, ir noteikti augstākie pieļaujamie līmeņi vai references devas, ja tie perorāli tiek uzņemti ilgstoši (U.S. EPA IRIS).

Attiecībā uz potenciāli toksiskiem mikroelementiem Eiropā medum nekādi ierobežojošie lielumi nav ieviesti. Tomēr, kā redzams pēc pētījumu datiem, dažu mikroelementu (Pb, Cd un Cr) pieļaujamie līmeņi medū būtu jānosaka patērētāju drošības labad.

Secinājumi

1. Mikro- un makroelementu saturs medū variē plašā diapazonā atkarībā ne tikai no medus botāniskās izcelsmes, bet arī no vides faktoru ietekmes. Antropogēnās darbības veicina medus piesārņošanos ar potenciāli toksiskiem elementiem (piemēram, Pb, Cd, Cr, Zn). Makroelementu (piemēram, K, Na, Mn, Mg) saturu medū lielā mērā ietekmē apvidus ģeoloģiskās īpatnības, bet valstīs ar mazattīstītu rūpniecības sfēru līdz ar mazāku mikroelementu apjomu arī makroelementu koncentrācija medū ir zemāka.
2. Retu mikroelementu klātbūtne medū var sniegt informāciju par videi specifiskām īpašībām vai medus izcelsmi, piemēram, Rb paaugstinātas koncentrācijas novērotas medū no mežainiem apvidiem, bet radioaktīvie elementi liecina par vietas specifiskām ģeoloģiskā fona īpatnībām.
3. Lai viennozīmīgi varētu spriest par vides faktoru ietekmi uz medus ķīmisko sastāvu, vairāk nepieciešams tādu pētījumu, kuros precīzi tiktu salīdzināts elementu sastāvs apvidū (augsnē un/vai veģetācijā), kur medus ievākts, ar elementu sastāvu pašā galaproduktā – medū –, analīzei izmantojot metodes ar līdzvērtīgiem analītiskās noteikšanas sliekšņiem.
4. Medum uztura bilances ietvaros ir nozīmīga loma kā dabiskam ikdienas uztura papildinātājam attiecībā uz makroelementu nodrošinājumu tad, ja tas uzturā tiek lietots regulāri un ir iegūts ekoloģiski nepiesārņotos apvidos.
5. Patērētāju drošības nolūkos būtu jākontrolē potenciāli toksisko (Pb, Cd, Cr) elementu klātbūtne un koncentrācija medū.

Literatūra

1. Ajtony, Z., Bencs, L., Haraszi, R., Szigeti, J., Szoboszlai, N. (2007) Study on the simultaneous determination of some essential and toxic trace elements in honey by multi-element graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Talanta*, 71, 683–690.
2. Bogdanov, S., Haldimann, M., Luginbuhl, W., Gallmannm, P. (2007) Minerals in honey: environmental, geographical and botanical aspects. *J. Apicult. Res.*, 46(4), 269–275.
3. Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., Gallmann, P. (2008) Honey for nutrition and health: a review. *J. Am. Coll. Nutr.*, 27, 677–689.
4. Bratu, I., Georgescu, C. (2005) Chemical contamination of bee honey – identifying sensor of the environmental pollution. *J. Centr. Eur. Agric.*, 6(1), 467–470.
5. Buldini, P.L., Cavalli, S., Mevoli, A., Sharma, J.L. (2001) Ion chromatographic and voltammetric determination of heavy and transition metals in honey. *Food Chem.*, 73, 487–495.
6. Chudzinska, M., Baralkiewicz, D. (2010) Estimation of honey authenticity by multielements

characteristics using inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) combined with chemometrics. *Food Chem. Toxicol.*, 48, 284–290.

7. Conti, M.E., Stripeikis, J., Campanella, L., Cucina, D., Tudino, M.B. (2007) Characterization of Italian honeys (Marche Region) on the basis of their mineral content and some typical quality parameters. *Chem. Cent. J.*, 1(14), doi:10.1186/1752-153X-1-14.
8. Dimiņš, F. (2006) Medus kvalitātes novērtēšanas rādītāji. *Promocijas darbs*. Jelgava, LLU, 111 lpp.
9. Downey, G., Hussey, K., Kelly, J.D., Walshe, T.F., Martin, P.G. (2005) Preliminary contribution to the characterisation of artisanal honey produced on the island of Ireland by palynological and physico-chemical data. *Food Chem.*, 91, 347–354
10. Enrich, C., Boeykens, S., Caracciolo, N., Custo, G., Vazquez, C. (2007) Honey characterization by total reflection X-ray fluorescence: evaluation of environmental quality and risk for the human health. *X-Ray Spectrom.*, 36, 215–220.
11. Fernández-Torres, R., Pérez-Bernal, J.L., Bello-López, M.A., Callejón-Mochón, M., Joménez-Sánchez, J.C., Guiraúm-Pérez, A. (2005) Mineral content and botanical origin of Spanish honeys. *Talanta*, 65, 686–691.
12. Fraga, C.G. (2005) Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Mol. Aspects Med.*, 26, 235–244.
13. Frias, I., Rubio, C., Gonzalez-Iglesias, T., Gutierrez, A.J., Gonzalez-Weller, D., Hardisson, A. (2008) Metals in fresh honeys from Tenerife Island, Spain. *Bull. Environ. Contam. Tox.*, 80, 30–33.
14. Goldhaber, S.B. (2003) Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. *Regul. Toxicol. Pharm.*, 38, 232–242.
15. Golob, T., Dobersek, U., Kump, P., Necemer, M. (2005) Determination of trace and minor elements in Slovenian honey by total reflection X-ray fluorescence spectroscopy. *Food Chem.*, 91, 593–600.
16. Ioannidou, M.D., Zachariadis, G.A., Anthemidis, A.N., Stratis, J.A. (2005) Direct determination of toxic trace metals in honey and sugars using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Talanta*, 65, 92–97.
17. Juodišius, E., Šimonėlienė, A. (2009) Lietuvoje parduodamo medaus užterštumas sunkiaisiais metalais ir pesticidais. (Smago metālu un pesticīdu atliekas Lietuvā tirgotajā medū. Lietuviešu valodā.) *Vet. Zootec.*, 45(67), 27–32.
18. Komisijas Regula (EK) Nr. 629/2008. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis,* 03.07.2008, L173, 6–9.
19. Komisijas Regula (EK) Nr. 1881/2006. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, 20.12.2006, L364, 5–24.
20. Lachman, J., Kolihova, D., Miholova, D., Kosata, J., Titera, D., Kult, K. (2007) Analysis of minority honey components: possible use for the evaluation of honey quality. *Food Chem.*, 101, 973–979.
21. Madejczyk, M., Baralkiewicz, D. (2008) Characterization of Polish rape and honeydew honey according to their mineral contents using ICP-MS and F-AAS/AES. *Anal. Chim. Acta*, 617, 11–17.
22. Pisani, A., Protano, G., Riccobono, F. (2008) Minor and trace elements in different honey types produced in Siena County (Italy). *Food Chem.*, 107, 1553–1560.
23. Rashed, M.N., Soltan, M.E. (2004) Major and trace elements in different types of Egyptian mono-floral and non-floral bee honeys. *J. Food Compos. Anal.*, 17, 725-735.
24. Reports of Dietary Reference Intakes (DRI). (1997–2004) *National Academy of Sciences, Institute of Medicine, Food and Nutrition Board.* National Agricultural Library: http://fnic.nal.usda.gov/nal_display/index.php?info_center=4&tax_level=2&tax_subject=256&topic_id=1342 – Resurss aprakstīts 2010. gada 16. novembrī.
25. Silva, L.R., Videira, R., Monteiro, A.P., Valentao, P., Andrade, P.B. (2009) Honey from Luso region (Portugal): physicochemical characteristics and mineral contents. *Microchem. J.*, 93, 73–77.
26. Staniškienė, B., Matusevičius, P., Budreckienė, R., Sinkevičienė, I. (2007) Sunkiųjų metalų kiekio meduje ir žuvienoje nustatymas ICP masių spektrometru. (Smago metālu koncentrācijas noteikšana medū un zivīs pielietojot MS-ICP modeli. Lietuviešu valodā.) *Vet. Zootec.*, 39(61), 60–66.
27. Staniškienė, B., Matusevičius, P., Budreckienė, R., Sinkevičienė, I.

(2005) Mikroelementai Lietuviškame meduje. (Mikroelementi Lietuvas medū. Lietuviešu valodā.) *Vet. Zootec.*, 30(52), 77–82.
28. Stankovska, E., Stafilov, T., Šajn, R. (2008) Monitoring of trace elements in honey from the Republic of Macedonia by atomic absorption spectrometry. *Environ. Monit. Assess.*, 142, 117–126.
29. U.S. EPA IRIS – United States Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System: http://www.epa.gov/iris/ – Resurss aprakstīts 2010. gada 16. novembrī.
30. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. (2004) *WHO/FAO*. WHO Library: http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241546123.pdf – Resurss aprakstīts 2010. gada 16. novembrī.
31. Vorlova, L., Čelechovská, O. (2002) Activity of enzymes and trace element content in bee honey. *Acta Vet. Brno*, 71, 375–378.
32. Whiting, S.J., Barabash, W.A. (2006) Dietary Reference Intakes for the micronutrients: considerations for physical activity. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 31, 80–85.

Pateicība

Paldies prof. M. Kļaviņam par konsultācijām un padomiem.

Spontāno rudzu maizes ieraugu ķīmisko un mikrobioloģisko rādītāju izmaiņas fermentācijas laikā
Changes in the Chemical and Microbiological Properties of Spontaneous Rye Sourdough during Fermentation

Emīls Kozlinskis, Līga Skudra, Tatjana Rakčejeva, Daiga Kunkulberga
LLU Pārtikas tehnoloģijas katedra
Department of Food technology, LLU
e-mail: Emils.Kozlinskis@gmail.com

Abstract. In traditional rye bread baking in Latvia, a spontaneous sourdough starter is used which microflora is determined in flour and in microorganism cultures in the external environment. The aim of this research was to analyze the chemical and microbiological parameters of spontaneous sourdough starters that were prepared using two types of flour – 100% medium extraction (ash content – 1.45%) rye flour (starter U), and 80% medium extraction rye flour with addition of 20% of biological enzyme-rich rye flour (starter M). Total titratable acidity (TTA) and pH were measured in each preparation step. Organic acids and reduced sugars were determined using HPLC (Agilent 1100). Amino acids as well as vitamins E, B1, B2, and B5 were determined in all samples. DNA was extracted directly from starter samples or from washed cells plated on MRS media. Microbial diversity of lactic acid bacteria (LAB) species was investigated using amplified V3 regions of 16S rDNA gene from the sourdough DNA. Denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) was used for community fingerprinting. Both sourdough starters (U and M) showed acceptable final pH and TTA values after a 48-hour fermentation (pH 4.05 and 4.11, and TTA – 13 and 12.6 respectively) representing active metabolism of LAB, and contained acceptable amounts of lactic acid bacteria – 7.24 and 7.62 log10 CFU g^{-1} respectively. Both spontaneous starter samples contained biologically active compounds which benefit the technological process of rye bread making. This is the first study to gain insight into the microflora of a spontaneous starter made in Latvian bread industry by using genetic methods.
Key words: spontaneous rye sourdough, fermentation, lactic acid bacteria.

Ievads

Pēdējo gadu desmitu laikā daudzās Eiropas valstīs pastiprinājusies interese par maizi, kas gatavota ar ieraugu (Spicher, Stephan, 1999). Aizvien vairāk patērētāju dod priekšroku veselīgai maizei ar aromātisku garšu, labu struktūru un ilgu glabāšanas laiku bez konservantiem. Palielinās arī pieprasījums pēc ekoloģiski tīras pārtikas, bioloģiskās saimniecībās audzētiem graudaugiem un no tiem ražotas maizes. Jāatzīmē, ka patērētāji uzturā vairāk izvēlas maizi, kuras ražošanas tehnoloģiskajā procesā tiek lietots ieraugs, kas uzlabo maizes kvalitāti un garšas īpašības (Hui, Meunier-Goddik et al., 2004).

Maizes gatavošanas procesā notiekošā fermentācija, proti, mīklas rūgšana, atšķiras no citu pārtikas produktu fermentācijām – tās mērķis nav paildzināt izejmateriālu uzglabāšanas laiku (kā, piemēram, produktu skābējot), bet pārvērst graudaugu produktus funkcionālākās un vieglāk izmantojamās formās.

Ieraugs ir miltu un ūdens maisījums, kurā pienskābo rūgšanu izraisa pienskābes baktērijas (PB). Ierauga sastāvā ir arī raugi, kuri ir nozīmīgi mīklas raudzēšanas kapacitātes nodrošināšanai. Lai gan oficiāla ierauga definīcija neeksistē, tā noteikti iekļauj visdažādāko veidu ieraugu produktus ar dzīvām PB. Pēc literatūrā publicētiem datiem (Loenner, Preve, 1988), ierauga sastāvā jābūt $5 \cdot 10^8$ kvv g^{-1} metaboliski aktīvu PB gramā, un tā pH jābūt mazākam par 4.5.

Vairums kviešu un rudzu maizes gatavošanā izmantoto ieraugu vēl joprojām tiek gatavoti, izmantojot nobriedušā ierauga porciju (mātes ieraugu), taču pastāv tendence izmantot definētas PB un raugu tīrkultūru asociācijas ar specifisku fermentācijas modeli vai spēju ražot antimikrobiālus savienojumus.

PB un raugu tīrkultūru asociācijām kļūstot komerciāli pieejamām, arī šī tendence kļuva izteiktāka.

Rudzu maizes ražošanā, lai uzsāktu fermentāciju, ceptuves izmanto gan pašu adaptētos ieraugus, gan pievieno komerciālās PB un raugu tīrkultūru asociācijas. Vairums Vācijas un Dānijas ceptuvju mīklai regulāri pievieno komerciālo ieraugu ar adaptētu mikrofloru, kas izdalīta no spontānajiem ieraugiem. Komerciālie ieraugi ir, piemēram, "Sanfrancisco sour" kviešu maizes gatavošanai un "Bocker-Reinzucht-Sauer" rudzu maizes gatavošanai (Hui, Meunier-Goddik et al., 2004).

Noturīgs un mikrobioloģiski stabils ieraugs ir pamats augstas kvalitātes maizes ražošanai. Ierauga fermentācijas kapacitāti nosaka tā mikroflora (PB un raugi), miltu tips (kviešu/rudzu, miltu izmaluma pakāpe, enzīmu aktivitāte), miltu/ūdens attiecība (mīklas iznākums) un tehnoloģiskā procesa parametri. Pie pēdējiem pieskaitāmi temperatūra, sākotnējais pH, pievienotā spontānā ierauga apjoms, „mātes ierauga" vai tīrkultūru asociācijas apjoms, fermentācijas laiks un ražošanas veids (cepiens/nepārtraukts). Visiem minētajiem procesa parametriem jābūt kontrolētiem (Hui, Meunier-Goddik et al., 2004).

Ieraugs tiek raksturots pēc ķīmiskajiem parametriem (titrējamā skābuma, pienskābes un etiķskābes satura), kā arī pēc tādiem mikrobiālajiem parametriem kā PB un raugu sugu kvalitatīvie un kvantitatīvie rādītāji (Hui, Meunier-Goddik et al., 2004).

Vairumā nobriedušu rudzu un kviešu ieraugu beigu pH ir 3.5–3.8 (Lund, Hansen, Lewis, 1989). Dažādu ieraugu pH rādītāji variē un atšķiras mazāk nekā titrējamā skābuma vērtības. Titrējamais skābums un pH ieraugā atkarīgs no fermentācijas temperatūras, miltu izmaluma pakāpes, kā arī no ūdens un miltu attiecības. Rudzu ieraugi parasti tiek gatavoti no augstākas maluma pakāpes miltiem nekā kviešu ieraugi, un titrējamā skābuma vērtības ir robežās no 15 līdz 26 (Spicher, Stephan, 1999).

Pienskābes un etiķskābes saturs ieraugā ir ļoti svarīgs maizes specifiskās garšas un aromāta nodrošināšanai (Hansen, Lund, Lewis, 1989). Ierauga skābju attiecības raksturošanai Vācijas pētnieki izmanto molāro attiecību starp pienskābi un etiķskābi – fermentācijas koeficientu (FK). Lai iegūtu maizi ar sabalansētām garšas īpašībām, FK skaitliskajai vērtībai ieraugā vajadzētu būt 4. Ja etiķskābe netiek ražota pietiekamā daudzumā, FK ir pārāk augsts un produkta garša ir neizteikta. Savukārt zema FK gadījumā (pārāk daudz etiķskābes) maizes garša ir pārāk izteikta un skāba (Spicher, Stephan, 1999). Tomēr etiķskābei, salīdzinot ar pienskābi, piemīt lielāks antimikrobiālais efekts pret pelējumu un aerobo endosporu veidojošo *Bacillu subtilis*, kura izraisa maizes mikrobiālo bojāšanos.

No visām fermentēto pārtikas produktu sistēmām tieši ierauga fermentācijā visnozīmīgākās ir heterofermentatīvās PB. *Lactobacillus sanfranciscensis* ir dominējošā suga gan rudzu, gan kviešu ieraugos. Arī *L. brevis* un *L. plantarum* bieži tiek konstatētas Krievijas, Vācijas, Austrijas un Zviedrijas ieraugos. Savukārt Vācijas, Austrijas, Somijas, Zviedrijas, Dānijas un Krievijas rudzu maizes ieraugos atrastas arī homofermentatīvās PB sugas – *L. acidophilus, L. alimentarius*, *L. delbrueckii, L. farciminis, L. leichmanii, L. mindensis*, un heterofermentatīvās – *L. casei, L. rhamnosus, L. buchnerii, L. cellobiosus*, *L. curvatus, L. fructivorans*, *L. fermentum*, *L. viridensis,* kā arī nesen atklātās *L. panis* un *L. frumenti*. Vācijas ieraugos ciešā asociācijā ar *L. sanfranciscensis* atrodama arī nesen atklātā *L. pontis*.

Mazāka *Lactobacillus* ģints daudzveidība novērota kviešu ieraugos, kur identificētas *L. alimentarius, L. casei, L. cellobiousus, L. curvatus, L. delbrueckii, L. farciminis, L. fermentum, L. lactis* un nesen atrasta arī *L. paralimentarius*. Turklāt no kviešu ieraugiem izolētas arī homofermentatīvās *Pediococcus* un *Weisella*, kā arī heterofermentatīvās *Leuconostoc* ģints baktērijas.

Ierauga mikroflora ir atkarīga no fermentācijas apstākļiem – miltu tipa, maluma pakāpes, ūdens attiecības, fermentācijas temperatūras, fermentācijas laika un ierauga atjaunošanas tehnoloģijas. Vairums ieraugu tiek fermentēti 30 °C temperatūrā, bet *L. delbrueckii* tiek izolēts no rudzu ierauga, kas fermentēts 50 °C temperatūrā (Spicher, Lonner, 1985). W.P. Hammes, P. Stolz un M.G. Ganzle (1996) atklājuši, ka dominējošās PB sugas biezos ieraugos ar fermentācijas temperatūru 23–30 °C ir *L. sanfranciscensis*, *L. pontis*, *L. fructivorans, L. fermentum* un *L. brevis.*

Dažiem industriālajiem ieraugiem raksturīgs augsts ūdens saturs – tie ir šķidri un tādējādi vieglāk izmantojami tehnoloģiskajās līnijās, tiem raksturīga paaugstināta fermentācijas temperatūra (>30 °C) un īsāks fermentācijas laiks (15–20 h). Šķidros ieraugus iespējams ražot lielos daudzumos, bieži izmantojot nepārtrauktās fermentācijas sistēmas, un atdzesēt uzglabāšanai rezervuāros līdz septiņām dienām. Šāda tipa ieraugos dominē *L. panis* (Wiese, Strohmar et al., 1996), *L. reuteri, L. sanfranciscensis* un *L. pontis* (Hammes, Stolz, Ganzle, 1996). Šķidros ieraugos vāji vairojas miltos esošās raugu sugas, tādēļ mīklai bieži pievieno maizes raugu (Hui, Meunier-Goddik et al., 2004).

Ja ieraugu uzglabā istabas temperatūrā, tajā turpinās fermentācijas process. PB ir jutīgas pret zemu vides pH ilgākā laika periodā, tādēļ tās var kļūt neaktīvas un pat aiziet bojā. Tādēļ, izvēloties komerciālo ieraugu, tiek dota priekšroka liofilizētiem ieraugiem. Tomēr PB ir jutīgas pret liofilizēšanu, tādēļ komerciālajos kaltētajos ieraugos esošajām PB jābūt izturīgām pret šo apstrādes veidu. No liofilizētiem komerciālajiem ieraugiem ir izolētas *L. plantarum*, *L. brevis* un *Pediococcus pentosaceus*. Tikai nesen ir pieejami komerciālie liofilizētie ieraugi, kas satur *L. sanfranciscensis* (Hammes, Stolz, Ganzle, 1996).

Ierauga mikrofloras identificēšana

Bieži vien daudzas PB nav iespējams identificēt ar tradicionālām metodēm, kas var radīt kļūdas to klasificēšanā. Dažas sugas uz laboratorijas barotnēm aug ļoti slikti, tādēļ tās ir grūti izolēt un identificēt. Ātrai klasificēšanai izveidots molekulāru zondēšanas metožu komplekts, kas ietver hibridizāciju un uz PCR (polimerāzes ķēdes reakcija) balstītas metodes, kā arī specifisku sekvenču atpazīšanu ribosomālajos gēnos (Vogel, Muller et al., 1996). Tomēr sugu līmenī šī zondēšana var būt ierobežota, jo tās var zaudēt savu specifiskumu, kad tiek atklātas jaunas sugas ar identiskām RNS sekvences daļam. Kā alternatīvu var izmantot taksonomisko metodi RAPD (nejauši amplificēta polimorfa DNS), ar kuras palīdzību iespējams konstatēt paraugu bioloģisko daudzveidību celmu līmenī un rezultātā iegūto elektroforētisko modeli sakārtot klasteros un salīdzināt ar datubāzi (Vogel, Knorr et al., 1999). Konsekventa 16S rRNS sekvenču analīzes pielietošana un DNS-DNS hibridizācijas eksperimenti ir palīdzējuši identificēt daudzas jaunas sugas. No rudzu ieraugiem izolētas *L. pontis* un *L. panis* (Vogel, Bocker et al., 1994), kā arī pēdējā laikā – *L. frumenti* un *L. mindensis* (Ehrmann, Vogel, 2005).

Viena no labākajām bakteriālo izolātu identificēšanas metodēm ir dažādu, ar PCR amplificētu (pavairotu), 16S rRNS reģionu sekvenēšana un salīdzinošā sekvenču analīze ar jau eksistējošām sekvencēm, kas organizētas datu bāzēs, piemēram, ARB vai BLAST (Müller, Wolfrum et al., 2001).

16S rRNS sekvenču datu salīdzinošā analīze atklāj trīs filoģenētiski atšķirīgus „ierauga PB” klāsterus. Pirmais klāsteris *(L. delbrueckii* grupa) iekļauj *L. delbrueckii* un 11 citas obligāti homofermentatīvas sugas. Otrais klāsteris *(L. casei/Pediococcus* grupa) iekļauj 32 *Lactobacillus* sugas (ieskaitot *L. alimentarius)* un piecas *Pediococcus* sugas. Trešais klāsteris *(Leuconostoc paramesenteroides* grupa) iekļauj heterofermentatīvās *Weisella* baktērijas. 16S rRNS *Lactobacillus* ģints grupas neatbilst līdz šim pieņemtajam iedalījumam apakšģintīs *Thermobacterium, Streptobacterium* un *Betabacterium*, kā arī trim grupām pēc fizioloģiskā iedalījuma – obligāti homofermentatīvās, fakultatīvi homofermentatīvās un heterofermentatīvās PB (Collins, Rodrigues et al., 1991).

Viena no galvenajām molekulārās pieejas priekšrocībām ir iespēja novērtēt PB klātbūtni, attīstību un dzīvotspēju ieraugā bez mikroorganismu kultivēšanas. Ribosomālo DNS amplikonu denaturācijas vai temperatūras gradienta gēla elektroforēze (attiecīgi DGGE vai TGGE) ir labi piemērota metode kompleksas ekosistēmas dalībnieku un to aktivitātes novērtēšanai laika vienībā (Ehrmann, Vogel, 2005).

Pētījuma mērķis ir izvērtēt fizikāli ķīmiskos un mikrobioloģiskos rādītājus spontānajos rudzu ieraugos, kas gatavoti, izmantojot rudzu skrotētos un bioloģiski aktivētus rudzu graudu miltus.

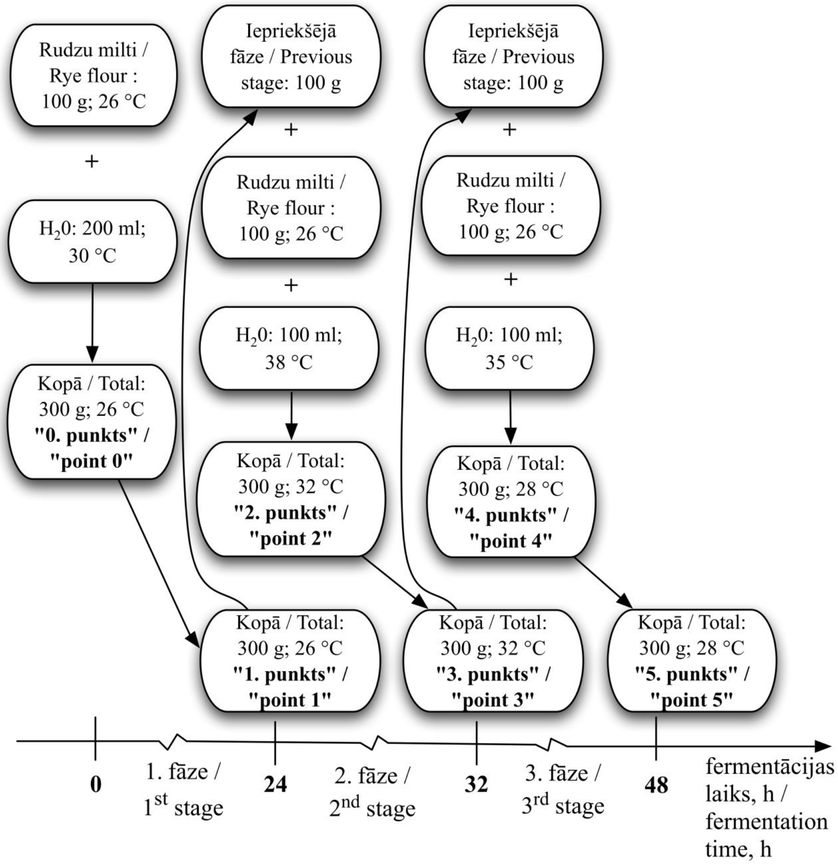
Materiāli un metodes

Ieraugi gatavoti un to fizikālie un ķīmiskie, kā arī bioķīmiskie un mikrobioloģiskie rādītāji noteikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Pārtikas Tehnoloģijas katedras laboratorijās, Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūtā, Latvijas Universitātes Bioloģijas institūtā un Kopenhāgenas Universitātes Dzīvības zinātņu fakultātē.

Eksperimentos izmantotas šādas izejvielas:

- a/s „Jelgavas Dzirnavas” skrotētie rudzu milti – 1370. tips (mitrums – 13.4%, pelnvielu daudzums – 1.45%);
- SIA „Jelgavas Dzirnavas” rudzu graudi (mitrums – 33.66% pēc aktivēšanas);
- dzeramais ūdens graudu skalošanai un mitrināšanai (atbilstoši LR Ministru kabineta 2003. gada noteikumiem Nr. 235 „Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma prasības”).

Spontānā ierauga gatavošanā izmantots trīs fāzu fermentācijas process, kas kopumā ilga 48 stundas, ieraugu divas reizes atjaunojot – pievienojot jaunu ūdens un miltu porciju (1. att.).



1. att. Trīs fāzu spontāna rudzu ierauga fermentācijas tehnoloģiskais process.
Fig. 1. Technological process of a three-stage spontaneous rye sordough fermentation.

Spontānā ierauga (U) gatavošanā izmantoti 100% skrotēto rudzu graudu milti, bet spontānā ierauga (M) gatavošanā – 20% rudzu graudu skrotēto miltu aizstāti ar bioloģiski aktivētu rudzu graudu miltiem. Fermentācija norisinājās firmas „Memmert" inkubatoros „IPP 400", un paraugi tika ņemti pirms un pēc katras fermentācijas fāzes: 0. un 1. punkts 1. fāzē, 2. un 3. punkts 2. fāzē un 4. un 5. punkts 3. fāzē.

Titrējamā skābuma noteikšanai ieraugos izmantota standartmetode pēc G. Spicher un H. Stephan (1999). PH noteikšanai izmantots „Jenway 3250" pH-metrs, titrējamā skābuma noteikšanai – 0.1 N NaOH.

B_1, B_2, B_5 un E vitamīna saturs ieraugu paraugos noteikts attiecīgi pēc AOAC standartmetodēm 986.27., 970.65., 961.14. un 971.30.

Organisko skābju (pienskābes, etiķskābes, dzintarskābes) un ogļhidrātu (glikozes, fruktozes, maltozes) koncentrācija noteikta, izmantojot šķidruma hromatogrāfu „Agilent 1100" ar spektrofotometrisko detektoru. Datu analīzei izmantota datorprogramma „Agilent Chemistation".

Ieraugiem veikta mikrobioloģiskā testēšana un decimālatšķaidījumu gatavošana. Testa paraugu noņemšana veikta atbilstoši standartam LVS EN ISO 8261. Noteikti šādi rādītāji:

– mezofīli aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu (MAFAM) kopskaits (standarts LVS EN ISO 4833);
– raugi (standarts ISO 21527-2);
– pienskābes baktērijas (PB), lietojot selektīvo MRS (Ref. 01-111) barotni.

Uzsējumi MAFAM noteikšanai veikti uz gaļas peptona agara (Nutrient Agar Ref. 01-140), raugu noteikšanai – uz iesala ekstrakta agara barotnes (Ref. 01-111). Mikroorganismu koloniju skaita noteikšanai izmantots automātiskais koloniju skaitītājs Acolyte®.

Iegūto datu apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm; iegūtajiem rezultātiem aprēķināti vidējie aritmētiskie lielumi; rezultātu ticamības līmenis *(p)* un standartnovirzes noteiktas ar Microsoft Excel programmas paketi.

Pienskābes baktērijas identificētas, izmantojot „API 50 CHL" testu. Ierauga mikrobiālās ekosistēmas daudzveidība pētīta, izmantojot amplificētus V3 reģionus no 16S ribosomālā ierauga DNS. Mikroorganismu ekosistēmas identificēšanai izmantota denaturējošā gradienta gēla elektroforēze (DGGE).

DNS attīrīšana veikta pēc standartmetodes, izmantojot GenElute™ „Bacterial Genomic DNA Kit". DNS attīrīts no ieraugu paraugiem, tos centrifugējot (A tips), vai no MRS barotnē izaugušo PB koloniju veidojošo vienību suspensijas (B tips). Pēc DNS attīrīšanas supernatantu ievietoja saldētavā -20 °C tālākai izmantošanai polimerāzes ķēdes reakcijā (PCR). Pēc DNS klātbūtnes pārbaudes iespējams veikt PCRm, izmantojot „Stratagene RoboCycler Gradient 96 PCR" iekārtu ar automātisku paraugu pārvietošanas iespēju dažādos temperatūras režīmu blokos. PCR reakcijā ar karstumizturīgas polimerāzes palīdzību nepieciešamais DNS fragments tika pavairots. Reakcija ietvēra trīs soļus: DNS dubultspirāles sadalīšana 94 °C, praimeru pievienošanās DNS vienpavediena struktūrai 60 °C, vajadzīgā fragmenta sintēze 72 °C. Šie soļi atkārtojās cikliski 35 reizes. Iegūstot veiksmīgi amplificētus rDNS reģiona rezultātus, iespējams veikt mikrobiālās ekosistēmas izpēti, izmantojot DGGE standartmetodi poliakrialamīda gēlā ar „INGENYphorU-2" sistēmas palīdzību. Mikroorganismu sugu identificēšanai gēlā nepieciešams ievadīt paraugkultūru sajaukumus (Mix 1 un Mix 2). DGGE iegūtie dati tika apstrādāti ar programmatūru „BioNumerics", izmantojot Pearson vai Dice algoritmu un izveidojot mikrobiālās sistēmas klāsterus.

Rezultāti un diskusija

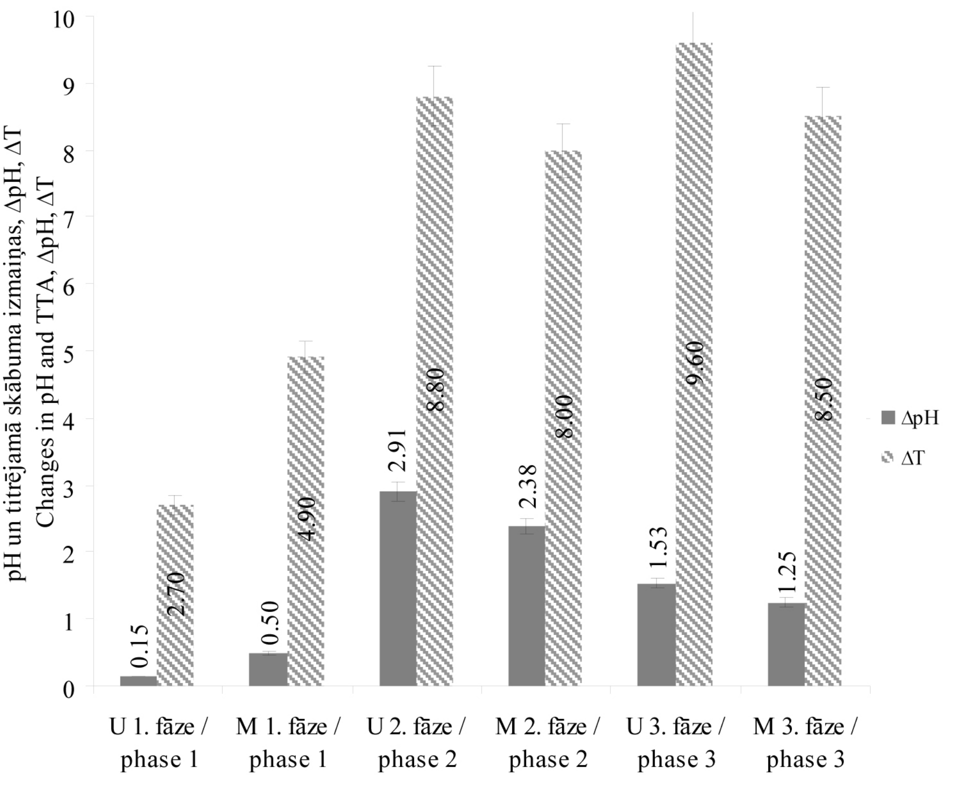
Izvērtējot pH un titrējamā skābuma izmaiņas spontānajos ieraugos, var secināt, ka strauja titrējamā skābuma paaugstināšanās un korelācija ar pH vērtības pazemināšanos vērojama ieraugu gatavošanas otrajā un trešajā fāzē (2. att.).

Pirmajā fermentācijas fāzē M ieraugam konstatēts lielāks titrējamā skābuma pieaugums un pH samazinājums nekā U ieraugam ($\Delta_T M > \Delta_T U$ par 81%; $\Delta_{pH} M > \Delta_{pH} U$ par 70%).

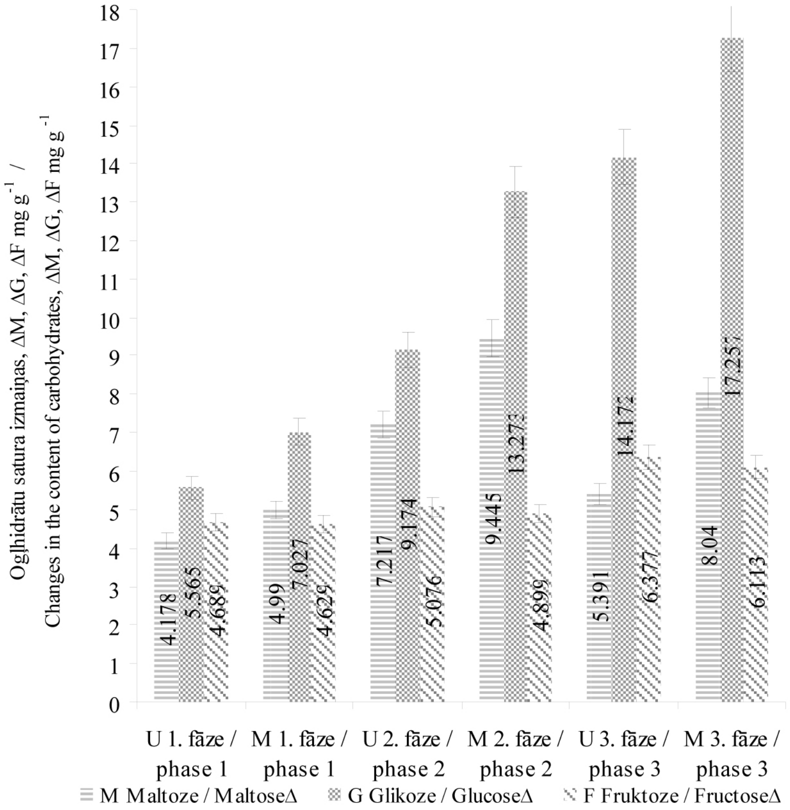
Savukārt fermentācijas otrajā un trešajā fāzē lielāks titrējamā skābuma pieaugums un pH samazinājums konstatēts U ieraugam, salīdzinot ar M ieraugu (2. fāzē $\Delta_T U > \Delta_T M$ par 9%; 3. fāzē $\Delta_T U > \Delta_T M$ par 11%; 2. un 3. fāzē $\Delta_{pH} U > \Delta_{pH} M$ par 18%). To var izskaidrot ar fermentācijas procesā ieraugos esošo enzīmu un mikroorganismu sastāvu un darbību.

Pētījumā noteiktas arī glikozes, fruktozes un maltozes koncentrāciju pieauguma izmaiņas fermentācijas laikā (3. att.).

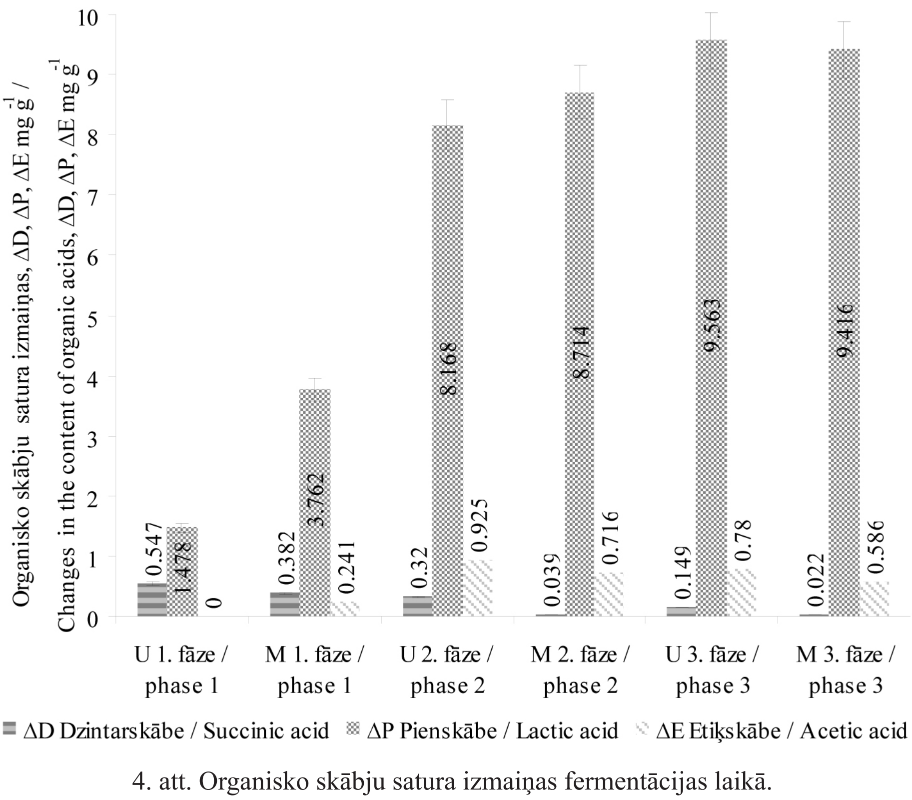
Vislielākās glikozes koncentrācijas izmaiņas ieraugā novērojamas fermentācijas 3. fāzē, kad M ieraugā glikozes koncentrācija palielinājās par 18% vairāk nekā U ieraugā. Tas izskaidrojams ar enzīmu



2. att. Titrējamā skābuma un pH izmaiņas ieraugos fermentācijas laikā.
Fig. 2. Changes in pH and TTA in sourdoughs during fermentation.



3. att. Ogļhidrātu satura izmaiņas ieraugos fermentācijas laikā.
Fig. 3. Changes in the content of carbohydrates in sourdoughs during fermentation.



4. att. Organisko skābju satura izmaiņas fermentācijas laikā.
Fig. 4. Changes in the content of organic acids in sourdoughs during fermentation.

α un β amilāžu aktivitāti, kas hidrolizē cieti (Hui, Meunier-Goddik et al., 2004), un ar pienskābes baktēriju un raugu metabolismu. Būtisks maltozes pieaugums 2. fermentācijas fāzē bija vērojams M ieraugā, kas par 31% pārsniedza U ierauga rādītāju. Fruktozes koncentrācija visvairāk palielinājās ieraugu fermentācijas 3. fāzē. Tāpat kā pH un titrējamais skābums, arī ogļhidrātu izmaiņu dati uzrādīja augstāku metabolisko aktivitāti abu ieraugu fermentācijas 2. un 3. fāzē.

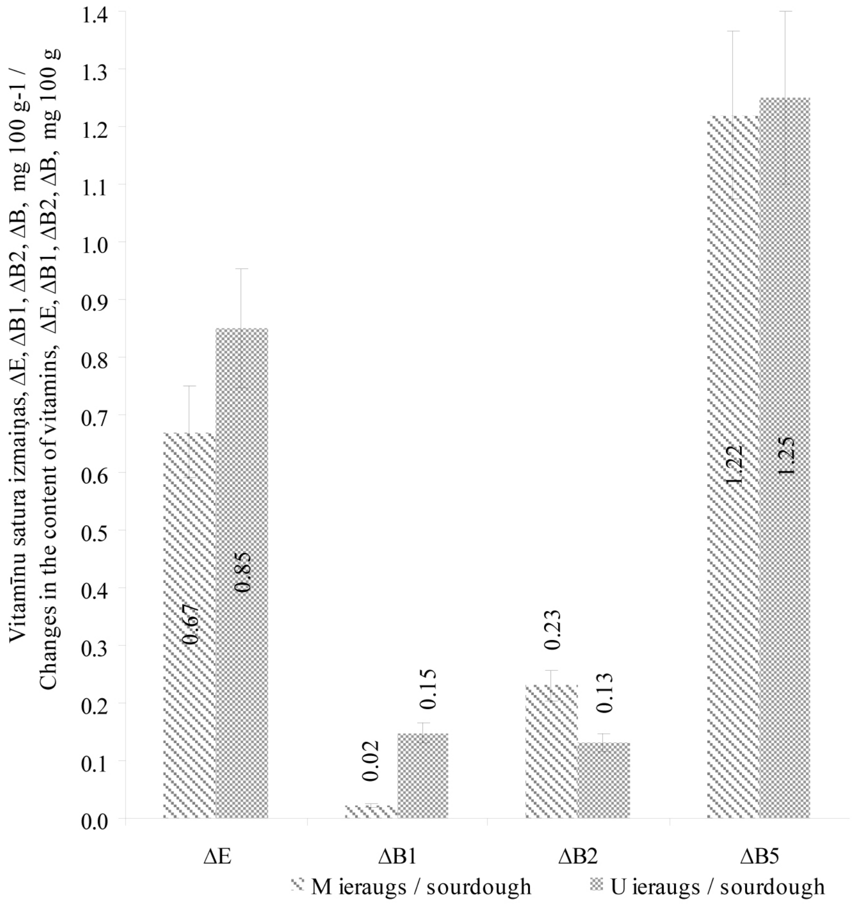
Pētījumu rezultāti par organisko skābju izmaiņām ieraugu fermentācijas fāzēs atklāja identisku to koncentrāciju izmaiņu tendenci, salīdzinot ar ogļhidrātu satura izmaiņām.

Pienskābes un etiķskābes koncentrācija būtiski palielinājās fermentācijas 2. un 3. fāzē gan U, gan M ieraugā (4. att.). Pienskābes satura izmaiņas kļūdas robežās (p=95%) sakrita abiem paraugiem gan 2., gan 3. fermentācijas fāzē. Etiķskābes satura pieaugums 2. un 3. fermentācijas fāzē U paraugā pārsniedza M parauga rādītājus attiecīgi par 11% un 25%. Dzintarskābes saturs pēc fermentācijas samazinājās 24 stundas gan U, gan M ieraugā. Tas skaidrojams ar atšķirīgu dominējošo heterofermentatīvo PB sugu darbību fermentācijas 2. un 3. fāzē, kas aktīvāk producē etiķskābi un dzintarskābi.

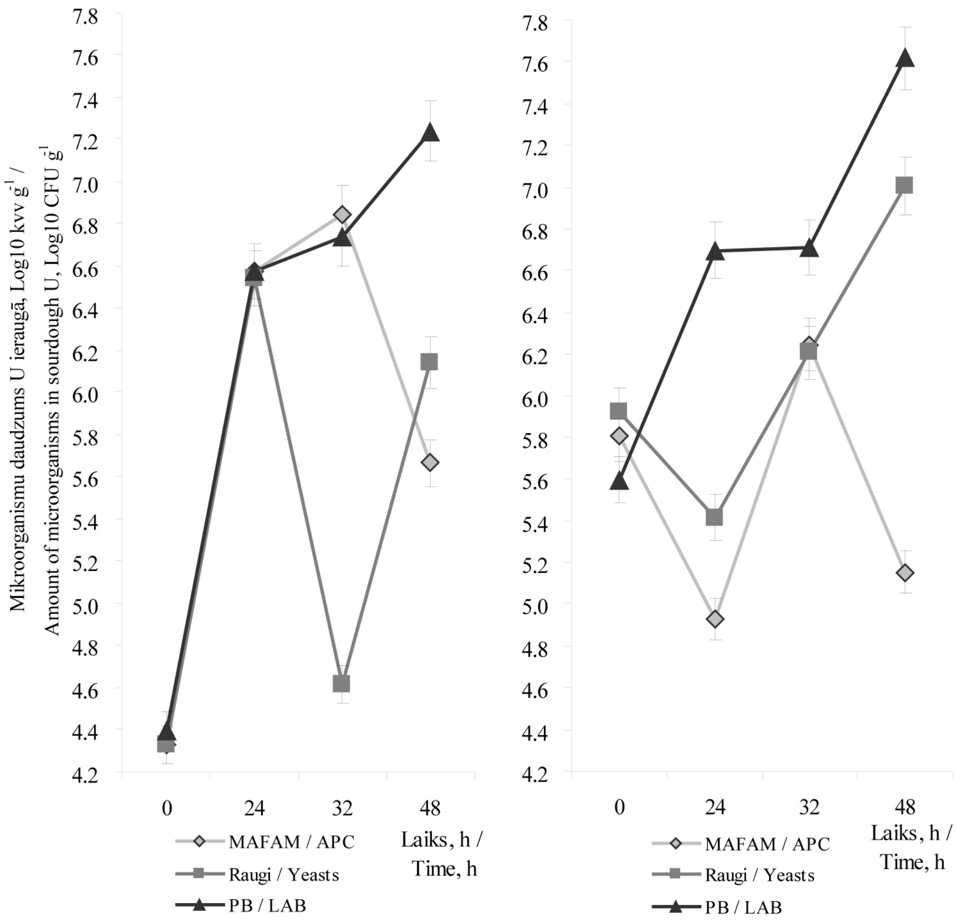
No pētītajiem B grupas vitamīniem vislielākais pieaugums fermentācijas gaitā bija B_5 vitamīnam, kas ticamības robežās abu ieraugu paraugos bija vienāds (p=95%). B_2 vitamīna koncentrācija M paraugā palielinājās būtiskāk (par 43%) nekā U paraugā, taču B_1 vitamīna saturs M paraugā fermentācijas gaitā praktiski palika nemainīgs (5. att.). Kā zināms no literatūras datiem (Казаков un Карпиленко, 2005), B_1 vitamīns ietilpst pirovātdekarboksilāzes sastāvā un tiek izmantots šī enzīma sintēzē.

E vitamīna izmaiņas fermentācijas gaitā ieraugu paraugos nebija būtiskas (5. att.).

Ierauga mikrofloras dinamikas rādītāji liecināja par intensīvu pienskābes baktēriju un raugu darbību fermentācijas pirmajā fāzē U ieraugā – PB koncentrācija palielinājās par 49%, bet raugu – par 51% (6. att.). M paraugā PB koncentrācija palielinājās tikai par 20%, taču,



5. att. Vitamīnu satura izmaiņas ieraugos fermentācijas laikā.
Fig. 5. Changes in the content of vitamins in sourdoughs during fermentation.



6. att. Ieraugu mikrofloras rādītāji katras fermentācijas fāzes beigās.
Fig. 6. Plate count of microorganisms at the end of fermentation phases.

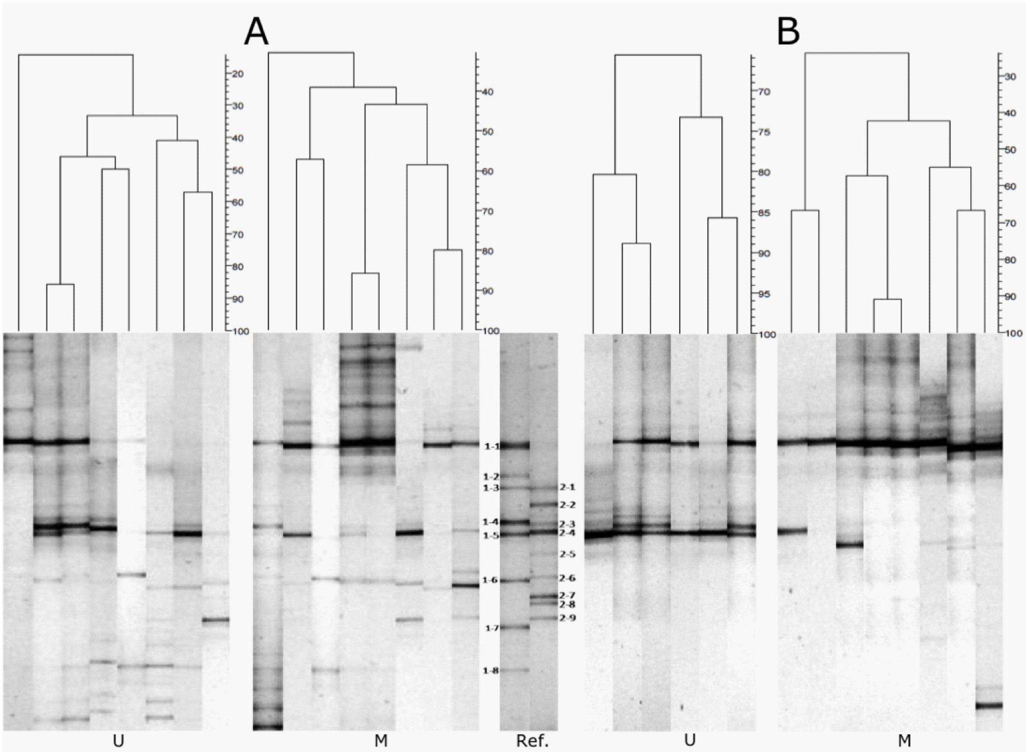
1. tabula / Table 1

Izmantotās paraugkultūras un to novietojums DGGE gēlā
Reference strains and their position in DGGE gel

Novietojums	Paraugkultūra	Novietojums	Paraugkultūra
1-1	*Lactobacillus plantarum, Lactobacillus alimentarius*	2-1	*Lactobacillus pontis*
1-2	*Lactobacillus fermentum*	2-2	*Lactobacillus brevis*
1-3	*Leuconostoc mesenteroides*	2-3	*Lactobacillus sakei*
1-4	*Lactobacillus coryniformis*	2-4	*Lactobacillus curvatus*
1-5	*Lactobacillus delbrueckii*	2-5	*Pediococcus pentosaceous; Lactobacillus mindensis*
1-6	*Weissella cibaria*	2-6	*Pediococcus acidilactici*
1-7	*Lactobacillus lindneri*	2-7	*Lactobacillus namurensis*
1-8	*Lactobacillus casei, Lactobacillus zeae*	2-8	*Lactobacillus sanfranciscensis*
		2-9	*Lactobacillus secaliphilus.*

ņemot vērā augstu sākotnējo PB koncentrāciju, pēc fermentācijas 1. fāzes tā kļūdas robežās (*p*=95%) sakrita ar PB koncentrāciju U ieraugā. Fermentācijas 2. fāzē PB skaits abos ieraugos palielinājās līdz 6.73±0.02 log10 kvv g^{-1}, bet fermentācijas beigās sasniedza 7.24 (U) un 7.62 (M) log10 kvv g^{-1}.

Sākotnējā raugu koncentrācija U ieraugā bija 4.33 log10 kvv g^{-1}, bet M ieraugā sasniedza



Fermentācijas stunda / Hour of fermentation	24	24	0	48	32	48	32	0	0	48	24	0	32	32	48	24	48	48	32	24	32	24	48	32	48	24	0	24	32	0
Eksperiments / Experiment	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2

7. att. Ieraugos esošo PB zīmes DGGE gēlos A tipa paraugos, kur DNS ekstrahēts tieši no ierauga, un B tipa paraugos, kur DNS ekstrahēts no MRS barotnē izaugušo koloniju suspensijas.
Fig. 7. Bands of type A sourdough samples (DNA extracted directly from sourdough) and type B sourdough samples (DNA extracted from colony suspension in MRS broth) in DGGE gels.

5.92 log10 kvv g^{-1}, jo bioloģiskās aktivēšanas procesā bija veidojušies optimāli apstākļi raugu vairošanai.

Aktīva pienskābes baktēriju metabolisma rezultātā fermentācijas 1. fāzē raugu koncentrācija M ieraugā būtiski pazeminājās līdz 5.42 log10 kvv g^{-1}. Šī tendence bija novērojama arī U ieraugā, kur fermentācijas 2. fāzē raugu koncentrācija pazeminājās no 6.54 līdz 4.62 log10 kvv g^{-1}. Fermentācijas beigās raugu koncentrācija M ieraugā bija par vienu pakāpi augstāka nekā U ieraugā un sasniedza 7.01 log10 kvv g^{-1}, kas atbilst mīklā izmantojama ierauga prasībām (Biotechnology, 1995).

Izvērtējot mikrofloras attīstību ieraugos, var secināt, ka U ieraugā fermentācijas 1. fāzē intensīvi attīstās MAFAM, bet M ieraugā to skaits samazinās, jo M ierauga gatavošanā izmantojot aktivēto graudu piedevu, rodas labvēlīga vide raugu un pienskābes baktēriju attīstībai. Jāatzīmē, ka viena no dominējošām MAFAM grupām ir *Bacillus* ģints aerobās endosporu veidojošās baktērijas, kuras spēj hidrolizēt olbaltumvielas un radīt sārmainu vidi, kas nav labvēlīga PB un raugu attīstībai. Tāpēc PB un raugi tiek kultivēti uz selektīvām barotnēm, kur, vairojoties optimālos apstākļos, to skaits pārsniedz koloniju daudzumu, kas izaug uz gaļas peptona agara (MAFAM) barotnes.

DGGE analīžu veikšanai tika izvēlētas paraugkultūras *(reference strains)*, kuru amplificētus 16s gēna rDNS fragmentus (V3 reģionu) ievadot gēlā, iegūst „pēdas”. Tās poliakrilamīda gēlā parādās pie konkrētiem gradientu procentiem, tādējādi nostājoties konstantās vietās. Tika izvēlētas paraugkultūras, kas literatūras avotos minētas kā rudzu ieraugiem raksturīgas (1. tabula).

DGGE analīžu rezultāti (7. att.) parādīja šādus dominējošos PB celmus: *Lactobacillus plantarum* 1369, *Lactobacillus alimentarius* 1627, *Lactobacillus delbrueckii* 1646*,* un *Lactobacillus curvatus subsp. curvatus* 2207 abos paraugos. Ievērojami zemāka mikrobiālā daudzveidība redzama paraugos, kur DNS ekstrahēts no MRS barotnē izaugušo koloniju suspensijas (B tipa paraugi), kurā *Lactobacillus secaliphilus 17896* un *Lactobacillus zeve 1639* „pēdas" pazūd pilnībā. Iespējams, to var izskaidrot ar atmirušu šūnu „pēdām", kas parādās poliakrilamīda gēlā paraugos, kur DNS ekstrahēts tieši no ierauga (A tipa paraugi), vai ar nepietiekamiem augšanas apstākļiem iepriekšminēto mikroorganismu attīstībai.

M ieraugā stabila dominējošā PB suga (gan A, gan B tipa paraugos) bija *Lactobacillus plantarum* 1369 un *Lactobacillus alimentarius* 1627, savukārt U ieraugā pēc 24 stundu fermentācijas sāka dominēt *Lactobacillus curvatus subsp. curvatus* 2207.

DGGE rezultāti skaidri parāda mikrobioloģiskās daudzveidības atšķirības starp 1. un 2. eksperimentu. Izmantojot DGGE metodi, visos spontānā ierauga paraugos tika identificēts rauga *Saccharomyces cerevisiae 50* celms.

„API 50 CHL" testa rezultāti uzrāda identificētas PB sugas *Pediococcus damnosus (Pediococcus cerevisiae), Lactobacillus brevis* un *Lactobacillus fermentum*, kas, iespējams, ir neidentificētās sugas DGGE gēlos un neatbilst nevienai no paraugkultūrām, vai pārstāv citu sugas celmu.

Secinājumi

1. Pienskābes baktēriju un raugu aktīva metabolisma rezultātā fermentācijas procesa beigās ieraugā, kas gatavots no skrotētiem miltiem, pH pazeminājās līdz 4.05, un ieraugā ar bioloģiski aktivētu rudzu graudu miltu piedevu – līdz 4.11, bet titrējamais skābums paaugstinājās attiecīgi līdz 13.0 un 12.6°.
2. Organisko skābju un ogļhidrātu satura izmaiņas ieraugu fermentācijas fāzēs bija praktiski vienādas.
3. Ieraugu fermentācijas procesā visintensīvāk palielinājās B_5 vitamīna saturs.
4. Ierauga gatavošanā pievienojot bioloģiski aktivētu rudzu graudu piedevu un radot labvēlīgu vidi pienskābes baktēriju un raugu attīstībai, ierauga fermentācijas 1. fāzē iespējams samazināt mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu attīstību.
5. Ieraugā ar bioloģiski aktivētu rudzu graudu piedevu fermentācijas procesa beigās pienskābes baktēriju un raugu daudzums sasniedza attiecīgi 7.62 log10 kvv g^{-1} un 7.01 log10 kvv g^{-1}, kas atbilst kvalitatīva ierauga rādītājiem.
6. Eksperimentos izmantojot API testu, ieraugos tika identificētas *Pediococcus damnosus, Lactobacillus brevis* un *Lactobacillus fermentum* pienskābes baktēriju sugas un raugu suga *Saccharomyces cerevisiae*.
7. Izmantojot DGGE metodi, abu ieraugu fermentācijas procesa beigās bija vērojama līdzīga un stabila dominējošo pienskābes baktēriju celmu asociācija, kurā ietilpa *L. plantarum* 1369, *L. alimentarius* 1627, *L.curvatus subsp. curvatus* 2207, *L. delbrueckii* 1646 un rauga *Saccharomyces cerevisiae* 50 celms.

Literatūra

1. *Biotechnology.* (1995) 2nd edition. Volume 9. Enzymes, Biomass, Food, and Feed. Edited by G. Reed and T.W. Nagodawithana. VCH Publishers, Weinheim and New York, 243–318.
2. Collins, M.D., Rodrigues, U., Ash, C., Aguerre, M., Farrow, J.A.E., Martinez-Murcia, A., Phillips, B.A., Williams, A.M., Wallbanks, S. (1991) Phylogenetic analysis of the genus *Lactobacillus* and related lactic acid bacteria determined by reverse transcriptase sequence of 16S rRNA. *FEMS Microbiol. Lett.,* 77, 5–12.
3. Ehrmann, M.A., Vogel, R.F. (2005) Molecular taxonomy and genetics of sourdough lactic acid bacteria. *Trends in Food Science and Technology,* 16, 31–42.
4. Hammes, W.P., Stolz, P., Ganzle, M.G. (1996) Metabolism of lactobacilli in traditional sourdoughs. *Advances in Food Science,* 18, 176–184.
5. Hansen, A., Lund, B., Lewis, M.J. (1989) Flavour production and acidification of sour doughs in relation to starter culture and fermentation temperature. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie,* 22, 145–149.
6. Hui, Y. H., Meunier-Goddik, L., Hansen, A.S., Josephsen, J., Nip, W., Stanfield, P.S., Toldra, F. (2004) *Handbook of food and beverage fermentation technology*. Marcel Dekker, New York, 729–754.
7. Loenner, C., Preve, A.K. (1988) Acidification properties of lactic acid bacteria in rye sourdoughs. *Food Microbiology*, 5, 43–58.
8. Lund, B., Hansen, A., Lewis, M. J. (1989) The influence of dough yield on acidification and production of volatiles in sour doughs. *Leben-smittel Wissenschaft und Technologie*, 22, 150–153.
9. Müller, M.R.A., Wolfrum, G., Stolz, P., Ehrmann, M.A., Vogel, R.F. (2001) Monitoring

the growth of *Lactobacillus* during rye flour fermentation. *Food Microbiol.,* 18, 217–227.
10. Spicher, G., Lonner, C. (1985) Die mikroflora des sauerteiges. XXI. Mitteilung: die in sauerteigen schwedischer backereien vorkommenden lactobacillen. *Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 181, 9–13.
11. Spicher, G., Stephan, H. (1999) *Hanbuch Sauerteig, Biologie, Biochemie, Technologie*. BEHR'S Verlag, Hamburg, 223–403.
12. Vogel, R.F., Bocker, G., Stolz, P., Ehrmann, M.A., Fanta, D., Ludwig, W., Pot, B., Kersters, K., Schleifer, K. H., Hammes, W.P. (1994) Identification of lactobacilli from sourdough and description of *Lactobacillus pontis* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol*., 44, 223–229.
13. Vogel, R.F., Knorr, R., Muller, M.R.A., Steudel, U., Ganzle, M.G., Ehrmann, M.A. (1999) Non-dairy lactic fermentations: the cereal world. *Antonie van Leeuwenhoek,* 76, 403–411.
14. Vogel, R.F., Muller, M., Stolz, P., Ehrmann, M. (1996) Ecology in sour-doughs produced by traditional and modern technologies. *Adv. Food Sci.,* 18, 152–159.
15. Wiese, B.G., Strohmar, W., Rainey, F.A., Diekmann, V. (1996) *Lactobacillus panis* sp. nov., from sourdough with a long fermentation period. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 46, 449–453.
16. Казаков, Е.Д., Карпиленко, Г.П. (2005) *Биохимия зерна и хлебопродуктов*. ГИОРД, Санкт-Петербург, 510 стр.

Pateicības

Pētījums veikts ESF projekta „Pārtikas nozares zinātniski pētnieciskās grupas izveide" līguma Nr. 2009/0232/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/122 ietvaros.
Analīzes pētījumam veiktas ar ESF projekta "Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai", vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017/, līguma Nr. 04.4-08/EF2.D3.12 atbalstu.

Development of Mathematical Model for Calculation of Cooking Regimes of *Sous Vide* Packaged Mayonnaise-based Salad with Meat
Matemātiskā modeļa izstrāde termiskās apstrādes režīmu aprēķināšanai salātiem ar gaļu un majonēzi *sous vide* iepakojumā

Vita Levkāne, Sandra Muižniece-Brasava, Lija Dukaļska
Department of Food Technology, LLU
LLU Pārtikas tehnoloģijas katedra
e-mail: Vita.Levkane@gmail.com
Uldis Iļjins
Department of Physics, LLU
LLU Fizikas katedra
e-mail: Uldis.Iljins@llu.lv

Abstract. Mayonnaise-based salad with meat has been identified as a ready-to-eat food with high incidence of microbial contamination. Experiments were carried out at the Department of Food Technology of the Latvia University of Agriculture to determine thermal inactivation (D-values and Z-values) of aerobic colony count (ACC) during pasteurization of *sous vide* packaged ready-to-eat mayonnaise-based salad with meat at the ambient temperature of t_a=+(50.0, 55.0, 60.0, 65.0, and 70.0)±0.5 ºC. The temperature of the product during thermal treatment process was measured in the core of the pouch every minute, and ACC colony forming units (cfu g^{-1}) were determined by standard procedures for fresh prepared salad at 0 minute of the experiment as well as after every 10, 20, 30 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, and 120 thermal treatment minutes. The experiments proved that D-values, required for tenfold reduction of ACC population in mayonnaise-based salad with meat thermally treated in a water bath and a convection air/steam oven, are equivalent. The graphically calculated Z-values can be used to determine the pasteurization time at any ambient temperature in a water bath as well as in a convection air/steam oven. The pasteurization time for both thermal processes at one and the same temperature was equivalent.
Key words: D-value, mayonnaise-based salad with meat, *sous vide* packaging, Z-value.

Introduction

A mayonnaise-based salad with meat is a ready-to-eat product widely consumed in Latvia. It is consumed as an appetizer and side dish. Mayonnaise-based salads with meat belong to perishable foods having a short shelf life. A commercially made mayonnaise-based salad with meat can be obtained as a microbiologically stable food through applications of hurdle technological principles and Good Manufacturing and Hygiene Practices, and it needs refrigerated storage to achieve prolonged shelf life in order to be commercially viable (Muižniece-Brasava, Levkāne, Dukaļska, 2008). For such microbiologically stable, complex foods, end of shelf life is usually signalled by an unacceptable loss of sensory attributes (Juneja, 2006).

Sous vide packaging is successful for the shelf life extension of ready-to-eat foods. This technology has been used in restaurants, catering establishments and industrial processing companies. Many studies have proved that s*ous vide* packaging is effective particularly for meat and meat products (Church, Parsons, 1999; Juneja, 2006; Nishimura, Miyamoto, Higasa, 2004; O'Mahoney, O'Riordan et al., 2004; Rybka-Rodgers, 2001). Nowadays it is becoming increasingly popular, because it affords convenient, ready-to-eat foods of high sensory quality, prevents evaporation losses of water and flavour volatiles during heat treatment, at the same time also maintaining nutritional quality by reducing oxidative reactions of nutrients during preparation and storage (Carlin, 2000; Sheard, Rodger, 1995).

Sous vide packaging is an interrupted catering system in which raw or precooked foods are packaged under a vacuum in heat-stable, high barrier packaging materials, and then thermally treated (pasteurized) by controlled cooking in water, in hot air, or in water steam below +100.0 ºC. The heating is followed by rapid cooling. Afterwards the products are stored refrigerated at 0 to +4.0 ºC, and then distributed and retailed under refrigerated conditions so as to inhibit the growth of aerobic microorganisms (Armstrong, McIlveen, 2000; Cobos, Diaz, 2007). Some studies (Gonzalez-Fandos, Garcia-Linares et al., 2005; Nissen, Rosnes et al., 2002) declare results obtained from a three-year experimental *sous vide* packaged ready-to-eat food testing, and find that in such products the chances of survival and growth of pathogens seem very low since psychotropic, toxin-producing strains of *Bacillus* or *Clostridium spp.* are rare or nonexistent due to the low oxygen tension produced in foods. Therefore at low storage temperature the health risk of these products seems small. Thereby, according to microbial testing of ready-to-eat end products, *sous vide* packaged foods have received a lot of attention from the researchers (Nyati, 2000; Siripon, Tansakul, Mittal, 2007).

Pasteurization is critical to minimize the growth of spoilage microorganisms during storage of *sous vide* packaged foods. The processing parameters, however, should be kept at a minimum in order to retain maximum quality. The pasteurization parameters must be developed individually for each product (Ghazala, Ramaswang et al., 1995). The advantage is due to the reduction of natural spoilage bacteria via pasteurizing and storage under refrigeration conditions that limit competitive bacterial growth. To develop effectiveness of in-package thermal treatment processes for a mayonnaise-based salad with meat, the rate of inactivation of target microorganisms (i.e. *L. monocytogenes*, *Salmonella, S.aureus)* at various processing temperatures must first be determined (Mazzotta, 2001). To establish an effective heat processing treatment for production of a pathogen-free, ready-to-eat mayonnaise-based salad with meat, decimal reduction of microorganisms (D-values and Z-values) must be determined (Murphy, Marks et al., 2000). The term “D-value” refers to decimal reduction time and denotes the amount of time that it takes at a certain temperature to kill 90% of the organisms being studied. Thus, after an organism has been reduced by 1 D-value, only 10% of the original organisms remain. Z-value of an organism is the temperature, in degrees Celsius, that is required for the thermal destruction curve to move one log cycle. While the D-value shows the time needed at a certain temperature to kill an organism, the Z-value relates the resistance of an organism to differing temperatures. So, the Z-value allows calculating the thermal process of equivalency, if there is one D-value and the Z-value.*

The experiments were carried out to determine thermal inactivation (D-values and Z-values) of the aerobic colony count (ACC) of microorganism survival during pasteurization of a *sous vide* technology packaged, ready-to-eat mayonnaise-based salad with meat at various ambient temperatures in a water bath and a convection air/steam oven at t_a=+(50.0, 55.0, 60.0, 65.0, and 70.0)±0.5 ºC.

Materials and Methods

The experiments were carried out at the Department of Food Technology of the Latvia University of Agriculture in the year 2009. The object of the research was *sous vide* packaged mayonnaise-based salad with meat.

Materials. Mayonnaise-based salads with meat produced for a local market were used for the experiments. The ingredients of the salads were: boiled potatoes and eggs, cooked beef, pickled cucumbers, salt, and mayonnaise “Provansa” (containing ingredients: vegetable oil, water, dehydrated eggs, sugar, salt, acetic acid and citric acid as acidity regulators, as well as sodium bicarbonate, dehydrated yolk, thickening agent, xanthan gum as stabilizer, mustard seeds as flavouring, and potassium sorbate as preservative) produced by manufacturing company “Spilva” Ltd and purchased on a local supermarket. The experiments involved preparation of the precooked materials, vacuum packaging of the salads in polyamide/polyethylene (PA/PE) film pouches with high barrier properties (size – 200×300 mm, film thickness – 20/45 µm), and *sous vide* thermal processing. Mass of each sample was 200±1 g.

The thermal treatment of samples. The samples after packaging in pouches were vacuum-sealed by chamber-type machine Multivac C350. The samples were pasteurized by two thermal treatment methods:

a) in a water bath Clifton Food Range at the ambient temperature t_a=+(50.0, 55.0, 60.0, 65.0, and 70.0)±0.5 ºC. The thermal treatment time was within 120 min, while the core temperature

* All Experts Encyclopedia: D-value: http://www.associatepublisher.com/e/d/d/d-value.htm – Accessed on November 15, 2010.

of the samples was held constant at t_c=+(48.0, 53.0, 58.0, 63.0, and 68.0)±0.5 ºC;

b) in a convection air/steam oven FCV10E Tecnoinox at the ambient temperature t_a=+(50.0, 55.0, 60.0, 65.0, and 70.0)±0.5 ºC. The thermal treatment time was within 120 min, while the core temperature of the samples was held constant accordingly at t_c=+(48.0, 53.0, 58.0, 63.0, and 68.0)±0.5 ºC.

Immediately after preparation, all salad samples were frozen in Foster FXBC10 freezer at the temperature of -25 ºC, and were stored frozen at -18 ºC for one day.

The structure of the performed experiments. The temperature of the product in the core of the pouch during the thermal treatment process as well as the ambient temperature in the water bath and in the convection air/steam oven were measured every minute by Hanna Checktemp 1 thermometer.

The structure of the performed experiments is summarized in Fig. 1.

Microbiological analysis. Samples were kept frozen and, prior to testing, were defrosted at the ambient temperature of (+18.0)–(+27.0)±0.5 ºC for 1.5 hours in accordance with International Standard ISO 6887. The samples of fresh prepared salads were analyzed for ACC by standard procedure at zero minute of the experiment, and after every 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, and 120 minutes of thermal treatment. The ACC test was performed by the method of colony count technique at +30 ºC in accordance with International Standard ISO 4833:2003. The analyzed samples (amount of each sample – 10 g) were removed from packages and placed in a stomacher bag. Afterwards, 90 ml of 0.1% peptone water were added and then homogenized with the stomacher (Bag Mixer 400) for thirty seconds. After preparing serial decimal dilutions of the homogenate with 0.1% peptone water, duplicate plates were prepared using pour plate method for enumeration. The ACC was determined on Plate Count Agar and incubated at +30.0±1 ºC for 72.0±3 h. After an appropriate period of incubation (each plate containing 15–300 colonies), the ACC was summed up and multiplied by the dilution factor to determine CFU g^{-1} of sample. The results were evaluated by Guidance Note No. 3 "Guidelines for the Interpretation of Results of Microbiological Analysis of Some Ready-to-eat Foods Sampled at Point of Sale" (Food Safety …, 2001). According to the guidelines, salads were ascribed to the vegetable (prepared mixed salads and crudités) and meat food group (meat, sliced cooked ham, tongue), i.e., category D foods for which up to 10^6–10^7 cfu g^{-1} of ACC could be acceptable. The results were defined as satisfactory when ACC was <10^6 cfu g^{-1} (means that test results indicate good microbiological quality), as acceptable when ACC was within 10^6–10^7 cfu g^{-1}, and unsatisfactory when ACC was ≥10^7 cfu g^{-1} (indicates that acceptability threshold has been exceeded). All the determinations were made in duplicate.

Determination of D- and Z-values. Vacuum-packaged samples were thermally treated in a water bath or a convection air/steam oven for pasteurization,

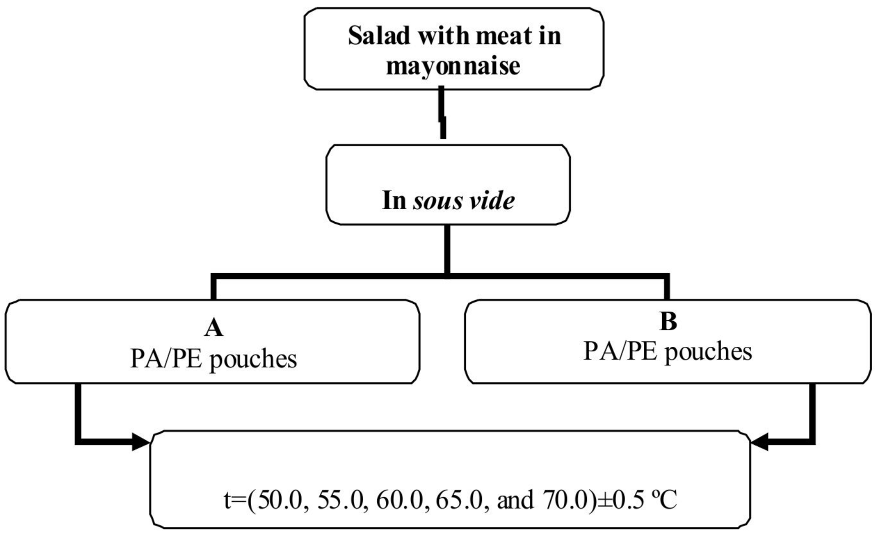


Fig. 1. The structure of the performed experiments:
A – sample pasteurization in a water bath; B – sample pasteurization in a convection steam oven.

and step by step at timed intervals were removed for analyses. D-values and Z-values were calculated graphically.

Thermal inactivation of bacteria known as a survivor curve generally follows first-order kinetics and can be described by logarithmic reduction in the concentration of bacteria with the time at any given lethal temperature (equation 1). The decimal reduction time D, is expressed as the time in minutes (in our experiments) to achieve one log cycle reduction of ACC survivor (from N_0 to N_τ). D-value is temperature-dependent and varies logarithmically with the temperature as log D=f(t). The slope of the curve that describes this relationship is expressed as the temperature difference Z-value, required for the curve to traverse one log cycle of D-value (Drive, Bozeman, 1999; Garbutt, 1997; McCormik, Han et al., 2003; Teixeira, 1992):

$$\log N_\tau = \log N_0 - k\tau \ , \qquad (1)$$

where

- N_0 – aerobic colony forming units (cfu g^{-1}) at zero time (before pasteurization);
- N_τ – aerobic colony forming units (cfu g^{-1}) after reduction of microorganisms by one log cycle;
- τ – time for reduction of microorganisms by one log cycle, min;
- k – rate constant.

The rate constant of the straight line can be expressed as follows:

$$k = \frac{\log N_0 - \log N_\tau}{\tau} \ . \qquad (2)$$

If we assume that D-value is expressed as the time in minutes to achieve a reduction ($\log N_0 - \log N_\tau$) in one log cycle of aerobic colony forming units, the rate constant can be expressed as:

$$k = tg\alpha = \frac{1}{\tau} \quad \text{and} \quad D = \tau = \frac{1}{k}, \qquad (3)$$

where

- α – a slope angle of straight line (equation 1).

Consequently, D-value can be expressed by equation (4):

$$D = \frac{\tau}{\log N_0 - \log N_\tau} \ . \qquad (4)$$

D- and Z-values are used to describe the thermal killing behaviour of microorganisms. These values are specific for each strain and can be used to compare the biological impact of different combinations of pasteurization temperature and holding time.

Statistical analysis. The results were processed by mathematical and statistical methods. Statistics on completely randomized design were determined using the General Linear Model (GLM) procedure SPSS, version 16.00. Two-way analyses of variance ($p \leq 0.05$) were used to determine significance of differences between means of microbiological properties.

Results and Discussion

Pasteurization is the most critical point of *sous vide* processing as it determines the sensory properties of a mayonnaise-based salad with meat and the quantity of microorganisms in the finished product. The pasteurization temperature of that product should not exceed 70 ºC because of the thermal sensibility of one of the main components of salad – mayonnaise which melting starts at a higher temperature. The rate at which the bacteria die depends on many factors, including temperature, added species, ingredients of salads, fat content, acidity, salt content, and water content. The addition of acids, salts or spices in mayonnaise can decrease the number of pathogens – this is why mayonnaise (with a pH less than 4.1) does not need to be cooked. Food additives – acidity regulators such as sodium lactate and calcium lactate – are often used in the food industry to reduce the risk of spore forming pathogens like *Clostridium spp.* and *Bacillus cereus* (Aran, 2001; Rybka-Rodgers, 2001).

The heating time of a mayonnaise-based salad with meat packaged in polymer pouches is calculated on the basis of achieving sufficient bacterial inactivation in each container in order to comply with the public health standards (Food Safety …, 2001).

The family of microbial survivor curves for the pasteurization process of *sous vide* packaged mayonnaise-based salads with meat in a water bath is shown in Fig. 2. The results of calculated D-values (equation 1) from the experimental data

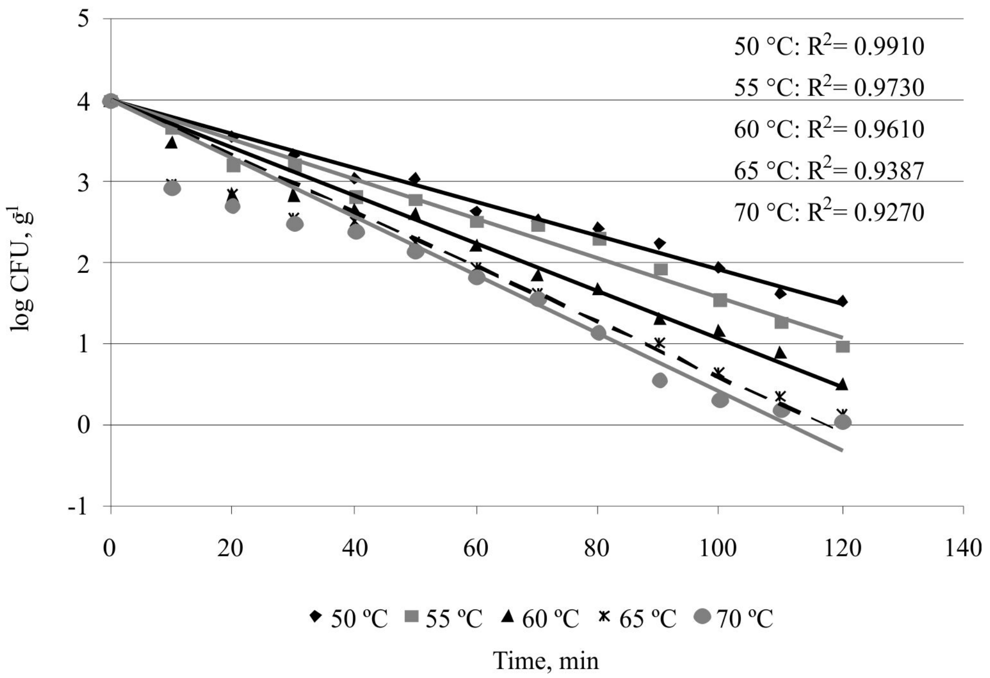


Fig. 2. Survivor curves (D-values) showing logarithmic order of death for ACC as the time (min) required for tenfold reduction in the microorganism population of sample A (pasteurization in a water bath).

Table 1

Calculation of D-values for pasteurization of a mayonnaise-based salad with meat in a water bath (sample A)

Ambient temperature (t_a), ºC	Equation of the straight line $\log N_\tau = \log N_0 - k\tau$	R^2	Rate constant k, min^{-1} $k = tg\alpha = \frac{1}{\tau}$	D-value, min $D = \tau = \frac{1}{k}$
50±0.5	N_τ=3.9900-0.0207 τ	R^2=0.9910	0.0207	48.31
55±0.5	N_τ=3.9900-0.0243 τ	R^2=0.9730	0.0243	41.15
60±0.5	N_τ=3.9900-0.0295 τ	R^2=0.9610	0.0295	33.90
65±0.5	N_τ=3.9900-0.0340 τ	R^2=0.9387	0.0340	29.41
70±0.5	N_τ=3.9900-0.0360 τ	R^2=0.9270	0.0360	27.78

of *sous vide* thermal treatment process in the water bath are summarized in Table 1.

The decimal reduction time (D-value) is expressed as the time in minutes to achieve one log cycle of reduction in the concentration of ACC (N). D-value is temperature-dependent and varies logarithmically with the temperature difference (Z-value expressed as temperature in ºC) required for the curve to traverse one log cycle.

When the ambient temperature of 70 ºC was provided in the water bath, the calculated D-value (D_{70}) was 27.78 minutes (Table 1) for each log cycle reduction in the population, for example, if a three-log cycle reduction is required, the total time of 3×27.78=83.34 minutes will be required for the given ambient temperature. Whereas if the ambient temperature in the heating retort is established lower, for example, 50 ºC, the calculated D_{50}-value will be higher – 48.31 minutes for each log cycle reduction in the population, and 3×48.31=144.93 minutes will be required for a three-log cycle reduction at the ambient temperature of 50 C.

The family of microbial survivor curves for the pasteurization process of *sous vide* packaged mayonnaise-based salads with meat in a convection air/steam oven is shown in Fig. 3. The results of calculated D-values (equation 1) from the experimental data of *sous vide* thermal

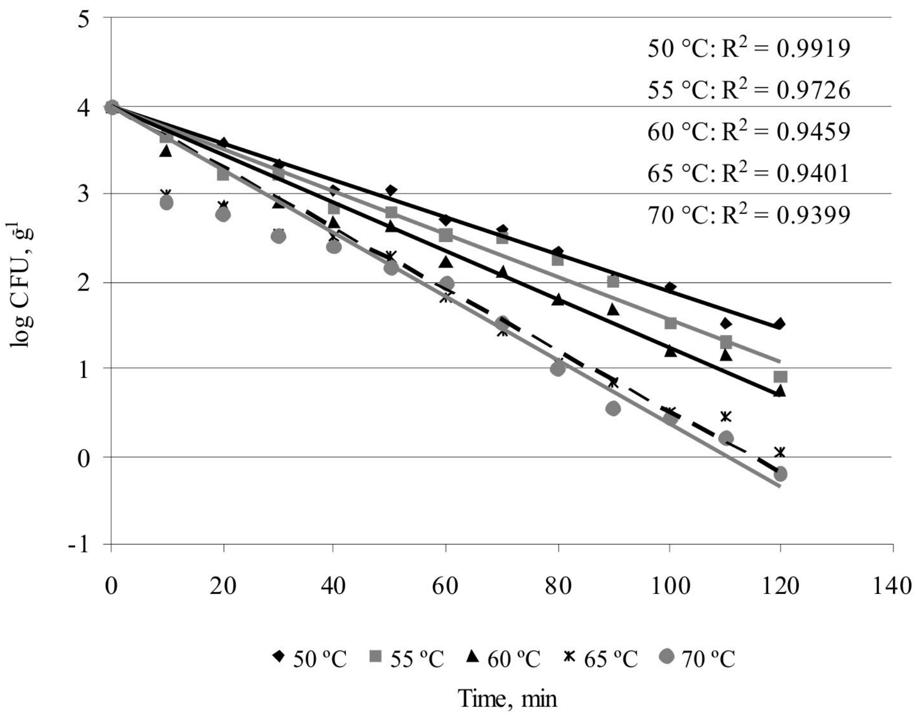


Fig. 3. Survivor curves (D-values) showing logarithmic order of death for ACC as the time (min) required for tenfold reduction in the microorganism population of sample B (pasteurization in a convection air/steam oven).

treatment process in the convection air/steam oven are summarized in Table 2.

When the ambient temperature of 70.0 ºC was provided in the convection air/steam oven, the calculated D-value (D_{70}) was 27.62 minutes (Table 2) for each log cycle reduction in the population. If a three-log cycle reduction is required, the total time of 3×27.62=82.86 minutes will be required for the given ambient temperature; whereas if the ambient temperature in the heating retort is established lower (50.0 ºC) than that mentioned above, the D_{50}-value will be higher – 46.08 minutes for each log cycle reduction in the population, and 3×46.08=138.24 minutes will be required for a three-log cycle reduction at the given ambient temperature.

The D-value of particular microorganisms will decrease exponentially with the increase in the temperature (Hyytia-Trees, Skytta et al., 2000; Murina, Quimby et al., 2002). A line-of-best-fit is a statistically correct method for representing our data points (Figs 4 and 5).

Table 2

Calculation of D-values for pasteurization of a mayonnaise-based salad with meat in a convection air/steam oven (sample B)

Ambient temperature (t_a), ºC	Equation of the straight line $\log N_\tau = \log N_0 - k\tau$	R^2	Rate constant k, min^{-1} $k = tg\alpha = \frac{1}{\tau}$	D-value, min $D = \tau = \frac{1}{k}$
50±0.5	N_τ=3.9900-0.0212 τ	R^2=0.9919	0.0212	46.08
55±0.5	N_τ=3.9900-0.0243 τ	R^2=0.9726	0.0243	41.15
60±0.5	N_τ=3.9900-0.0274 τ	R^2=0.9459	0.0274	36.50
65±0.5	N_τ=3.9900-0.0348 τ	R^2=0.9401	0.0348	28.74
70±0.5	N_τ=3.9900-0.0362 τ	R^2=0.9399	0.0362	27.62

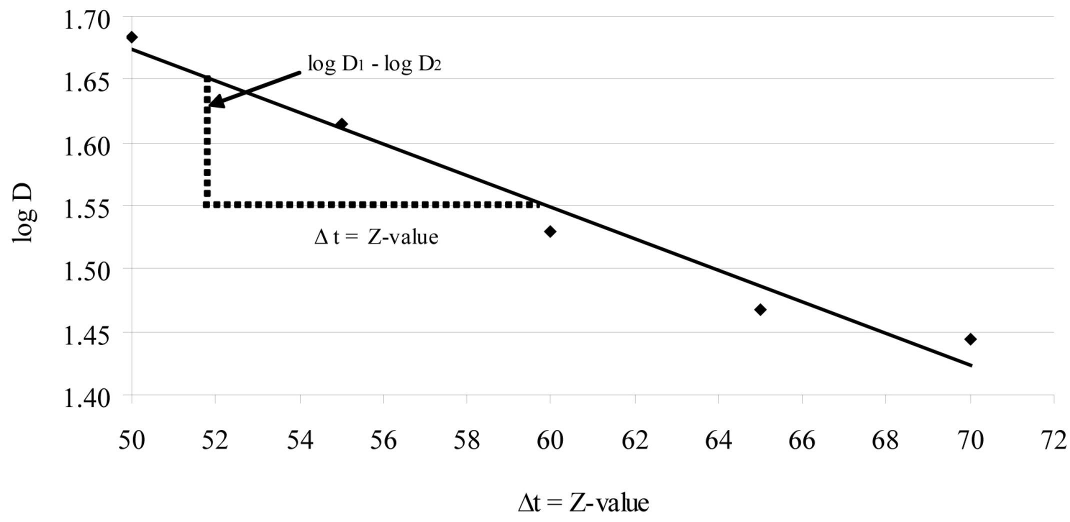


Fig. 4. The dynamics of ACC in a *sous vide* packaged mayonnaise-based salad with meat during thermal treatment process in a water bath (sample A) as log D=f(t).

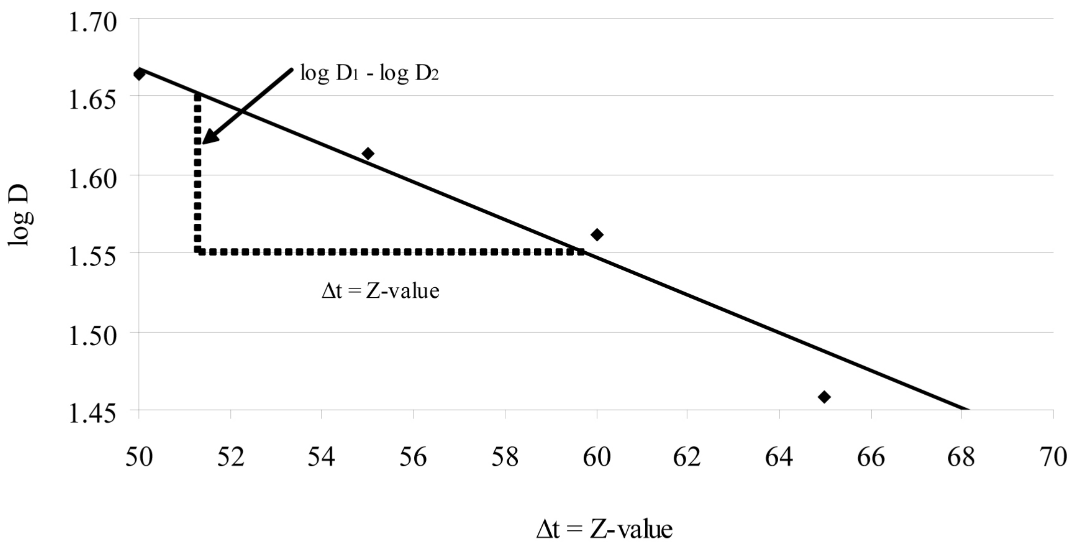


Fig. 5. The dynamics of ACC in a *sous vide* packaged mayonnaise-based salad with meat during thermal treatment process in a convection air/steam oven (sample B) as log D=f(t).

When depicting the Z-value of sample A (pasteurization in the water bath) graphically (Fig. 4), the calculated D-values and temperature pairs (Table 1) were plotted on a semi-logarithmic graph and the straight line was described by equations 5 and 6 (R^2=0.9702):

$$\log D = -0.0125t + 2.2992\,, \qquad (5)$$

$$D = 10^{-0.0125t+2.2992}\,, \qquad (6)$$

where

t – ambient temperature in the water bath, °C.

The calculated Z-value, required to change the D-value by one factor of 10 can be 79.81 ºC (equation 5). In our experiment, the calculated D-values were from 48.31 to 27.78 (Table 1), therefore the Z-value could be related to reduction of D-value by 0.1 factors, and the process could be characterized by Z-value of 8.0 ºC.

When depicting the Z-value of sample B (pasteurization in the convection air/steam oven) graphically (Fig. 5), the calculated D-values and temperature pairs (Table 2) were plotted on a semi-logarithmic graph and the straight line was described by equations 7 and 8 (R^2 = 0.9649):

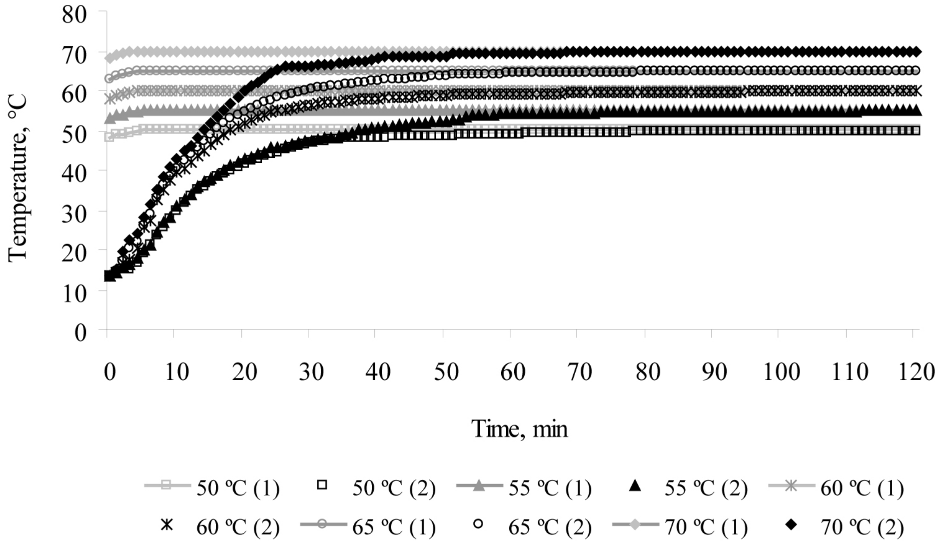


Fig. 6. Heat penetration curves for sample A (pasteurization in a water bath) showing ambient temperature (1) and temperature of food (2) in the core of the pouch.

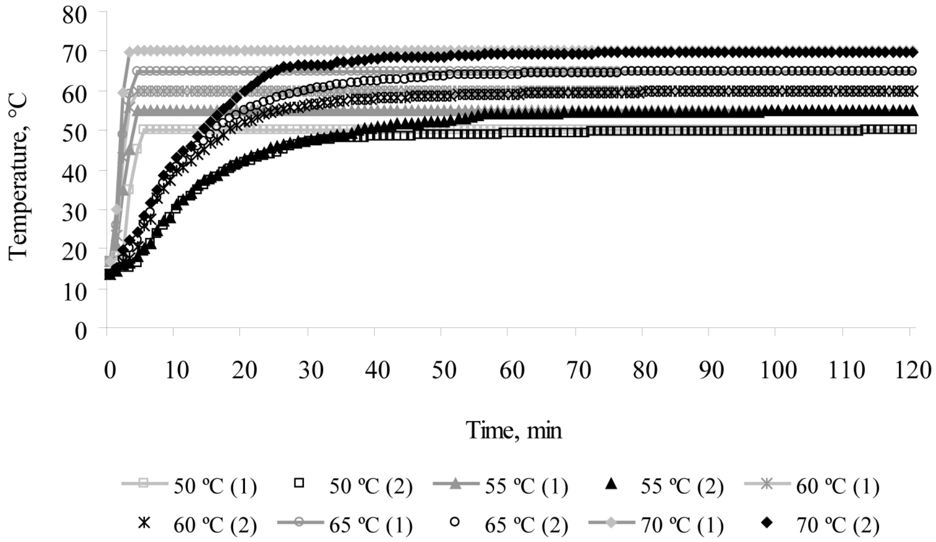


Fig. 7. Heat penetration curves for sample B (pasteurization in a convection steam oven) showing ambient temperature (1) and temperature of food (2) in the core of the pouch.

$$\log D = -0.0120t + 2.2702, \quad (7)$$

$$D = 10^{-0.0120t+2.2702}, \quad (8)$$

where

t – ambient temperature in the convection steam oven, °C.

For sample B, the calculated D-values were from 46.08 to 27.62 (Table 2), therefore also the Z-value could be related to the reduction of D-value by 0.1 factors and the process could be characterized by Z-value of 8.3 ºC, which is similar to that in sample A. Significant differences for Z-values between sample A and sample B were not found (*p*>0.05). The straight lines shown in Figs 4 and 5 are known as the thermal death time (TDT) curves. The slope of those curves reflects the temperature dependency of D-value and is used to derive the temperature dependency factor Z, which is expressed as the temperature difference required for the curve to traverse one log cycle.

Once the TDT curve has been established for the given microorganisms, it can be used to calculate the time–temperature requirements for any idealized thermal process. Using equations 6 and 8 we can calculate the corresponding D-value responding to any ambient temperature in the heating retort. For example, assuming a process is required that would achieve one log cycle reduction in the population of microorganisms in a mayonnaise-based salad with meat, whose kinetics is described by a TDT curve (Z-value) in Fig. 5, and that the temperature in the heating retort is chosen 67.0 ºC for thermal treatment of sample A (pasteurization in a water bath), the calculated D-value will be D_{67}=29.3 minutes.

The temperature of the mayonnaise-based salad with meat (T) developed in the pouch during pasteurization is a function of the ambient temperature (t_a) in the retort, initial temperature (T_1) of the product, location of the product within the pouch (x), thermal diffusivity of the product (α), and the time (τ) in the case of the conductive heating method: $T=f(t_a, T_1, x, \alpha, \tau)$ (Teixeira, 1992).

The temperature/time plot of the experimental data for heating of a mayonnaise-based salad with meat in polymer pouches for samples A and B is shown in Figs 6 and 7. The degree to which the core centre temperature of the product can lag behind the ambient temperature during heating is illustrated. It is seen that increase in temperature in the core of pouches and warming-up time depend on the ambient temperature in the heating retort. The warming-up time for sample A decreases from 48.31 minutes (t_a=50.0 ºC) to 27.78 minutes (t_a=70.0 ºC), but for sample B – from 46.08 minutes (t_a=50.0 ºC) to 27.62 minutes (t_a=70.0 ºC) depending on the temperature in the water bath and the convection steam oven. The duration of pasteurization for sample A (pasteurization in the water bath) is from 48.31 to 27.78 minutes, but for sample B (pasteurization in the convection steam oven) – from 46.08 to 27.62 minutes. During that time the total count of bacteria in both cases decreased by 90% compared with the initial count of bacteria in the salad with meat in mayonnaise.

The difference in the initial points of ambient temperatures in the water bath and the convection air/steam oven could be explained by the accepted constant temperature t_a=+(50.0, 55.0, 60.0, 65.0, and 70.0)±0.5 ºC at which the samples were placed in the water bath; whereas in the convection air/steam oven the samples were inserted at 16.8 ºC and approximately 5 minutes passed to reach the accepted ambient temperature similar to that in the water bath.

The total count of microorganisms in the mayonnaise-based salad with meat during pasteurization in the water bath decreased from 4.0 log cfu g^{-1} to 2.8 log cfu g^{-1}, and in the convection air/steam oven – from 4.0 log cfu g^{-1} to 2.9 log cfu g^{-1} (Levkane, Muizniece-Brasava, 2009). No growth of microorganisms in *sous vide* packaged mayonnaise-based salad with meat was observed during the chilled storage within 52 days after pasteurization, and good quality and sensory properties were maintained (Levkane, Muizniece-Brasava et al., 2009).

Conclusion

The experiments proved that D-values, required for tenfold reduction of the total ACC in mayonnaise-based salad with meat thermally treated in a water bath and in a convection air/steam oven, are equivalent.

The graphically calculated Z-values can be used to determine the pasteurization time of mayonnaise-based salad with meat at any ambient temperature in a water bath and in a convection steam oven. The thermal treatment time for pasteurization in a water bath and in a convection steam oven at one and the same temperature is equivalent.

References

1. Aran, N. (2001) The effect of calcium and sodium lactates on growth from spores of *Bacillus cereus* and *Clostridium perfringens* in a '*sous-vide'* beef goulash under temperature abuse. *International Journal of Food Microbiology*, 63, 117–123.
2. Armstrong, G.A., McIlveen, H. (2000) Effects of prolonged storage on the sensory quality and consumer acceptance of *sous vide* meat-based recipe dishes. *Food Quality and Preference*, 11, 377–385.
3. Church, J., Parsons, A.L. (1999) The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and *sous vide* methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 155–162.
4. Cobos, A., Diaz, O. (2007) Sous-vide cooking of traditional meat products: effect on the microbiology of dry-cured pork foreleg. *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*, 6, 511–517.
5. Drive, E., Bozeman, S.E. (1999) Z-value calculation. SGM Biotech, Inc.: http://sgmbiotech.com/documents/1145393012_ZvalueCalculation.pdf – Accessed on August 1, 2010.

6. Food Safety Authority of Ireland. (2001) *"Guidelines for the interpretation of results of microbiological analysis of some ready-to eat foods sampled at point of Sale. Guidelines, 3"*: http://www.fsai.ie/publications/guidance_notes/gn3.pdf – Accessed on August 20, 2010.
7. Garbutt, J. (1997) Death of micro-organisms and microbial populations. *Essentials of food microbiology*. The Bath Press, London, 88–97.
8. Ghazala, S., Ramaswang, H., Smith, J., Simpson, M. (1995) Thermal process simulations for sous vide processing of fish and meat foods. *Food Research International*, 28(2), 117–122.
9. Gonzalez-Fandos, E., Garcia-Linares, M.C., Villarino-Rdriguez, A., Gracia-Arias, M.T., Gracia-Fernandez, M.C. (2005) Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the *sous vide* method. *Food Microbiology*, 21, 193–201.
10. Hyytia-Trees, E., Skytta, E., Mokkila, M., Kinnunen, A., Lindstrom, M., Lahteenmaki, L., Ahvenainen, R., Korkeala, H. (2000) Safety evaluation of *sous vide*-processed products with respect to nonproteolytic *Clostridium botulinum* by use of challenge studies and predictive microbiological models. *Apll. Environ. Microbiol*, 66(1), 223–229.
11. Juneja, V.K. (2006) Delayed *Clostridium perfingens* growth from a spore inocula by sodium lactate in *sous vide* chicken products. *Food Microbiology*, 23, 105–111.
12. Levkane, V., Muizniece-Brasava, S. (2009) Inhibition of microbial growth in meat salad in mayonnaise by different packaging technologies. *Proceedings of the conference "Research for Rural Development 2009". Annual 15th International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, Latvia,* 127–134.
13. Levkane, V., Muizniece-Brasava, S., Straumite, E., Dukalska, L. (2009) Sensory evaluation of *sous vide*-processed salad with meat in mayonnaise during the storage time. *"IV International Conference Quality and Safety in Food Production Chain Proceedings, New Concepts in Food Evaluation Nutraceuticals-Analyses-Consumer"*, 133–142.
14. Mazzotta, A.S. (2001) Thermal inactivation of stationary-phase and salt-adapted *Listeria monocytogenes* during postprocess pasteurization of surimi-based imitation crab meat. *Journal Food Prot*., 64, 483–485.
15. McCormick, K., Han, I.Y., Acton, J.C., Sheldon, B.W., Dawson, P.L. (2003) D- and z-values for *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* in packaged low-fat ready-to-eat turkey bologna subjected to a surface pasteurization treatment. *Journal of Poultry Science*, 82, 1337–1342.
16. Muižniece-Brasava, S., Levkāne, V., Dukaļska, L. (2008) LR patents Nr. 13702. Salātu ar gaļu un majonēzi uzglabāšanas laika pagarināšanas iespēju paņēmiens. (Possible method to extend shelf life of salad with meat in mayonnaise.) *Latvijas Republikas Patentu valdes oficiālais vēstnesis "Patenti un preču zīmes"*, Nr. 8, 951. lpp.
17. Murina, P.M., Quimby, W., Davidson, C.A., Grooms, J. (2002) Postpackage pasteurization of ready-to-eat Deli meats by submersion heating for reduction of *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 65(6), 963–969.
18. Murphy, R. Y., Marks, B.P., Johnson, E.R., Johnson, M.G., Chen, H. (2000) Thermal inactivation kinetics of *Salmonella* and *Listeria* in ground chicken breast meat and liquid medium. *Journal of Food Science*, 65, 706–710.
19. Nishimura, K., Miyamoto, Y., Higasa, T. (2004) Tender chicken breasts vacuum-cooked at 75 ºC. *Journal of Home Economics of Japan*, 55, 605–615.
20. Nissen, H., Rosnes, J.T., Brendehaug, J., Kleiberg, G.H. (2002) Safety evaluation of *sous vide*-processed ready meals. *Letters in Applied Microbiology*, 35, 433–438.
21. Nyati, H. (2000) An evaluation of the effect of storage and processing temperatures on the microbiological status of *sous vide* extended shelf life products. *Food Control*, 11, 471–476.
22. O'Mahony, F.C., O'Riordan, T.C., Papkovskaia, N., Ogurstov, V.I., Kerry, J.P., Papkovsky, D.B. (2004) Assessment of oxygen levels in convenience-style muscle-ased *sous vide* products through optical means and impact on shelf life stability. *Packaging Technology and Science*, 17, 225–234.
23. Robinson, R.K., Batt, C.A., Patel, P.D. (2000) Packaging considerations. *Encyclopaedia of*

food microbiology. Ed. C. Carlin. Academic Press, London, 1338–1344.
24. Rybka-Rodgers, S. (2001) Improvement of food safety design of cook-chill foods. *Food Research International*, 34, 449–455.
25. Sheard, M.A., Rodger, C. (1995) Optimum heat treatments for 'sous vide' cook-chill products. *Journal of Food Control*, 6, 53–56.
26. Siripon, K., Tansakul, A., Mittal, G.S. (2007) Heat transfer modeling of chicken cooking in hot water. *Food Research International*, 40, 923–930.
27. Teixeira, A. (1992) Thermal process calculation. *Handbook of Food Engineering*. Eds Dennis R. Heldman and Daryl B. Lund. New York, 563–619.

Anotācija

Lietošanai gatavi ēdieni, tajā skaitā salāti ar majonēzi, tiek uzskatīti par ātrbojīgiem pārtikas produktiem, kuriem praksē ļoti bieži ir palielināts mikrobioloģiskais piesārņojums. Eksperimenti veikti Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Pārtikas tehnoloģijas fakultātē. Pētījumu mērķis – izstrādāt termiskās apstrādes matemātisko modeli (D vērtības un Z vērtības) izdzīvojušo mikroorganismu skaita noteikšanai salātos ar gaļu un majonēzi *sous vide* iepakojumā atšķirīgā sildošās vides temperatūrā. Paraugus *sous vide* iepakojumā pasterizēja, izmantojot dažādas termiskās apstrādes metodes: ūdens vannā un konvekcijas krāsnī gaisa/tvaika vidē. Apkārtējā vides temperatūra ūdens vannā un konvekcijas krāsnī bija: t_a=+(50.0, 55.0, 60.0, 65.0 un 70.0)±0.5 °C. Produkta temperatūru termiskās apstrādes procesā mērīja iepakojuma centrā katru minūti, un kopējo mikroorganismu skaitu ar standarta procedūrām noteica svaigi sagatavotiem salātiem pirms iepakošanas 0 minūtē un pēc tam ik pēc 10, 20, 30 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 un 120 termiskās apstrādes minūtēm. Eksperimentāli noteikts, ka D vērtība, kas nepieciešama kopējo mikroorganismu skaita samazināšanai par vienu lg ciklu, paraugus termiski apstrādājot gan ūdens vannā, gan gaisa/tvaika konvekcijas krāsnī, ir līdzvērtīga. Grafiski aprēķināto Z vērtību var lietot pasterizācijas laika (min) aprēķināšanai jebkurā sildošās vides temperatūrā gan ūdens vannā, gan gaisa/tvaika konvekcijas krāsnī. Pasterizācijas ilgums abos termiskās apstrādes procesos vienā un tajā pašā sildošās vides temperatūrā bija līdzvērtīgs.

Gatavo ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes pētījumi un to ietekmējošie faktori
The Studies on Microbiological Quality of Ready-to-eat Foods and Factors Influencing It

Tatjana Marčenkova, Mārtiņš Ruciņš
LLU Uztura katedra
Department of Nutrition, LLU
e-mail: Tatjana.Marcenkova@pvd.gov.lv; marty@delfi.lv

Abstract. The task of the study was to clarify the microbiological quality of ready-to-eat (RTE) foods from catering establishments and prepare recommendations on criteria for evaluation of the results of microbiological investigations. In Riga, the capital of Latvia, 552 food samples were taken from different catering establishments for microbiological investigations on aerobic colony count (ACC; also known as total viable count or standard plate count) and total coliform (TC) bacteria. The growth characteristics of microorganisms in RTE food samples were analyzed in conformity with food category, composition, temperature, and food processing mode. Different microorganisms such as *Staphylococcus, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella*, and *Citrobacter* genera, as well as yeasts and moulds and others were identified. The largest ACC was detected in 3rd category food samples whose components did not undergo heat treatment – 10^4–10^7 CFU g^{-1} in 61.1% of food samples. The TC bacteria were detected in 86.2% of 3rd category food samples – $10^2 – \geq 10^4$ CFU g^{-1}. This demonstrates that 3rd category foods are a probable source either of foodborne pathogens or conditionally pathogenic microorganisms. In the 3rd category foods, comparatively more frequently were identified *Enterobacter spp.* (26.3%), *Klebsiella spp.* (18.4%), *Pantoea spp.* (15.8%), and *Bacillus spp.* (10.5%). The high levels of conditionally pathogenic microorganisms in RTE foods indicated possibility of getting food poisoning via meals. The research showed that miscellaneous and sometimes serious infringements of hygienic requirements in catering establishments have substantial impact on the microbial quality of RTE foods.
Key words: foodborne diseases (FBD), ready-to-eat (RTE) foods, food safety, microbiological investigations, food hygiene requirements.

Ievads

Sabiedrības veselība ir saistīta ar riska faktoriem, kādi ietekmē iedzīvotāju veselību, un viens no tiem ir cilvēka uzturs. Savukārt pārtikas kvalitātes un nekaitīguma valsts uzraudzība ir atkarīga no riska faktoru adekvātas identifikācijas. Jaunu tehnoloģiju un to radīto produktu konkurences cīņā tiek atklāti aizvien jauni potenciāli draudi cilvēku veselībai, kas pamatoti izraisa atbildes ķēdes reakciju: pārtikas ķīmijas, mikrobioloģijas, gēnu analīzes u.c. kritēriju piemērošanu kvalitatīvi un kvantitatīvi jaunā un daudz precīzākā līmenī (Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 178/2002 ...; Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 852/2004 ...; Tirado, Schmidt, 2001; Brown, Stringer, 2002; WHO ..., 2003–2008; Sagoo, Little et al., 2003; Scientific criteria ..., 2003; Szeitzne Szabo, Rodler, 2004; Food quality management ..., 2004; Blija, Rivža, Avsjukovs, 2005; Kārkliņa, Vilciņa, Šantare, 2007; Lammerding, 2007; Melngaile, 2008; Millere, 2009; Pārtikas un veterinārā dienesta uzraudzības programmas, darbības plāni, uzraudzības pārskati un citi informatīvie materiāli, 2005–2009*).

Eiropas Savienības normatīvie akti pārtikas higiēnā kā vienu no uzdevumiem izvirza patogēnu samazināšanu pārtikā, kā arī pārtikas mikrobioloģisko un temperatūras kontroles kritēriju izstrādi un ieviešanu, kas balstās uz zinātniskā riska novērtējumu. Pārtikas ražotāja pienākums ir ražot un laist apgrozībā tikai drošu, cilvēka dzīvībai un veselībai nekaitīgu pārtiku (Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 852/2004 ...; Eiropas Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005 ...; CAC/RCP 1-1969).

* Pārtikas un veterinārā dienesta nepublicētie materiāli par periodu no 2005. gada līdz 2009. gadam.

Cēlonis lielākai daļai ar pārtiku saistīto slimību ir pārtikas mikrobioloģiskais piesārņojums. Tāpēc ir svarīgi, lai pārtikas nozares dalībnieki lietotu saskaņotus kvalitātes un nekaitīguma kritērijus. Pārtikas mikrobioloģiskie kritēriji ļauj secināt, cik pieņemami ir pārtikas produkti, to ražošana, apstrāde un izplatīšana (WHO, 2003–2008; Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 178/2002 ...; Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 852/2004 ...; Eiropas Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005 ...).

Ēdienu kvalitātes novērtēšana un mikrobioloģiskā testēšana nav iespējama bez attiecīgajiem salīdzināšanas kritērijiem. Tie ļauj adekvāti un objektīvi novērtēt ēdienu kvalitāti un nekaitīgumu, kas savukārt veicina produktu kvalitāti un drošumu patērētājiem, bet pārtikas uzņēmumos – līdzvērtīgus apstākļus un godīgu tirgus konkurenci. Ēdināšanas uzņēmumos gatavotā pārtika nereti ir potenciāli bīstama cilvēku veselībai. To pierāda gan sabiedrības veselības statistiskie dati, gan dažādi epidemioloģiskie pētījumi (Tirado, Schmidt, 2001; Szeitzne Szabo, Rodler, 2004; Bolton, Maunsell, 2004; Blija, Rivža, Avsjukovs, 2005; Melngaile, 2008; Millere, 2009).

Pēdējos piecos gados Latvijā vērojama iedzīvotāju saslimstības palielināšanās ar akūtām zarnu infekcijām (AZI), kas galvenokārt saistīts ar mikrobioloģiski piesārņotas pārtikas lietošanu uzturā (Sabiedrības veselības ..., 2002–2008). Šie saslimstības rādītāji ir vieni no augstākajiem Eiropas ekonomiskās zonas valstīs. Latvijā reģistrēto AZI, t.sk. pārtikas izraisīto slimību, ierosinātāju spektrs ir ļoti plašs. Līdz 2002. gadam Latvijā tika reģistrēta ikgadēja AZI uzliesmojumu palielināšanās, bet kopš 2004. gada – šīs saslimstības līmeņa kritums. Tomēr jāatzīmē, ka pēdējos trijos gados novērojama AZI saslimstības palielināšanās tendence – no 268.8 gadījumiem (intensitātes rādītājs uz 100 tūkst.) 2004. gadā līdz 405.22 gadījumiem 2008. gadā (Epinorth ..., 2002–2008; Sabiedrības veselības ..., 2002–2008; Pārtikas un veterinārā dienesta uzraudzības programmas, darbības plāni, uzraudzības pārskati un citi informatīvie materiāli, 2005–2009).

Ēdienu mikrobioloģiskie izmeklējumi ir objektīva metode pārtikas aprites valsts uzraudzības, t.sk. arī tirdzniecības un ēdināšanas, uzņēmumu paškontroles pasākumu efektivitātes novērtēšanai. Tā nodrošina pierādījumus pārtikas higiēnas noteikumu izpildei (ir vai nav pārkāpti) vai arī pamato atsevišķu pārtikas aprites posmu papildu kontroles nepieciešamību, un palīdz savlaicīgi atklāt ar pārtikas kvalitāti un nekaitīgumu saistītās problēmas. Pārtikas produktu mikrobioloģiskie kritēriji jānosaka arī tādēļ, lai varētu definēt ražošanas procesu un produktu kvalitāti (Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr.852/2004 ...; Eiropas Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005 ...).

Pašreizējiem Eiropas Savienības un Latvijas normatīvajiem dokumentiem ir vairāki objektīvi trūkumi: normas ir vispārīgas un neparedz sīki izstrādātus mikrobioloģiskās kvalitātes kritērijus ēdieniem, regulējums attiecas uz kopējo Eiropas Savienības tirgu, bet gandrīz neskar vietējo jeb nacionālo līmeni. Tāpēc attīstītajās Eiropas valstīs (Īrijā, Lielbritānijā, Francijā u.c.), kā arī ASV un Kanādā jau sen ir izstrādāti nacionālie mikrobioloģiskie kritēriji, kas balstās uz riska zinātnisko novērtējumu.

Latvijā šobrīd nav reglamentētas mikrobioloģiskās kvalitātes normas ēdieniem, tādēļ arī nav iespējams veikt objektīvu ēdināšanas uzņēmumos gatavoto ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes novērtēšanu. Nav vienotu mikrobioloģisko kritēriju dažāda veida salātiem, diedzētiem graudiem, desertiem un citiem ēdieniem, t.sk. pamatēdieniem no gaļas un zvejas produktiem. Nav arī vadlīniju šo kritēriju izvērtēšanai un piemērošanai.

Tādēļ šī pētījuma mērķis bija izvērtēt gatavo ēdienu mikrobioloģisko kvalitāti un veikt mikrobioloģisko kritēriju izstrādi.

Materiāli un metodes

Pētījumi veikti laikā no 2004. gada novembra līdz 2009. gada oktobrim. Paraugu laboratoriskie, t.sk. mikrobioloģiskie, izmeklējumi veikti Pārtikas un veterinārā dienesta (PVD) Nacionālā diagnostikas centra (NDC) Pārtikas un vides izmeklējumu laboratorijā.

Šobrīd pārtikas uzņēmumu aktuālākais jautājums ir to higiēniskās situācijas objektīvu izvērtēšanas metožu trūkums, tajā skaitā pārtikas un vides paraugu mikrobioloģisko izmeklējumu plānošana un līdz ar to kritēriju trūkums šo izmeklējumu rezultātu izvērtēšanai. Pētījumā analizēti:

- ēdienu paraugi no Rīgas pilsētas atklāta tipa ēdināšanas uzņēmumiem;
- paraugos veikto temperatūras mērījumu rezultāti, kā arī paraugos noteiktais pH;
- PVD veiktu ēdināšanas uzņēmumu pārbaužu protokoli un uzraudzības pārskati (par 2004.–2008. gadu) par pārtikas higiēnas normatīvo aktu prasību kontroli ēdināšanas uzņēmumos;

– speciāli izveidotās aptaujas anketas ēdināšanas uzņēmumu higiēniskās situācijas novērtēšanai;
– Sabiedrības veselības aģentūras (SVA) un PVD informācija (apskati, ziņojumi) par pārtikas izraisītajām saslimšanām un to uzliesmojumiem Latvijā.

Ēdienu paraugos noteikts mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu (MAFAM) skaits, koliformu baktēriju skaits, pH un veikta mikroorganismu sugu identifikācija. Uzņēmumu pārbaudes veiktas, ēdienu paraugi ņemti un to temperatūras mērījumi veikti, un izmekējumu un mērījumu rezultāti vērtēti saskaņā ar PVD iekšējām procedūrām (KR.10.P.112; KR.10.P.197; KR.10.P.210; KR.10.P.212; KR.10.P.227).

Analizēti SVA epidemioloģiskie biļeteni, pārskati par situāciju saslimstībā ar akūtām zarnu infekcijām Latvijā, PVD rīcībā esošie ziņojumi par grupveida saslimšanas gadījumiem no 2002. gada līdz 2008. gadam, kas noformēti saskaņā ar PVD procedūru KR.10.P.018.

Ēdienu paraugi tika ņemti 16 atklāta tipa ēdināšanas uzņēmumos, kuros notiek Latvijas patērētājiem tradicionālo un netradicionālo vai jauno ēdienu gatavošana (ķīniešu, korejiešu, japāņu, taizemiešu u.c.). Pētīti 260 ēdienu paraugi no tradicionālajiem ēdināšanas uzņēmumiem un 292 ēdienu paraugi no netradicionālajiem ēdināšanas uzņēmumiem. Pētījumam uzņēmumus atlasīja, balstoties uz PVD datiem un ņemot vērā uzņēmumā strādājošo skaitu, ražoto ēdienu sortimentu un porciju skaitu, pārtikas aprites telpu platības, atbilstību higiēnas prasībām u.c. kritērijus. Pētījumā iekļautajos uzņēmumos iepriekšējā laika posmā tika konstatētas aptuveni līdzīga rakstura neatbilstības higiēnas procedūru un tehnoloģisko procesu ievērošanā.

Pētījumam visi ēdieni nosacīti tika iedalīti kategorijās atkarībā no nosakāmā MAFAM skaita. Katrā no šīm kategorijām iekļāva ēdienus ar atšķirīgām sastāvdaļām un apstrādes metodēm, kas atsevišķos gadījumos varēja veicināt mikroorganismu skaita samazināšanos vai, tieši otrādi, palielināšanos tehnoloģiskā procesa gaitā.

1. kategorija: ēdieni, kuru sastāvā esošie komponenti ir termiski apstrādāti un kuri ir gatavi tūlītējam patēriņam.

2. kategorija: ēdieni, kuru atsevišķas sastāvdaļas ir termiski apstrādātas, un šie produkti paredzēti tālākai uzglabāšanai (arī atdzesēti u.c.) vai pakļauti turpmākai tehnoloģiskai apstrādei (smalcināšanai, sadalīšanai, komponentu sajaukšanai) pirms gala produkta sagatavošanas un patēriņa. Gala produkta sagatavošanā nav pielietota termiskā apstrāde.

3. kategorija: attiecas tikai uz noteikta veida ēdieniem, kuros ir dabiski augsts mikroorganismu skaits. Pie tiem pieder fermentēti vai raudzēti produkti vai ēdieni, kuru sastāvā ir šie produkti, marinēti zvejas vai gaļas produkti u.c., kas paredzēti tiešajam patēriņam bez papildu termiskās apstrādes. Pie šīs kategorijas pieder griezti augļi un dārzeņi, arī ogas un zaļumi, svaigi spiestas augļu un dārzeņu sulas, krēma konditorejas izstrādājumi (kuros krēma sagatavošanai nav nepieciešama termiska apstrāde), piemēram, jogurta krēms, olbaltuma krēms u.c. Visu šo produktu un to sastāvdaļu derīguma termiņš ir mazāks par 5 dienām.

Tika ņemti ne mazāk par 10 viena veida (nosaukuma) ēdienu paraugiem; katrā ēdienu kategorijā – ne mazāk par 20 paraugiem. Visos paraugos to ņemšanas brīdī tika mērīta ēdiena iekšējā temperatūra, to veicot ar kalibrētu digitālo kontakta jeb bimetālisko termometru.

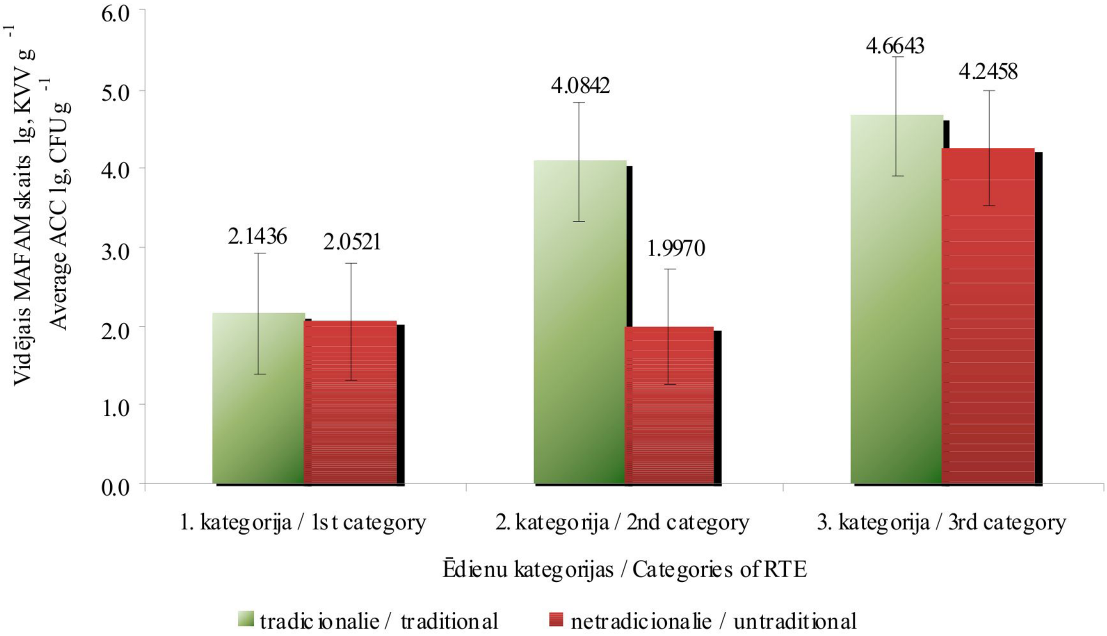
Paraugi ņemti, iesaiņoti un transportēti saskaņā ar procedūrām, kas pamatojas uz starptautiski atzītiem paraugu ņemšanas standartiem un ir saskaņā ar PVD procedūru KR.10.P.197 „Pārtikas paraugu iesaiņošanas un identificēšanas kārtība". Ēdienu paraugi ņemti pēc to izgatavošanas vai noslēguma apstrādes posmā, bet ne vēlāk par 2 stundām no to izgatavošanas brīža.

MAFAM noteikšanai lietots standarts LVS EN ISO 4833:2003 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija. Mikroorganismu skaitīšanas horizontālā metode. Koloniju skaitīšanas metode pie 30°C". Mikroorganismu kultūru izolēšanai lietota PCA barotne *(Plate count agar)*. Koliformu baktēriju skaita noteikšanai lietots standarts LVS ISO 4832:2003 „Vispārīgie norādījumi koliformu baktēriju skaitīšanai. Koloniju skaitīšanas metode." Mikroorganismu sugu identificēšanai no plates ar selektīvu un/vai neselektīvu agaru tika ņemtas vismaz 5 morfoloģiski aršķirīgas kolonijas, kuras pārsēja uz neselektīvā agara (*Nutrient agar*), lai iegūtu tīrkultūru. Izolēto mikroorganismu kultūru bioķīmiskā identifikācija notika, izmantojot krāsošanu pēc Grama un mikroskopēšanu (Gram+ un Gram- mikroorganismi), un oksidāzes, katalāzes, indola un koagulāzes testus.

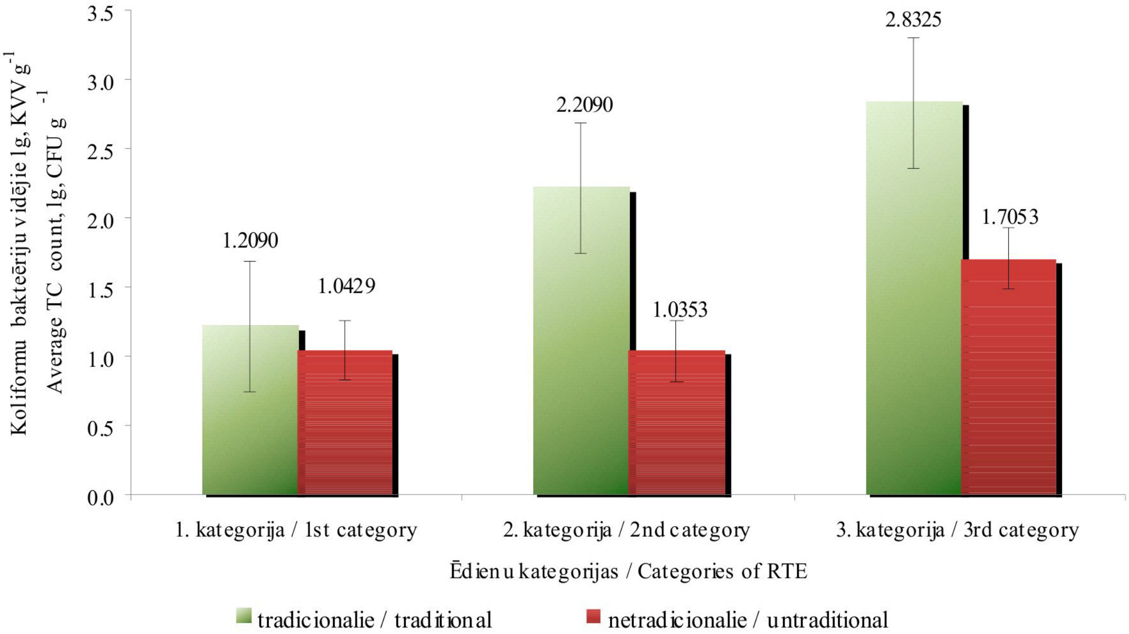
Noslēguma posmā izolēto mikroorganismu kultūru bioķīmisko īpašību noteikšanai lietotas API bioķīmiskās testsistēmas (API® *strips)* (API 20E, API STREP, API Staph, API 20 A, API NE, API campy, API 50 CH u.c.), bet atsevisķu mikroorganismu sugu identificēšanai – BBL Crystal sistēmas *(Becton Dickinson Microbiology Systems)*.

pH noteikšanai ēdienu paraugos lietots verificēts pH-metrs un standartizētās metodes pH noteikšanai dažādu veidu produktos: ГОСТ 26188-84, ГОСТ 28972-91, LVS ISO 2917:2004.

Datu statistiskai apstrādei lietotas *Microsoft Excel* un SPSS programmas 15.0 versija *(Statistical Package for Social Science)*. Pētījumu datu sakarību noteikšanai lietota matemātiskā programmu paketes MathCad 14.0 versija *(Engineering Calculation Software)*. Statistiskai analīzei lietoti lg KVV g^{-1} vidējie rādītāji, kas



1. att. Vidējais MAFAM skaits visu kategoriju ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 1. Average ACC in all category RTE foods, lg, CFU g^{-1}.



2. att. Vidējais koliformu baktēriju skaits visu kategoriju ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 2. Average TC count in all category RTE foods, lg, CFU g^{-1}.

uzskatamāk raksturo pētījumā iegūtos datus. Lietotas šādas datu analīzes statistiskās metodes: dispersijas analīze, faktoru analīze un izkliedes analīze (ANOVA). Iegūtajiem rezultātiem veikti brīvības pakāpju skaita, Fišera vērtības un p vērtības apēķini.

Mikrobioloģisko izmeklējumu rezultātu vērtēšanai lietotas PVD rekomendācijas „Vispārīgie metodiskie norādījumi pārtikas paraugu ņemšanai mikrobioloģiskiem izmeklējumiem un rezultātu izvērtēšanai", kas izveidotas, pamatojoties uz Austrālijas un Jaunzēlandes un uz Lielbritānijas un Īrijas vadlīnijām.

Rezultāti un diskusija

Šajā rakstā sniegta nozīmīgākā daļa no lielāka pētījuma, kurš tapis, pateicoties Eiropas Savienības Sociālā fonda līdzfinansējumam.

Nosakot MAFAM un koliformu baktēriju skaitu, attiecīgi 5.8% un 25.0% gadījumu konstatēti rezultāti, kas neatbilst apmierinošam testēšanas rezultātam. Ēdienu paraugi ar šādiem rezultātiem biežāk konstatēti: trešās kategorijas ēdienos, attiecīgi 64.7% (koliformas baktērijas); otrās kategorijas ēdienos, attiecīgi 9.6% (MAFAM) un 24.09% (koliformas baktērijas); pirmās kategorijas ēdienos, attiecīgi 7.4% (MAFAM) un 6.5% (koliformas baktērijas) no kopējo paraugu skaita.

Mikrorganismu skaita vidējo rādītāju decimāllogaritms uzskatāmāk raksturo visas ēdienu kategorijas. Lielākais MAFAM skaita vidējais decimāllogaritms noteikts 3. kategorijas tradicionālajos ēdienos: MAFAM – līdz 4.66 lg KVV g^{-1}, koliformas baktērijām – līdz 2.83 lg KVV g^{-1}. Līdzīga aina novērota, nosakot koliformu baktēriju skaitu, kur vidējie rādītāji ir mazāki nekā MAFAM skaitam. Analoģiskas likumsakarības novērotas koliformu baktēriju vidējo rādītāju grafiskajos attēlos (1. un 2. att.). MAFAM un koliformu baktēriju vidējais skaits tradicionālajos ēdienos ir lielāks nekā netradicionālajos ēdienos.

Neliels MAFAM skaits (tikai no 5 līdz 10 KVV g^{-1}) noteikts 48.9% izmeklējumu, kas daļēji apgrūtināja mikroorganismu sugu identificēšanu.

Pirmās kategorijas ēdienos (92.6% paraugu) noteikts mazākais MAFAM skaits ($\leq 10^4$ KVV g^{-1}), bet 3. kategorijas ēdienos (22.3% paraugu) – lielāks par 10^6 KVV g^{-1}. Koliformu baktēriju mazākais skaits ($\leq 10^2$ KVV g^{-1}) noteikts 1. un 2. kategorijas ēdienos – attiecīgi 93.5% un 75.9% paraugu, bet 3. kategorijas ēdienos – 50.6% paraugu. Trešās kategorijas ēdienos MAFAM skaits noteikts lielāks par 10^4 KVV g^{-1} 61.1% paraugu.

Nosakot MAFAM 1., 2. un 3. kategorijas ēdienos, neapmierinoši testēšanas rezultāti netika konstatēti. Savukārt koliformu baktēriju skaits 2. un 3. kategorijas ēdienos bija lielāks par 10^4 KVV g^{-1} – attiecīgi 6.02% un 14.1% gadījumu.

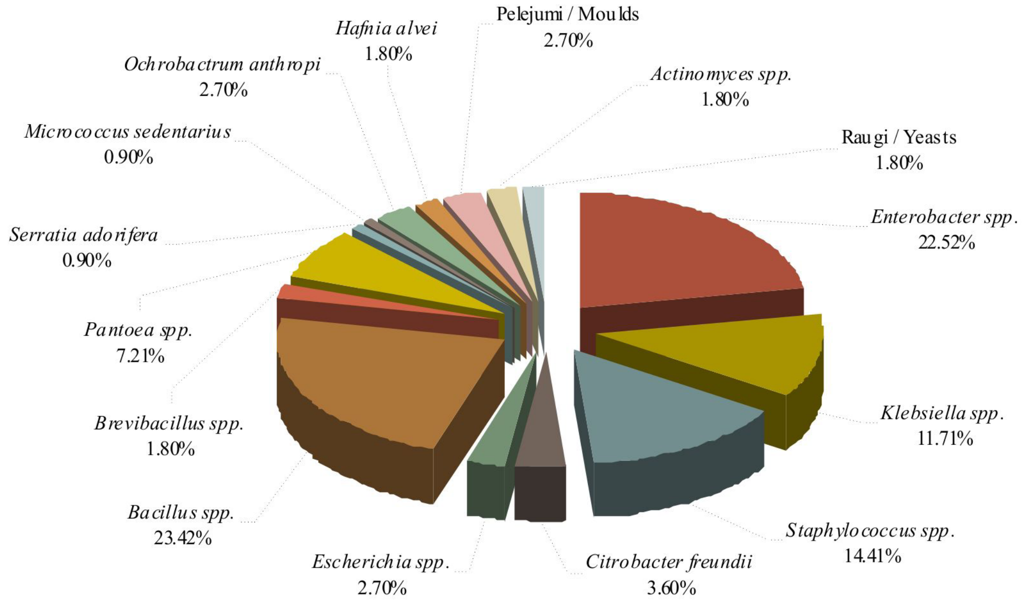
Dažādas mikroorganismu sugas noteiktas 33.2% ēdienu paraugu (n=552) (to skaitā 83.1% paraugu identificēta tikai viena mikroorganismu suga un 16.9% paraugu vienlaicīgi identificētas no 2 līdz 4 mikroorganismu sugām): *Bacillus spp.* noteikti 23.43% gadījumu, *Enterobacter spp.* – 22.52%, *Staphylococcus spp.* – 14.4%, *Klebsiella spp.* – 11.7%, *Ochrobactrum spp., Escherichia spp.* un pelējumi – 2.7%, *Hafnia alvei* un *Brevibacillus spp.* – 1.8% gadījumu, bet pārējie mikroorganismi: *Pantoea spp.* – 7.2% gadījumu, *Citrobacter spp.* – 3.6%, un raugi – 1.8% gadījumu. Skaitliski vismazāk ir pārstāvētas *Serratia spp.* un *Micrococcus spp.*, attiecīgi katra 0.9% gadījumu. Visu triju ēdienu kategoriju rezultātu kopsavilkums ir dots 3. attēlā.

Pētījuma rezultāti liecina, ka MAFAM un koliformu baktēriju skaits ēdienos saistīts ar tajos iekļautajām sastāvdaļām un apstrādes metodēm, kā arī ar to, cik lielā mērā ēdienu gatavošanā lietots personāla roku darbs, vai pārtikas uzņēmumā visos aprites posmos tiek ievērotas higēnas prasības, kā arī vai šiem produktiem pirms to lietošanas uzturā ir nepieciešama papildu termiskā apstrāde.

Tradicionālo ēdienu paraugos mikroorganismu sugas noteiktas biežāk (53.2%) nekā netradicionālo ēdienu paraugos (46.8%). Otrās kategorijas ēdienos mikroorganismu sugas identificētas 36.9% gadījumu, 1. kategorijas ēdienos – 28.8% gadījumu, un 3. kategorijas ēdienos – 34.2% gadījumu. Pārsvarā identificēti saprofitie un nosacīti patogēnie mikroorganismi, tomēr sešos gadījumos no visiem identificēts patogēns – *Staphylococcus aureus*:

- 1. kategorijas vistas gaļas ēdienos *Staphylococcus aureus* identificēts 4 gadījumos, no tiem 2 gadījumos – vairāk par 10^2 KVV g^{-1}, kas ir pieņemams rezultāts, un divos gadījumos – vairāk par 10^3 KVV g^{-1}, kas atbilst neapmierinoša rezultāta kritērijam;
- 2. kategorijas ēdienos *Staphylococcus aureus* netika identificēts;
- 3. kategorijas ēdienu divos putukrējuma ar biezpienu paraugos *Staphylococcus aureus* skaits bija lielāks par 10^5 KVV g^{-1}.

Jāatzīmē, ka *Staphylococcus aureus* daudzums, kas lielāks par 10^3 KVV g^{-1}, uzskatāms par potenciāli bīstamu patērētāju veselībai un liecina



3. att. Paraugos identificēto mikroorganismu, raugu un pelējumu daudzums, %, visu kategoriju ēdienos kopā.
Fig. 3. The amount, %, of identified microorganisms, moulds and yeasts in all category RTE foods.

1. tabula / Table 1

***p* vērtības salīdzinājums tradicionālo un netradicionālo ēdienu grupās ANOVA analīzē**
Comparison of *p* values in traditional and untraditional RTE food categories by ANOVA analysis

Ēdienu kategorijas, to rādītāji / Categories of meals and their parameters		df*	F**	Sig.***
1. kategorija / 1st category				
MAFAM lg, KVV g^{-1} / ACC lg, CFU g^{-1}	Starp grupām / Among groups	1	0.177	0.675
Koliformu baktēriju lg, KVV g^{-1} / TC lg, CFU g^{-1}	Starp grupām / Among groups	1	3.981	0.049
2. kategorija / 2nd category				
MAFAM lg, KVV g^{-1} / ACC lg, CFU g^{-1}	Starp grupām / Among groups	1	42.153	0.000
Koliformu baktēriju lg, KVV g^{-1} / TC lg, CFU g^{-1}	Starp grupām / Among groups	1	28.943	0.000
3. kategorija / 3rd category				
MAFAM lg, KVV g^{-1} / ACC lg, CFU g^{-1}	Starp grupām / Among groups	1	1.402	0.240
Koliformu baktēriju lg, KVV g^{-1} / TC lg, CFU g^{-1}	Starp grupām / Among groups	1	15.975	0.000

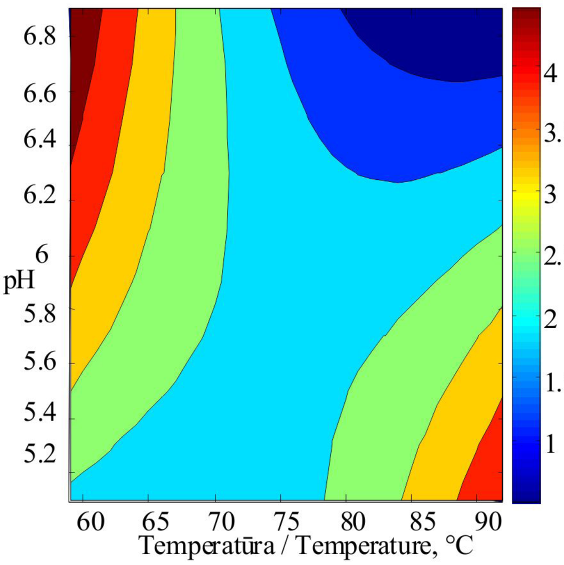
* – brīvības pakāpju skaits / number of freedom degrees; ** – Fišera vērtība / Fisher's value; *** – *p* vērtība / *p* value.

par nopietnām neatbilstībām ēdienu gatavošanas procesā.

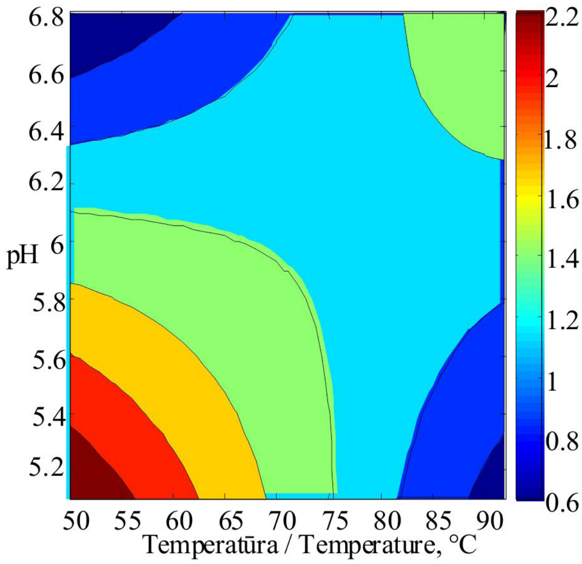
Koliformu baktēriju vidējais decimāllogaritms tradicionālo ēdienu grupā bija lielāks (2.83 lg, KVV g^{-1}) nekā netradicionālo ēdienu grupā (1.7 lg, KVV g^{-1}), kas ir 2 reizes mazāks par MAFAM vidējiem rādītājiem. Nosakot MAFAM skaitu 2. kategorijas ēdienos un koliformu baktēriju skaitu 3. kategorijas ēdienos, konstatētas statistiski ticamas atšķirības starp grupu vidējiem raksturlielumiem. *p* vērtības aprēķinu kopsavilkums dots 1. tabulā.

Pirmās kategorijas ēdieniem tikaikoliformu baktēriju vidējiem rādītājiem pastāv statistiski ticama atšķirība starp tradicionālo un netradicionālo ēdienu grupām. Arī 2. kategorijas ēdieniem gan MAFAM, gan koliformas baktērijām starp tradicionālo un netradicionālo ēdienu vidējiem rādītājiem pastāv statistiskā ticamība, bet 3. kategorijas ēdieniem tikai koliformas baktērijām pastāv statistiski ticama atšķirība.

Noteiktās sakarības liecina par to, ka termiski apstrādātajos ēdienos, t.i., 1. kategorijas ēdienos, konstatēts neliels MAFAM un koliformu baktēriju skaits, turpretī jauktajos ēdienos un ēdienos, kuri netiek termiski apstrādāti pirms pasniegšanas uzturā,



4. att. MAFAM vidējā skaita atkarība no paraugu temperatūras un pH 1. kategorijas ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 4. Average ACC in relation with the sample temperature and pH level in the 1st category foods, lg, CFU g^{-1}



5. att. Koliformu baktēriju vidējā skaita atkarība no paraugu temperatūras un pH 1. kategorijas ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 5. Average TC count in relation with the sample temperature and pH level in the 1st category foods, lg, CFU g^{-1}.

konstatēts lielākais MAFAM un koliformu baktēriju skaits. Tas norāda uz gatavo ēdienu termiskās apstrādes būtisku nozīmi mikroorganismu skaita samazināšanā.

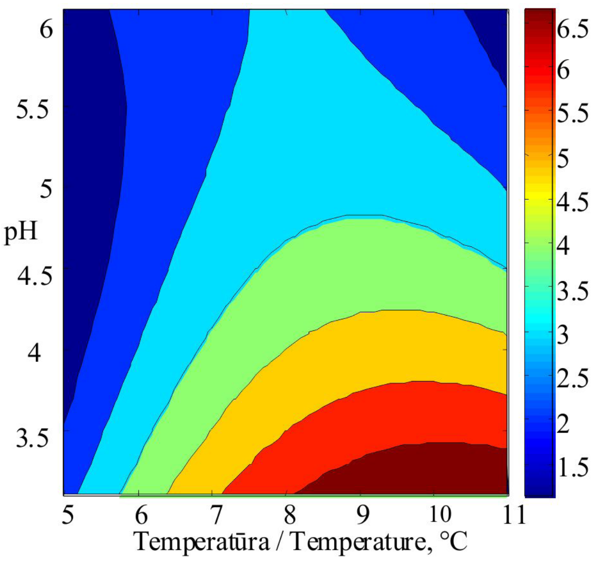
Pamatojoties uz starptautisko pieredzi un zinātniskajā literatūrā pieejamajiem datiem, šajā pētījumā tika analizētas iespējamās kopsakarības starp MAFAM un koliformu baktēriju skaitu un ēdienu paraugu temperatūru un pH. Novērots, ka, temperatūrai pārsniedzot +75 ºC un pH samazinoties zem 5.2, baktēriju skaits ir neliels – mazāks par 2.0 lg KVV g^{-1}. Iegūta sakarība, kas raksturo tiešu temperatūras un pH ietekmi uz MAFAM vidējiem rādītājiem visā 1. kategorijas ēdienu grupā:

$$\text{MAFAM lg (1. kategorija)} = 0.0024 \times T + 0.0044 \times T^2 + 12 \times pH - 0.31 \times pH^2 - 0.117 \times T \times pH - 31.8\ . \quad (1)$$

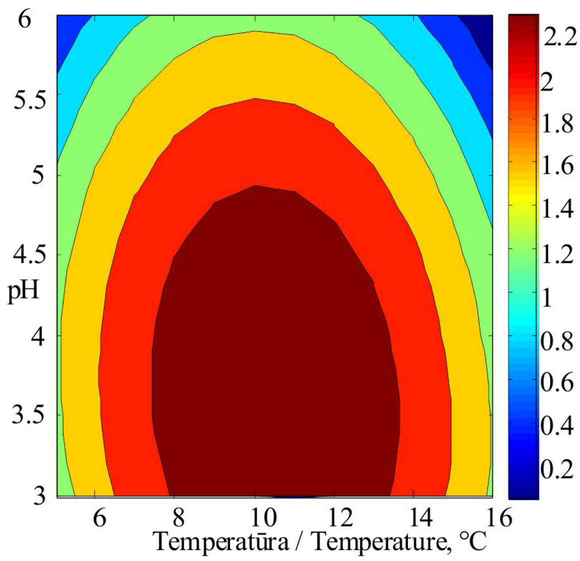
Šīs sakarības determinācijas koeficients η^2 ir tikai 0.25, kas ar zināmu piesardzību ļauj izdarīt secinājumus par temperatūras un pH neizteiktu savstarpējo ietekmi uz MAFAM skaitu šīs kategorijas ēdienu paraugos. Tas skaidrojams ar dažādo ēdienu lielajām atšķirībām, kas iekļautas šajā kategorijā.

Vērtējot koliformu baktēriju skaita atkarību no 1. kategorijas tradicionālo ēdienu gatavošanas temperatūras un pH, konstatēta izteiktāka koliformu baktēriju skaita palielināšanās, salīdzinot ar MAFAM pētījumiem (4. att.). Var droši apgalvot, ka ēdienu temperatūrai paaugstinoties virs +80 ºC, koliformu baktēriju skaits ir ļoti neliels (lg KVV g^{-1} – 0.6). Iegūta sakarība, kas raksturo katra faktora (temperatūras, pH) ietekmi uz koliformu baktēriju vidējiem rādītājiem visos 1. kategorijas ēdienos (5. att.):

$$\text{TC lg (1. kategorija)} = 19 - 0.215 \times T + 0.000026 \times T^2 - 2.56 \times pH - 0.047 \times pH^2 + 0.04 \times T \times pH\ . \quad (2)$$



6. att. MAFAM vidējā skaita atkarība no paraugu temperatūras un pH 2. kategorijas ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 6. Average ACC in relation with the sample temperature and pH level in the 2nd category foods, lg, CFU g^{-1}.



7. att. Koliformu baktēriju vidējā skaita atkarība no paraugu temperatūras un pH 2. kategorijas ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 7. Average TC count in relation with the sample temperature and pH level in the 2nd category foods, lg, CFU g^{-1}.

Šīs sakarības determinācijas koeficients η^2=0.566, kas salīdzinājumā ar MAFAM pētījumiem liecina par iegūtās sakarības un ražošanas datu ciešumu.

Otrās kategorijas ēdienu pētījumos redzams, ka šajā ēdienu kategorijā (6. att.) temperatūrai nav spēcīgas ietekmes uz MAFAM skaitu, ja pH ir mazāks par 4.0. Iegūta matemātiska sakarība:

$$\text{MAFAM lg (2. kategorija)} = 4.42 \times T - 0.17 \times T^2 - 2.46 \times pH + 0.376 \times pH^2 - 0.276 \times T \times pH - 6.94 . \quad (3)$$

Šīs sakarības determinācijas koeficients η^2=0.36, kas ļauj izdarīt attiecīgus secinājumus un liecina par minēto faktoru ne visai ciešu savstarpējo ietekmi. Visciešākā temperatūras un pH sakarība parādās, ja temperatūra ir augstāka par +11 ºC un pH ir augstāks par 4.5. Zemāk sniegta iegūtā sakarība koliformu baktēriju pētījumu rezultātiem visiem 2. kategorijas ēdieniem (7. att.):

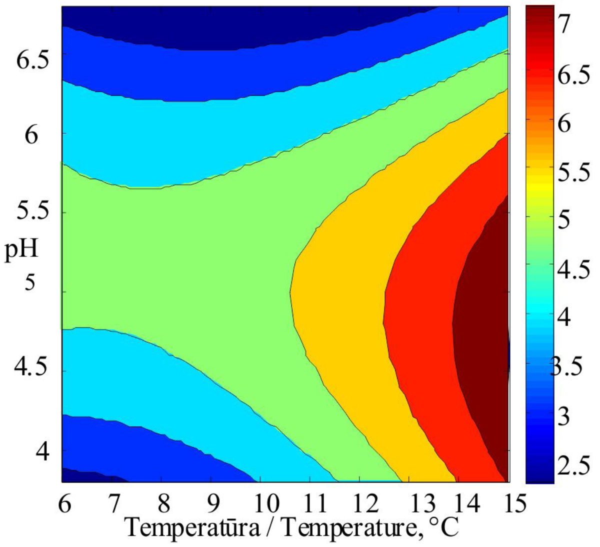
$$\text{TC lg (2. kategorija)} = -5.07 + 0.882 \times T - 0.039 \times T^2 + 1.732 \times pH - 0.216 \times pH^2 - 0.017 \times T \times pH . \quad (4)$$

Sakarības determinācijas koeficients η^2=0.367, kas tomēr nav pietiekams, lai izdarītu secinājumus par savstarpējās ietekmes ciešumu.

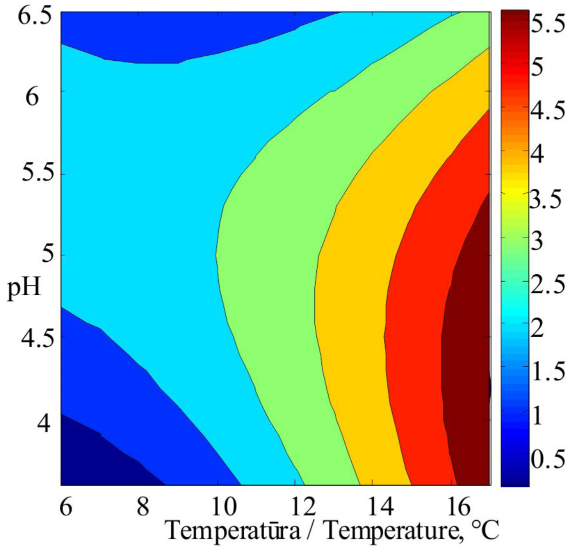
8. attēlā redzams, ka 3. kategorijas ēdienu mikrobioloģiskā kvalitāte ir būtiski atkarīga no ēdiena temperatūras. MAFAM skaits (lg KVV g^{-1}) strauji palielinās, ja temperatūra ir augstāka par +11°C. Ēdiena pH arī ietekmē MAFAM skaitu, bet ne tik būtiski kā temperatūra:

$$\text{MAFAM lg (3. kategorija)} = 0.03 \times T + 0.045 \times T^2 + 11.07 \times pH - 0.975 \times pH^2 - 0.128 \times T \times pH - 24.03 . (5)$$

Šīs sakarības determinācijas koeficients η^2=0.44, kas norāda uz pietiekami ciešu savstarpējo ietekmi un ļauj izdarīt secinājumus par šīs ietekmes raksturu. Grafiskais attēls rāda, ka temperatūras un pH sakarība ir visciešākā, ja temperatūra pārsniedz +11 ºC un pH ir augstāks par 4.5. Iegūtās sakarības liecina par temperatūras izšķirošo lomu MAFAM un koliformu baktēriju skaita pieaugšanā, jo abos gadījumos determinācijas koeficienti ir ar ,,+'' zīmi temperatūrā, kas augstāka par +10 °C. Savukārt pH loma mikroorganismu skaita pieaugšanā palielinās, ja temperatūra pārsniedz +15 °C.



8. att. MAFAM vidējā skaita atkarība no paraugu temperatūras un pH 3. kategorijas ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 8. Average ACC in relation with the sample temperature and pH level in the 3rd category foods, lg, CFU g^{-1}.



9. att. Koliformu baktēriju vidējā skaita atkarība no paraugu temperatūras un pH 3. kategorijas ēdienos, lg, KVV g^{-1}.
Fig. 9. Average TC count in relation with the sample temperature and pH level in the 3rd category foods, lg, CFU g^{-1}.

Trešās kategorijas tradicionālajiem ēdieniem raksturīga arī zemāka gatavošanas temperatūra. Iegūta šīs sakarības analītiskā izteiksme ar determinācijas koeficientu η^2=0.731, kas ir pietiekami augsts, lai izdarītu secinājumus par abu faktoru būtisku ietekmi:

$$\text{MAFAM lg trad.} = 0.46 \times T + 0.04 \times T^2 + 12.3 \times pH - 0.93 \times pH^2 - 0.21 \times T \times pH - 31. \qquad (6)$$

Iegūtā sakarība norāda uz temperatūras izšķirošo lomu baktēriju skaita pieaugumā, jo abiem koeficientiem attiecīgajā temperatūrā ir ,,+'' zīme. Temperatūrai pārsniedzot +15 ºC, pH loma baktēriju skaita pieaugšanā palielinās.

Šo ēdienu mikrobioloģiskā kvalitāte ir būtiski atkarīga no ēdiena temperatūras. MAFAM un koliformu baktēriju skaits (lg KVV g^{-1}) strauji palielinās (9. att.), temperatūrai paaugstinoties virs +11 °C. Arī ēdiena pH ietekmē mikroorganismu skaitu, bet ne tik būtiski kā temperatūra:

$$\text{TC lg (3. kategorija)} = -20.52 + 0.493 \times T + 0.027 \times T^2 + 7.8 \times pH - 0.627 \times pH^2 - 0.151 \times T \times pH. \qquad (7)$$

Šīs sakarības determinācijas koeficients η^2=0.368.

Turklāt, vērtējot koliformu baktēriju skaita saistību ar ēdiena gatavošanas temperatūru un pH 3. kategorijas tradicionālajos ēdienos, redzams, ka šo baktēriju skaita pieaugums ir līdzīgs MAFAM pieaugumam, taču būtiskāka ietekme ir ēdiena pH līmenim, īpaši ja temperatūra ir augstāka par +15 °C. To raksturo arī ,,+'' zīme iegūtajās sakarībās, ja pH ir mainīgs. Rezultāti rāda, ka ēdienu temperatūra var būt līdz +12 °C. Tālāk dota 3. kategorijas tradicionālo ēdienu pētījumos iegūtā matemātiskā sakarība:

$$\text{TClg tradic.} = 1.3 \times T - 0.0087 \times T^2 + 5.1 \times pH - 0.22 \times pH^2 - 0.25 \times T \times pH - 18.2. \qquad (8)$$

Iegūtais koliformu baktēriju determinācijas koeficients tradicionālo ēdienu paraugos η^2=0.837, kas norāda uz temperatūras, pH un koliformu baktēriju izteiktu savstarpējās ietekmes likumsakarību.

Visu ēdienu kategoriju un grupu iegūto datu savstarpējās ietekmes salīdzinājums ļauj secināt, ka tikai 3. kategorijas ēdieniem novērota izteikta temperatūras, pH un mikroorganismu skaita savstarpējā ietekme. It īpaši augsti determinācijas koeficienti gan MAFAM, gan koliformu baktērijām konstatēti šīs kategorijas tradicionālo ēdienu grupā, kur determinācijas koeficienti ir vistuvāk 1.0.

2. tabula / Table 2

Pētījumu rezultātu MAFAM un koliformu baktēriju vidējo rādītāju kopsavilkums, kas veikts ANOVA analīzē
Comparison of *p* values in traditional and untraditional RTE foods by ANOVA analysis

Ēdienu kategorija / RTE food category	MAFAM vidējais skaits, KVV g^{-1} / Average count of ACC, CFU g^{-1}	Koliformu baktēriju vidējais skaits, KVV g^{-1} / Average count of TC, CFU g^{-1}
1. kategorija / 1st category	3.2×10^3	87.0
2. kategorija / 2nd category	2.5×10^5	6.8×10^3
3. kategorija / 3rd category	7.4×10^5	1.1×10^4

3. tabula / Table 3

Identificēto mikroorganismu ģinšu vidējā skaita kopsavilkums, KVV g^{-1}
Summary of the average counts of the identified microorganism genera, CFU g^{-1}

Mikroorganismu ģintis / Genera of microorganisms	1. kategorija / 1st category	2. kategorija / 2nd category	3. kategorija / 3rd category
Bacillus spp.	5.1×10^2	1.2×10^3	9.3×10^5
Staphylococcus spp.	1.2×10^2	2.2×10^3	4.2×10^5
Enterobacter spp.	2.7×10^5	7.5×10^4	3.2×10^5
Klebsiella spp.	6.1×10^5	9.5×10^5	9.5×10^5
Escherichia spp.	3.8×10^4	–	3.2×10^6

Pētījumu rezultātu analīze rāda, ka 3. kategorijas ēdienos gan MAFAM, gan koliformu baktēriju skaits ir augstāks par 1. un 2. kategorijas ēdienos konstatētajiem vidējiem rādītājiem (2. tabula).

Salīdzinot ar 3. kategorijas ēdieniem, 1. un 2. kategorijas ēdienos koliformu baktēriju skaits ir izteikti mazāks. Tas ir saistīts ar to, ka 1. kategorijas ēdieni tiek termiski apstrādāti un pasniegti karsti. Arī 2. kategorijas ēdieni ir termiski apstrādāti, bet vēlāk atdzesēti un pasniegti bez siltumapstrādes. Tāpēc par 2. un 3. kategorijas ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes kritēriju varētu lietot koliformu baktērijas, jo tās ir jutīgas tieši pret termisko apstrādi. Katrā no pētītajām ēdienu kategorijām MAFAM un koliformu baktēriju skaits, identificēto mikroorganismu ģinšu un atsevišķu sugu īpatsvars būtiski atšķīrās (skat. 3. tabulu).

Pētījumu rezultātā izstrādāti rekomendējamie mikrobioloģiskie kritēriji gatavajiem ēdieniem Latvijas sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos (skat. 4. tabulu). Šos kritērijus ieteicams lietot gala produktu mikrobioloģiskai testēšanai.

Secinājumi

1. Latvijā šobrīd nav radīta normatīvā bāze, kas reglamentētu sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos gatavoto ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes kritērijus. Turpretī ES normatīvie akti pārtikas kvalitātes un nekaitīguma nodrošināšanai nosaka lietot mikrobioloģiskos kritērijus, kas balstīti uz zinātniskā riska novērtējumu.
2. Kvalitātes kritērijiem neatbilstoši paraugi biežāk konstatēti, nosakot koliformu baktērijas, – 25% gadījumu (MAFAM tikai 5.7%). Koliformas baktērijas un MAFAM varētu lietot kā indikatormikroorganismus ēdināšanas uzņēmumu tehnoloģisko procesu higiēnas izvērtēšanai.
3. Ēdienu paraugos galvenokārt identificēti saprofīti un nosacīti patogēni mikroorganismi (32.2 %), bet sešos gadījumos (3.4%) noteikts *Staphylococcus aureus* (2 gadījumos $<10^2$ KVV g^{-1}, kas ir pieļaujamās robežās; 2 gadījumos $>10^3$ KVV g^{-1}; 2 gadījumos $>10^5$ KVV g^{-1}, kas pārsniedz pieļaujamās robežas). Patogēnie mikroorganismi izdalīti retāk nekā saprofīti un nosacīti patogēnie mikroorganismi.
4. Noteiktie rādītāji pārsniedza pieļaujamās mirkobioloģiskās kvalitātes robežas 30% ēdienu paraugu. Mikroorganismu skaits atsevišķos gadījumos parsniedza pieļaujamās robežas (lg, KVV g^{-1} – 6.97 *Klebsiella oxytoca* 3. kategorijas ēdienos un 9.37 *Klebsiella pneumonia* 2. kategorijas ēdienos).

4. tabula / Table 4

Ieteicamie gatavo ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes kritēriji Latvijas apstākļos
Recommended criteria for the evaluation of microbiological quality of RTE foods in Latvia

Rādītājs, ēdienu kategorija / Parameter, RTE food category	Mikrobioloģiskie kritēriji, KVV g^{-1} / Microbiological ctriteria, CFU g^{-1}			
	apmierinošs testēšanas rezultāts / satisfactory test result	pieņemams testēšanas rezultāts / acceptable test result	neapmierinošs testēšanas rezultāts / unsatisfactory test result	potenciāli bīstams / potentially dangerous
Baktēriju kopskaits (MAFAM) / Total count of aerobic bacteria (ACC)				
1. kategorija / 1st category	$<10^2$	$<10^3$	$\geq10^3$	$>10^5$
2. kategorija / 2nd category	$<10^3$	$<10^4$	$\geq10^4$	$>10^6$
3. kategorija / 3rd category	$<10^4$	$<10^5$	$\geq10^5$	$>10^6$
Indikatormikroorganismi / Indicator microorganisms				
Koliformas baktērijas				
1.–3. kategorija / 1st–3rd category	<100	$>100 - <10^4$	$\geq10^4$	$>10^5$
Bacillus spp.:				
1.–3. kategorija / 1st–3rd category	$<10^3$	$>10^3 - <10^4$	$\geq10^4$	$>10^5$
Enterobacter spp.				
1.–3. kategorija / 1st–3rd category	$<10^2$	$<10^3$	$\geq10^3$	$>10^5$
Klebsiella spp.				
1.–3. kategorija / 1st–3rd category	<100	$>100 - <10^4$	$\geq10^4$	$>10^5$
Patogēnie mikroorganismi / Pathogenic microorganisms				
Staphylococcus aureus un citi koagulāzes pozitīvi stafilokoki / *Staphylococcus aureus* and other coagulase positive staphylococci	< 20	$20 - <10^2$	10^{2-3}	$\geq10^3$

Piezīme: tabula izveidota, ņemot vērā pētījumā iegūtos vidējos rezultātus un atsevišķu mikroorganismu sugu iespējamo risku cilvēka veselībai.
Note: the table is drawn up considering the obtained average results and the potential risk of certain microorganisms for human health.

5. MAFAM un koliformu baktēriju lielākais skaits noteikts 3. kategorijas ēdienos (50.6% paraugu), kas skaidrojams ar to, ka šie ēdieni pirms pasniegšanas netiek termiski apstrādāti un ir vairāku sastāvdaļu un ražošanas faktoru kopums (vidēji MAFAM – 4.4 lg, KVV g^{-1}, koliformu baktērijas – 2.2 lg, KVV g^{-1}).
6. Ēdienos identificētas 222 dažādu mikroorganismu sugas, to skaitā 16.9% paraugos izdalītas 2–3 mikroorganismu sugas vienlaicīgi. Identificēto mikroorganismu vidū lielāko īpatsvaru veido *Bacillus spp.* (23.43%), *Enterobacter spp.* (22.52%), *Staphylococcus spp.* (14.4%) un *Klebsiella spp.* (11.7%), tādēļ šos mikroorganismus varētu ieteikt lietot kā ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes indikatorus.
7. Analizēta pētījumos noteikto mikrobioloģiskās kvalitātes rādītāju savstarpējā ietekmes atkarība no ēdienu pH un paraugu temperatūras. Lielākie savstarpējās ietekmes rādītāji konstatēti 3. kategorijas ēdienos, piemēram, MAFAM determinācijas koeficients tradicionālajos ēdienos η^2=0.731, kas ir lielāks par netradicionālajos ēdienos noteikto – η^2=0.581. Bet koliformu baktērijām determinācijas koeficients tradicionālajos ēdienos η^2=0.837,

kas ir lielāks par determinācijas koeficientu netradicionālajos ēdienos – η^2=0.43. Šīs sakarības liecina par trešās ēdienu kategorijas epidemioloģisko nozīmīgumu.

8. Pierādīta statistiski nozīmīga saistība MAFAM un koliformu baktēriju skaita atkarībai no ēdienu apstrādes un gatavošanas metodēm, ēdienu sastāva, izmantoto izejvielu kvalitātes un citiem ražošanas faktoriem, kā arī saikne starp ēdienu temperatūru paraugu noņemšanas brīdī un paraugu pH. Mikrobioloģiskā piesārņojuma risks gatavajos ēdienos ir būtiski atkarīgs no ēdienu piederības noteiktai kategorijai, grupai un veidam, kas savukārt ir saistīts ar ēdienu sastāvdaļu raksturojumu un izmantotās tehnoloģiskās apstrādes metodi.
9. Latvijā vidēji tikai 18–22% ēdināšanas uzņēmumu pilnībā atbilst higiēnas prasībām, bet 70–80% tām atbilst daļēji. Pētījumā noskaidrots, ka 20% aptaujāto sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu ikdienā tiek ievērotas higiēnas prasības, bet pārējos 80.0% tiek konstatētas dažāda rakstura neatbilstības higiēnas prasībām. Nopietnas higiēnas problēmas kopumā tika novērotas 31.2% pētījumā analizēto ēdināšanas uzņēmumu. Biežāk sastopamas ir pārtikas atlaidināšanas (7.3%) un atdzesēšanas (17.1%) problēmas, ēdienu uzglabāšana neatbilstošā temperatūrā (zemāk par +60 °C siltajiem ēdieniem un/vai augstāk par +10 °C atdzesētajiem ēdieniem – 14.6%) un neatbilstības, kas saistītas ar produktu saderību un šķērspiesārņojumu (4.9%).
10. Pamatojoties uz biežāk lietojamo ēdienu pētījumu rezultātiem, izstrādāti Latvijas apstākļiem piemēroti mikrobioloģiskās kvalitātes kritēriji un rekomendācijas sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos gatavotajiem ēdieniem.
11. Pētījumā pierādīts, ka mikrobioloģiskos kritērijus lietderīgi lietot kā indikatorus gatavo ēdienu mikrobioloģiskās kvalitātes izvērtēšanai.

Literatūra

1. Blija, A., Rivža, P., Avsjukovs, A. (2005) Risku analīzes un kontroles informācijas sistēma sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos. *Riski lauksaimniecībā un privātajā mežsaimniecībā*. Monogrāfija. Galv. red. P. Rivža. Jelgava, LLU, RTU, 303–318.
2. Bolton, D.J, Maunsell, B. (2004) *Guidelines for Food Safety Control in European Restaurants.* The Food Safety Department, Teagasc – The National Food Centre, Ireland, 27 pp.: http://www.uma.pt/jcmarques/docs/haccp/EUGuidefoodsafety.p*df* – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
3. Brown, M., Stringer, M. (2002) *Microbiological risk assessment in food processing.* England, Cambridge, Woodhead publishing Ltd, CRC press, 301 pp.
4. CAC/RCP 1-1969. Recomended International code of practice. General principles of food hygiene. Rev. 4-2003, Italy, Rome: Codex Alimentarius Comission (CAC): http://www.codexalimentarius.net/web/more_info.jsp?id_sta=23 – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
5. Eiropas Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005 par pārtikas produktu mikrobioloģiskajiem kritērijiem. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, L 338, 2005. g. 22. dec., 1–26.
6. Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 178/2002 (2002. g. 28. janv.), ar ko paredz vispārīgus pārtikas aprites tiesību aktu principus un prasības izveidot Eiropas Pārtikas nekaitīguma iestādi un paredz procedūras saistībā ar pārtikas nekaitīgumu. *Oficiālais Vēstnesis*, L 31, 2002. g. 1. febr., 1–24: http://eur–lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:06:32002R0178:LV:PDF – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
7. Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 852/2004 (2004. g. 29. apr.) par pārtikas produktu higiēnu. *Oficiālais Vēstnesis,* L 139, 2004. g. 30. apr., 1–22: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004R0852:20090420:LV:PDF – Resurss aprakstīts 2010. gada 16. maijā.
8. Epinorth epidemiological data (2002–2008) – a co-operation project for communicable disease control in Northern Europe: http://www.epinorth.org/eway/default.aspx?pid=230&trg=MainArea_5260&MainArea_5260=5279:0:15,2937:1:0:0:::0:0 – Resurss aprakstīts 2010. gada 16. maijā.
9. *Food quality management: a techno-managerial approach*. (2004) Eds P.A. Luning, W.J. Marcelis, W.M.F. Jongen. Wageningen Academic Publishers, 340 pp.
10. Kārkliņa, D., Vilciņa, A., Šantare, D. (2007) Risku vadība pārtikas ražošanā. *Lauksaimniecības un pārtikas risku vadīšana.* Monogrāfija. Galv. red. P. Rivža. Jelgava, LLU, PVD, RTU, 275–322.

11. Lammerding, A.M. (2007) *Using microbiological risk assessment (MRA) in foods safety management*. Summary report of a workshop, October 2005, Prague, Czech Republic. Brussels, Belgium: International association for food protection, International Life Sciences Institute (ILSI Europe), 40 pp.
12. LVS EN ISO 4833:2003 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija. Mikroorganismu skaitīšanas horizontālā metode. Koloniju skaitīšanas metode pie 30°C”.
13. LVS ISO 2917:2004 „Gaļa un gaļas produkti: pH noteikšana – References metode”.
14. LVS ISO 4832:2003 „Vispārīgie norādījumi koliformu baktēriju skaitīšanai. Koloniju skaitīšanas metode”.
15. Melngaile, A. (2008) *Mikrobioloģiskā riska analīze sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos*. Promocijas darba kopsavilkums. Jelgava, LLU, 64 lpp.
16. Millere, I. (2009) *Darbības procesi ēdināšanas uzņēmumos Latvijas reģionos*. Promocijas darba kopsavilkums. Jelgava, LLU, 102 lpp.
17. Sabiedrības veselības aģentūras (SVA) epidemioloģiskie biļeteni un pārskati par saslimstību ar infekcijas slimībām (2002.–2008. g.): http://www.lic.gov.lv/index.php?p=1327&pp=10756&lang=258 – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
18. Sagoo, S.K., Little, C.L., Griffith, C.J, Mitchell, R.T. (2003) Study of cleaning standards and practices in food premises in the United Kingdom. *Communicable disease and public health*, No. 6 (1), 6–17.
19. *Scientific criteria to ensure safe food.* (2003) The National Academies Press, Washington, DC, 402 p.
20. Szeitzne Szabo, M., Rodler, I. (2004) HACCP: efficient prevention of catering-borne outbreaks? *Abstracts of 5th World Congress of Foodborne Infections and Intoxications, Berlin, Germany, 7–11 June 2004*, p. 103.
21. Tirado, C., Schmidt, K. (2001) WHO Surveillance Programme for Control of Foodborne Infections and Intoxications: Preliminary Results and Trends Across Greater Europe. *Journal of Infection*, No. 43 (1), 80–84.
22. WHO food safety publications. (2003–2008): http://www.who.int/foodsafety/publications/en/index.html – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
23. ГОСТ 26188-84 „Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Методы определения pH”.
24. ГОСТ 28972-91 „Рыбные консервы и продукты, другие морепродукты. Методы определения pH”.

Mikrobiālā piesārņojuma pakāpes noteikšana savvaļas dzīvnieku *(Capreolus capreolus* un *Cervus elaphus)* gaļā
Microbiological Pollution Rate of Wild Animal *(Capreolus Capreolus* and *Cervus Elaphus)* Meat

Solveiga Liepiņa, Aleksandrs Jemeļjanovs, Ināra-Helēna Konošonoka
LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskais institūts „Sigra"
Research Institute of Biotechnology and Veterinary Medicine "Sigra", LLU
e-mail: sigra@lis.lv

Abstract. In order to obtain high-quality game meat, it is very important to observe strict deer farming and transporting conditions. Microbiological control of meat is an important factor to provide harmlessness of food. Our investigations revealed that pH levels in game meat significantly differ between the investigated species just after shooting and after 72-hour storage: initial pH value in fresh roe deer *(Capreolus capreolus)* meat was 5.8, but in fresh red deer *(Cervus elaphus)* meat – 6.7, whereas after 72-hour storage pH in roe deer dropped to 5.5, but in red deer – to 5.9. The ratio of the number of *Enterobacteriaceae* to the total colony count remained constant during the whole storage period of meat of both animal species, and the number of *Enterobacteriaceae* made approximately 60% of the total bacterial count. In the fresh meat of both animal species stored at the temperature of +4 °C, +8 °C, and +20 °C, microorganisms of *Enterobacteriaceae* species prevailed. During storage, roe meat samples demonstrated slower increase in total colony count and faster growth rate of *Enterobacteriaceae* compared to red deer meat samples; the exception was storage temperature of +20 °C when *Enterobacteriaceae* growth rate in roe meat was comparatively higher. The analysed venison samples did not contain verotoxin-producing strains of *E.coli*, which showed that the meat was safe for the consumers. This was proven by the sequestration reaction of *E.coli* and by comparison of the obtained results with the microorganism genome database available on the Internet.
Key words: wild animals, meat, microbiological pollution.

Ievads

Medījumu gaļa ir kvalitatīvs, cilvēka organisma fizioloģiskajām prasībām atbilstošs uzturlīdzeklis ar zemu tauku saturu un tā labu izvietojumu starp muskuļšķiedrām. Lai gan medījumu gaļas patēriņš nav liels salīdzinājumā ar mājdzīvnieku (cūku, liellopu, putnu) gaļu, tomēr pieprasījums pēc tās palielinās, un medījumu gaļas ieguve kļūst par nozīmīgu pārtikas ražošanas sastāvdaļu.

Pēc Lauksaimniecības datu centra informācijas, 2010. gada 1. janvāri bija reģistrētas 34 staltbriežu un dambriežu saimniecības. Mūsu valstī šīs netradicionālās lauksaimniecības nozares (dzīvnieku turēšana un audzēšana nebrīvē) vēsture nav sena. Audzētāji pārsvarā izvēlējušies pieradināt staltbriežus *(Cervus elaphus)* un dambriežus *(Dama dama)*. Pavisam Latvijā reģistrēti 6255 gan intensīvi, gan ekstensīvi nebrīvē audzēti dzīvnieki (staltbrieži, dambrieži), un atkarībā no briežu audzēšanas veida audzētāji iegūst atšķirīgas kvalitātes produkciju.

Nebrīvē audzējamie brieži cēlušies no savvaļas dzīvniekiem, tāpēc tiem ir spēcīgi attīstīti izdzīvošanas instinkti, kas ļauj veiksmīgi eksistēt arī nebrīves apstākļos. Dzīvnieki tiek audzēti teritorijās, kas ir pietiekami lielas, tāpēc netiek traucēta to dabiskā pārvietošanās. Briežu optimālā ēdināšana, kas ir atkarīga no dabisko ganību resursiem un papildu piebarošanas, ļauj tos uzskatīt par bioloģiski audzētiem.

Savvaļas dzīvnieki salīdzinājumā ar mājdzīvniekiem ir jutīgāki pret stresu. Tipiskākā reakcija uz jebkuriem ārējiem kairinātājiem (piemēram, stresu medīšanas laikā) negatīvi ietekmē gaļas kvalitāti. Tāpēc arī briežu fermās, lai iegūtu optimālu gaļas kvalitāti, ir svarīgi stingri ievērot dzīvnieku turēšanas apstākļus. Saskaņā ar Eiropas

Parlamenta un Padomes Regulu (EK) Nr. 853/2004 par dzīvnieku produktiem vismaz vienai personai, tā saucamajai „apmācītajai personai”, no mednieku kolektīva jāpārzina savvaļas dzīvnieku normālā anatomija, fizioloģija un uzvedība, kā arī jāspēj noteikt dzīvnieku izmainītu uzvedību un patoloģiskas izmaiņas, ko izraisījusi slimība, vides piesārņojums vai citi faktori, kas, lietojot uzturā šo dzīvnieku gaļu, varētu apdraudēt cilvēka veselību. Mednieki, kas pārdod medījumus gaļas pārstrādes uzņēmumiem, uzrāda medījuma izcelsmi, tādējādi nodrošinot gaļas ieguves procesa izsekojamību.

Medījamo dzīvnieku kautķermeņi pēc iespējas ātrāk jāatdzesē līdz maksimāli pieļaujamai temperatūrai – +7 °C (Wiklund, Malmfors, 2004). Kautķermeņu atdzesēšanu kavē tā saucamās aponeirozes vai gaļas virskārtas plēvīte, kas cieši pārklāj muskulatūru. Ja stresa rezultātā ir samazinājušās glikogēna rezerves muskulatūrā, tad ir traucēta gaļas nobriešana. Tādēļ šis process ieilgst un strauji pazeminās gaļas kvalitāte, t.sk. saīsinās medījumu gaļas derīguma termiņš augsta pH dēļ, un tā kļūst sīksta (Atanassova, Apelt et al., 2007).

Pēc nošaušanas dzīvnieka muskulatūrā notiek bioķīmiski procesi, kas līdz pēcnāves sastinguma *rigor mortis* iestāšanās brīdim ilgst apmēram 24–36 stundas (kas ir gaļas nobriešanas process, ja temperatūra ir +2–+5 °C). *Rigor mortis* veidojas pirmajās stundās pēc dzīvnieka nošaušanas: muskulatūra kļūst spraiga un saīsinās, vienlaicīgi palielinoties pretestībai un cietībai. Parasti pēcnāves sastinguma laikā liemenī nedaudz palielinās temperatūra (izdalās siltums). Bioķīmiskie procesi turpinās pēc medījuma nošaušanas: izsīkst asinscirkulācija, zūd spēja sintezēt enerģiju (veicina muskulatūras sastinguma iestāšanos), izbeidzas audu apgāde ar skābekli, samazinās ķermeņa temperatūra, sāk cietēt tauki. Sākas strauji anaerobi glikolītiskie procesi, kā rezultātā glikogēns tiek sašķelts līdz pienskābei u.c. metabolītiem, kuru daudzums ievērojami palielinās, kas savukārt veicina strauju gaļas pH līmeņa pazemināšanos. Glikogēna straujās līmeņa izmaiņas ir izskaidrojamas ar stresa ietekmi.

Mūsu pētījumā staltbrieži tika sadzīti speciāli aprīkotos, dzīvnieku likvidēšanai (nošaušanai) paredzētos aplokos, kas tiem radīja ievērojamu stresu. Turpretim stirnu gaļas iegūšanai dzīvnieki netika pakļauti iepriekšminētajiem stresa apstākļiem – tie tika medīti dabīgos apstākļos mežā ziemas laikā.

Lai gan brieža gaļa uzglabāšanai bieži tiek sasaldēta, nereti to izplata vakuumā iepakotu un atdzesētu. Vakuuma iepakojumā gaļas uzglabāšanas termiņš ir atkarīgs no tajā esošā izejmateriāla, kā arī no gaļas pH līmeņa. Baktērijas ar augstu bīstamības potenciālu, piemēram, salmonellas, listērijas u.c., vairojas muskuļaudos, kuru pH <5.8 (Green, Nattress, 2004), un izraisa produkta bojāšanos. Brieža gaļai ir maz taukaudu, un, kaut gan pirmskaušanas perioda stress dzīvniekos var izraisīt paaugstinātu gaļas pH līmeni, tā ietekme uz muskuļu pH līmeni staltbriežu un ziemeļbriežu liemenī ir niecīga (Wiklund, Drew, Ahman, 2002).

Svarīgs faktors, kas ietekmē gaļas kvalitāti, ir gaļas pH, kas samazinās, aerobās glikolīzes laikā noārdoties glikogēnam. Dzīvu dzīvnieku muskuļiem ir neitrāls pH, vai normā tas ir no 7.0 līdz 7.3. Pirms kaušanas brieži pārdzīvo dažādas stresa situācijas, piemēram, kad tie tiek sadzīti ganāmpulkos, pārvadāti un ilgi turēti aplokos. Tā rezultātā var izsīkt dzīvnieku glikogēna uzkrājumi, kas izraisa gaļas pH paaugstināšanos līdz tā maksimālai vērtībai – 7.0 (Wiklund, Malmfors, 2004). Četrdesmit minūtes pēc dzīvnieka nokaušanas pH samazinās līdz 5.4–5.7, ko var izskaidrot ar pienskābes veidošanos no glikogēna glikolīzes rezultātā. Uzglabājot brieža gaļu 1–14 dienas pēc dzīvnieka nošaušanas, tās pH praktiski nemainās. Pēc savvaļas dzīvnieku nošaušanas straujā pH samazināšanās izteikti ietekmē gaļas organoleptiskās (krāsu, sulīgumu, garšu, struktūru) un tehnoloģiskās (ūdens noturīgumu) īpašības.

Nepareizas medījuma apstrādes sekas ir gaļas sadalīšanās, ko izraisa aerobās un anaerobās baktērijas. To var arī veicināt nehigiēniska apiešanās ar medījumu jebkurā no tā apstrādes fāzēm. Parasti tas notiek gadījumos, kad dzīvnieks ir sašauts vēderā vai vietā, kas saistīta ar lodes ieeju vai izeju no ķermeņa (Hoffman, Wiklund, 2006; Reinken, Hartfiel, Korner, 1980). Mikroorganismi izplatās caur asinsrites sistēmu, kas dzīvnieka ievainojuma gadījumā joprojām funkcionē. No medījumu gaļas, tāpat kā no mājlopu gaļas, var inficēties ar mikroorganismiem, kuri ierosina pārtikas infekcijas. Tādēļ, lai novērtētu medījumu gaļas higiēnisko stāvokli, svarīgi noteikt mezofīlo aerobo un fakultatīvi anaerobo (MAFAM) mikroorganismu skaitu, *Enterobacteriaceae* dzimtas mikroorganismu skaitu un mikroorganismu klātbūtni. Kā liecina zinātnieku pētījumi (Carter, 1990a), *Enterobacteriaceae* dzimta ietver sevī 30 baktēriju ģintis un vairāk nekā 120 sugas, no kurām dažas uzturas dzīvnieku un cilvēku zarnu traktā un apkārtējā vidē. Daudzas šīs dzimtas baktērijas ir zināmas kā vienas no vispatogēnākajām un ir visbiežāk izdalītās kultūras laboratorijās.

Mūsu pētījumā mikroorganismu identificēšanai un to skaita izvērtēšanai stirnu un briežu gaļā tika analizēta *Escherichia coli (E.coli)* un mezofili aerobie un fakultatīvi anaerobie mikroorganismi. Pēc morfoloģijas *E.coli* ir gramnegatīvas nūjiņas, fakultatīvi anaerobas, nesporulējošas, fermentatīvas, oksidāzes negatīvas un katalāzes pozitīvas. Visi ģints pārstāvji spēj fermentēt glikozi un reducēt nitrātus, tiem nav citohromoksidāzes, pārsvarā tie ir kustīgi un parasti saistīti ar zarnu infekcijām, sastopami arī apkārtējā vidē.

Patogēnie mikroorganismi, kas nonāk cilvēka organismā ar dzīvnieku izcelsmes pārtiku, bieži vien izraisa ar pārtiku saistītas infekcijas slimības. Patogēno baktēriju noteikšana ar tradicionālajām metodēm ir apgrūtināta, jo mikroorganismi bieži ir nelielā skaitā un tiek nomākti ar organisma vietējo mikrofloru. Lai atvieglotu un paātrinātu patogēno mikroorganismu noteikšanu un palielinātu identificēšanas jutību (Olsen, 2000), dažādu bakteriālo infekciju diagnostikā aizvien vairāk tiek izmantotas dažādas molekulārās bioloģijas un ģenētisko izmeklējumu metodes (Olsen, 2000). Gaļas mikrobiālā kontrole ir svarīgs faktors pārtikas nekaitīguma nodrošināšanā. Šim nolūkam arvien vairāk tiek izmantotas tehnoloģijas, kas mikroorganismus identificē un klasificē DNS līmenī (Tutenel, Pierard et al., 2003); viena no biežāk izmantotajām ir polimerāzes ķēdes reakcija (PCR – angļu val. *Polymerase Chain Reaction)* (Olsen, 2000).

Mērķis un uzdevumi

Pētījuma mērķis bija noskaidrot un izvērtēt savvaļas stirnu *(Capreolus capreolus)* un nebrīvē audzējamo staltbriežu *(Cervus elaphus)* gaļas mikrobiālā piesārņojuma pakāpi uzglabāšanas laikā dažādos temperatūras režīmos. Šim nolūkam tika izvirzīti uzdevumi:

1) noteikt savvaļas dzīvnieku gaļas pH sākuma periodā un izmaiņas uzglabāšanas laikā;
2) pētīt savvaļas dzīvnieku gaļas mikrobiālo piesārņojumu tās glabāšanas laikā dažādās temperatūrās, pielietojot klasiskās mikrobioloģijas metodes;
3) veikt mikroorganismu identificēšanu savvaļas dzīvnieku gaļā un noteikt no gaļas izdalīto mikroorganismu atbilstību sugai, pielietojot molekulārās bioloģijas metodi – PCR;
4) iegūtos rezultātus salīdzināt ar mikrobioloģijas metodēm (klasisko un PCR) un noskaidrot, vai kāds no celmiem nesatur patogēnos verotoksīnus producējošos gēnus.

Materiāls un metodes

Paraugu iegūšana

No 2009. gada oktobra līdz 2010. gada janvārim medību sezonas laikā tika iegūti 40 savvaļas dzīvnieku gaļas paraugi: 20 stirnu *(Capreolus capreolus)* gaļas paraugus ieguva vairāki medību kolektīvi oficiālās medībās un 20 nebrīvē audzētu staltbriežu *(Cervus elaphus)* gaļas paraugus ieguva divās Vidzemes briežaudzētāju saimniecībās.

Medību veidi un pamatapstākļi

Savvaļas medījamie dzīvnieki tika medīti dzinēju medībās dažādos medību kolektīvos, bet nebrīvē audzētos dzīvniekus nošāva speciāli paredzētā aplokā briežu audzēšanas saimniecībās. Vairumā gadījumu medības ilga vairāk nekā trīs stundas. Pēc dzīvnieku nošaušanas 15–20 minūšu laikā no kautķermeņiem tika izņemti iekšējie orgāni. Pēc medību beigām visus nošautos dzīvniekus nogādāja gaļas pārstrādes uzņēmumā, kur to liemeņus pēc apstrādes ievietoja atdzesēšanas kamerā +7 °C temperatūrā.

Analizējamie paraugi

Ievērojot standartā LVS ISO17604:2005 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija. Mikrobioloģiskai analīzei paredzētu paraugu ņemšana no liemeņa” noteikto metodiku, gaļas pārstrādes uzņēmumā no muskulatūras tika noņemti svaigas gaļas paraugi: no kautķermeņa atsevišķām daļām noņēma ādu, un pēc tam ar sterilu perforatoru no katra kautķermeņa muskulatūras – garākā jostas muskuļa *(m.longissimus lumborum)*, ciskas divgalvainā muskuļa *(m.biceps femoris)* un pleca trīsgalvainā muskuļa *(m.triceps brachii)* – paņēma trīs paraugus (masa – 0.250 kg, kopējā virsma – 20 cm^2).

Iegūto 40 svaigas gaļas paraugu (no 20 savvaļas stirnām un 20 nebrīvē audzētiem briežiem) mikrobioloģiskā piesārņojuma pakāpes pētīšanai mikrobioloģiskās analīzes un polimerāzes ķēdes reakcija tika veiktas LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskajā institūtā „Sigra”. Pētniecībā izmantojām metodes, kas apskatītas sadaļā „Analīžu metodika”. Iegūtos rezultātus savstarpēji salīdzinājām.

Gaļas paraugiem vienlaicīgi tika noteikts sākotnējais mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu (MAFAM) skaits un *Enterobacteriaceae* dzimtas baktēriju skaits.

Ņemot vērā nepieciešamību noteikt optimālāko gaļas uzglabāšanas temperatūru, gaļas paraugus aseptiskos apstākļos sadalīja trijās daļās uzglabāšanai dažādās temperatūrās (+4 °C, +8 °C un +20 °C) un dažādos termiņos: 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 un 168 stundas jeb 7 diennaktis.

Analīžu metodika

Gaļas paraugu pH noteikts saskaņā ar LVS ISO 2917:2004 standartu gaļas un gaļas produktu pH noteikšanai (references metode), izmantojot „JENWAY 3520 pH Meter" iekārtu. pH potenciometriskais mērījums balstās uz elektrisko potenciālu atšķirībām starp mērījumu elektrodu un atsauces elektrodu pierakstu specifiskā temperatūrā.

Paraugu sagatavošana mikrobioloģiskai testēšanai tika veikta saskaņā ar standarta LVS EN ISO 6887-2:2004 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija – testēšanas paraugu, sākotnējās suspensijas un decimālšķīdumu sagatavošana mikrobioloģiskām pārbaudēm – 2. daļa: īpaši noteikumi kā sagatavot gaļu un gaļas izstrādājumus". Atšķaidījumu pagatavošanai tika izmantots sāls–peptona šķīdums (Maximum recovery diluent, OXOID, CM0733).

Mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobās (MAFAM) mikrofloras skaits paraugos noteikts saskaņā ar standartu LVS EN ISO 4833:2003 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija. Mikroorganismu skaitīšanas horizontālā metode. Koloniju skaitīšanas metode pie +30 °C."

Enterobacteriaceae skaits noteikts saskaņā ar standartu LVS ISO 21528-2:2004 „Pārtikas un lopbarības mikrobioloģija – *Enterobacteriaceae* dzimtas baktēriju klātbūtnes un skaita noteikšana ar horizontālmetodēm – 2. daļa: metode ar koloniju skaitīšanu". *Enterobacteriaceae* skaits noteikts, izmantojot selektīvās barotnes (Macconkey II Agar, Becton Dickinson, USA).

Vienlaicīgi tika noteikts mikroorganismu skaita augšanas ātruma izmaiņu rādītājs (Y), kas raksturo iespējamo produkta uzglabāšanas ilgumu – laiku, kurā mikroorganismu skaits sasniedz kritisko līmeni. Rādītāja vērtība ir atkarīga no temperatūras un sākotnējā produkta bakteriālā piesārņojuma līmeņa.

Mikroorganismu augšanas ātruma rādītāju aprēķināja, novērojuma perioda sākumā un beigās noteikto mikroorganismu skaita starpību izdalot ar novērojuma perioda ilgumu (stundās vai dienās):

$$Y = (B - A) \div T^{-1}, \tag{1}$$

kur

Y – baktēriju skaita izmaiņu augšanas ātruma lg, kvv g^{-1} h^{-1};

A – perioda sākumā noteiktā mikroorganismu skaita lg, kvv g^{-1};

B – perioda beigās noteiktā mikroorganismu skaita lg, kvv g^{-1};

T – perioda ilgums, h.

Tā kā baktēriju augšanas – skaita izmaiņu – raksturs ir eksponenciāls, mikroorganismu augšanas ātruma aprēķinam izmantojām transformētas baktēriju skaita decimālā logaritma (lg) vērtības, kuru regresija ir tuva lineārai izteiksmei.

Zinot sākotnējo bakteriālā piesārņojuma līmeni un balstoties uz aprēķiniem konkrētām temperatūrām, kā arī izmantojot augšanas ātruma lineāro vienādojumu, var sastādīt novērtējuma matricu ar paredzamajiem uzglabāšanas ilgumiem (termiņiem) vai arī pēc Y vērtības un noteiktā sākotnējā piesārņojuma var aprēķināt uzglabāšanas laiku konkrētai gaļas partijai:

$$H = Y \times A, \tag{2}$$

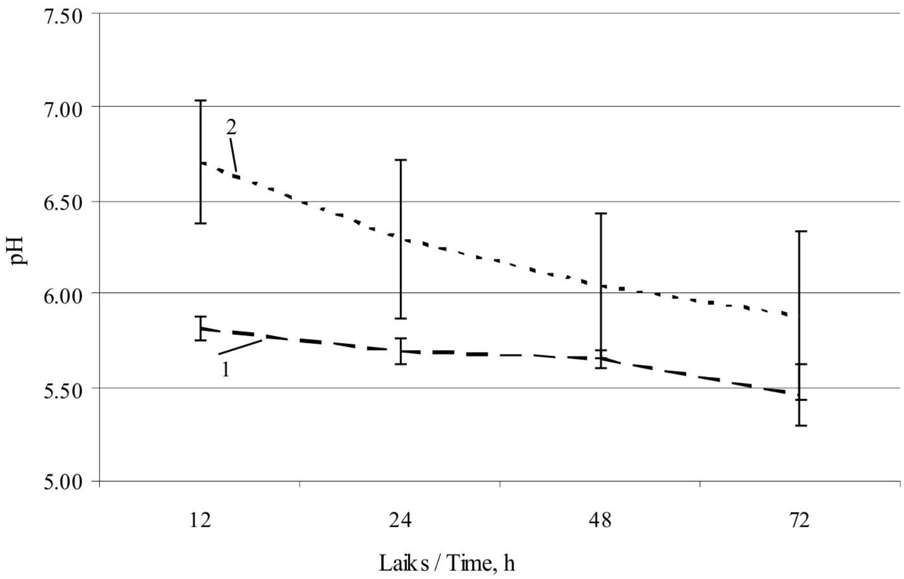
kur

H – paredzamais drošas uzglabāšanas ilgums, h;

Y – baktēriju skaita izmaiņu augšanas ātruma lg, kvv g^{-1} h^{-1};

A – sākotnēji noteiktais mikroorganismu skaita lg, kvv g^{-1}.

Lai apstiprinātu mikrobioloģisko rezultātu, papildus klasiskajām mikrobioloģiskajām metodēm tika izmantota arī PCR tehnika. No 80 analizētajiem paraugiem tika atlasīti 8 paraugi (10%), un reakcija tika veikta gan sākotnējam materiālam (t.i., staltbriežu gaļas paraugiem), gan arī jau izolētai tīrkultūrai. Sākumā no izvēlētajiem paraugiem tika izdalīta DNS, izmantojot *DNeasy Blood and Tissue Kit (Qiagen)* audu paraugu un gram-negatīvo baktēriju DNS izdalīšanas protokolu. Pēc tam ar spektrofotometru *NanoDrop (Applied Biosystems)* tika pārbaudītas izdalīto DNS koncentrācijas un tīrība. Mērījumi liecināja, ka iegūtās tīrkultūru DNS ir tīras, tomēr to koncentrācija ir inhibējoša PCR veikšanai. Savukārt gaļas paraugu DNS koncentrācijas atbilda vajadzīgajām, tādēļ netika veikta to atšķaidīšana. Pirms PCR veikšanas tīrkultūru DNS paraugi tika atšķaidīti līdz aptuvenai



1. att. pH vidējā līmeņa izmaiņas savvaļas dzīvnieku gaļas paraugos pēc 12–72 stundu (gaļas vērtības stabilizācijas laiks) uzglabāšanas +4 °C temperatūrā: 1 – pH stirnām; 2 – pH staltbriežiem.
Fig. 1. Changes in mean pH values of game meat samples after 12–72 hours (value stabilization time) of storage at the temperature of +4 °C: 1 – roe deer; 2 – red deer.

koncentrācijai 100 ng ml^{-1}, kas ir optimāla reakcijas veikšanai.

Lai apstiprinātu mikrobioloģiskajās analīzēs konstatēto *E.coli* klātbūtni gaļas paraugos un izolētās *E.coli* celmu tīrkultūras, 10% izmeklējumu (8 gaļas paraugiem un 8 *E.coli* celmu tīrkultūru paraugiem) papildus klasiskajām mikrobioloģiskajām metodēm tika izmantota PCR tehnika, pielietojot randomizācijas metodi. Sākumā no izvēlētajiem paraugiem tika izdalīta DNS, izmantojot *DNeasy Blood and Tissue Kit (Qiagen)* audu paraugu un gram-negatīvo baktēriju DNS izdalīšanas protokolu. PCR arī veicām, lai noskaidrotu, vai kāds no celmiem nesatur patogēnos toksīnus producējošos gēnus VT1 un VT2 un intimīna gēnu eaeA, kuri kalpo par piesaistes vietu toksīniem.

Ar PCR izdalītās *E.coli* identifikācija tika pārbaudīta, iegūtos datus saskaņojot ar Nacionālā centra biotehnoloģiskās informācijas datu bāzi *(National Center for Biotechnology Information)*. Pārbaudot sekvencēšanas datu korektumu, izmantojām Sekvences salīdzināšanas datu bāzi *(Sequence Similarity Search – BLAST)*.

Mikroorganismu kvv absolūtais skaits tika izteikts logaritmos pie bāzes 10. Datu apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm. Metožu novērtējumam un salīdzinājumam izmantota regresijas analīze, izmaiņu būtiskums pārbaudīts ar dispersiju salīdzinošiem testiem.

Rezultāti un diskusija

Savvaļas stirnu *(Capreolus capreolus)* un nebrīvē audzētu staltbriežu *(Cervus elaphus)* gaļas pH izmaiņas

Ziemas apstākļi medību sezonas laikā un apkārtējās vides zemā temperatūra veicināja strauju nošauto stirnu un staltbriežu ķermeņu atdzišanu. Pētījumi parādīja, ka gaļas sākotnējais pH līmenis, kā arī tā samazināšanās pētītajām sugām būtiski atšķiras (1. att.). Mūsu pētījumā minimālās pH vērtības stirnas gaļai tūlīt pēc nošaušanas bija 5.8, bet briežu gaļai – 6.7. Pēc A. Sproģes datiem (2000) dzīvnieku dzīves laikā pH to muskuļaudos ir tuvu 7.2, tūlīt pēc atasiņošanas pazeminās līdz 6.0–7.0, bet vēlāk samazinās līdz minimumam – 5.4 līdz 5.6.

1. attēlā redzams, ka sākotnēji vidējais pH stirnu gaļas paraugos bija 5.8, bet pēc 72 stundu uzglabāšanas samazinājās līdz 5.5. Savukārt briežu gaļas paraugos sākotnējais pH bija augstāks (6.7) un pēc 72 stundu uzglabāšanas samazinājās līdz 5.9. Kā norāda H. Sielaff (1996) un M. M. Carlos Sanudo, J. L. Campo et al. (2007), gaļas izturību pret bojāšanos nodrošina pH: vides pH kļūstot skābākam, pienskābes uzkrāšanās rezultātā gaļas uzglabāšanas laiks pagarinās.

Gaļas pH būtiski ietekmē mikroorganismu attīstību (Diagnostic Procedures ..., 1981). Katrai mikroorganismu grupai ir savs pH intervāls, piemēram, *Escherichia* spp. pH – 4.0–9.0. Tā kā viens no svarīgākajiem baktēriju augšanu noteicošajiem faktoriem ir pH, tad enterobaktēriju skaita pieaugumu stirnu gaļā var pamatot ar pH izmaiņām (sākumā – 5.8, bet vēlāk samazinājās līdz 5.5). Sākotnējā stirnu gaļas pH vērtība liecina par to, ka, medībām notiekot ziemas mēnešos, stirnas tiek nošautas mierīgos apstākļos, bez stresa, tās nav bijušas nogurušas. Šie novērojumi sakrīt arī ar V. Atanassova, J. Apelt et al. (2007) atziņām.

Mūsu pētījumos augstais sākotnējais pH līmenis, t.i., 6.7, briežu gaļā liecina par dzīvnieku stresu pirms nošaušanas. To varēja novērot, staltbriežus dzenot aplokos, kas bija paredzēti speciāli šim mērķim. Augstais pH līmenis gaļā, ko konstatēja pēc dzīvnieka nodīrāšanas, liecina par lielu ūdens noturību gaļā, jo vēl nebija notikusi organisko skābju veidošanās. Kā norāda pētnieki (Wiklund, Drew, Ahman, 2002), gaļas uzglabāšanas laikā, kad bioķīmiskās bojāšanās procesi notiek ātrāk, gaļas derīguma termiņš saīsinās, kas savukārt ir būtisks gaļas kvalitātes defekts. Ja pH līmenis ir paaugstināts (6.7), brieža gaļa ir cietāka nekā tad, ja gaļas pH ir normāls (5.5–5.8). Literatūrā atrodams, ka staltbriežu gaļas maksimālā pH vērtība pasliktina produktu kvalitāti un samazina gaļas derīguma termiņu (Gill, 2007; Wiklund, Malmfors, 2004). G. Reinken, W. Hartfiel un E. Korner (1980) atzīmē: ja gaļas pH ir 5.5, tā ir daudz maigāka nekā gaļa, kuras pH ir robežās no 5.8 līdz 6.0. Mūsu pētījumā pH 5.5 bija stirnu gaļai, ko uzglabāja 72 stundas.

Svaigas gaļas maksimālo pH vērtību nosaka apmēram 24 stundas pēc dzīvnieka nošaušanas. Medījumu svaigo gaļu raksturo ar trim burtiem – DFD (no angļu val. *dark, firm, dry* – tumša, cieta, sausa), kas ir pastāvīgs mājdzīvnieku gaļas kvalitātes defekts. DFD mājdzīvnieku gaļu nevar iepakot vakuumā, jo tas saīsina gaļas derīguma termiņu, kā arī ievērojami izmaina gaļas krāsu, struktūru un ūdensnoturīgumu (Wiklund, Drew, Ahman, 2002). Turpretim vakuumā iesaiņotas brieža gaļas uzglabāšanas termiņš -1 °C temperatūras režīmā var būt pat līdz 18 nedēļām (Wiklund, Malmfors, 2004).

Uzglabājot gaļu, viens no galvenajiem tās bojāšanās veidiem ir gaļas virsmas glumēšana. Pēc D. Kārkliņas, A. Blijas u.c. (2005) secinājumiem, viens no svarīgākajiem šī mikrobioloģiskā riska veidošanās tehnoloģiskā procesa etapiem ir izejvielas sagatavošana. Lai izvērtētu svaigas gaļas uzglabāšanas laika ietekmi uz produkta bojāšanos, autori ir pētījuši amino-amonija slāpekļa veidošanās dinamiku. Gaļas olbaltumvielām sadaloties, pūšanas procesā tiek sarautas olbaltumvielu peptīdu saites (-CO-NH-), kā rezultātā palielinās brīvo amino- un karboksilgrupu skaits. Vienlaicīgi notiek aminoskābju dezaminēšanās, kas ir saistīta ar amonija savienojumu uzkrāšanos. Attiecīgi gaļā palielinās slāpekļa aminogrupu un slāpekļa amonija (amino-amonija slāpekļa) daudzums. Visu iepriekš minēto procesu rezultātā, kurus veic gaļā vai uz tās virsmas atrodošies mikroorganismi, notiek gaļas sadalīšanās un tās uzturvērtības pazemināšanās.

V. Hozjajevs (Хозяев, 2002) ir konstatējis, ka medījamo dzīvnieku gaļas nobriešana notiek lēnāk nekā liellopu gaļai, ko viņš skaidro ar stresa aptākļiem pirms dzīvnieka nošaušanas, kad pastiprināti palielinās glikogēna patēriņš. Lielo medījamo dzīvnieku gaļa nobriešanas procesā izmainās – nokrāsa mainās no tumši sarkana toņa uz gaišāku, bet vēlāk paliek tumši brūna vai atkal tumši sarkana, smarža kļūst aromātiskāka un struktūra mīkstāka. Nobriedušas medījuma gaļas tumšo nokrāsu daļēji iespaido dzīvnieka nepilnīga atasiņošana nošaušanas brīdī.

Dažādos temperatūras režīmos uzglabātas savvaļas dzīvnieku gaļas mikrobiālais piesārņojums

Mūsu pētījumi liecināja, ka medījamo dzīvnieku gaļas uzglabāšanas termiņš visās pārbaudītajās uzglabāšanas temperatūrās (+4 °C, +8 °C un +20 °C) ir ierobežots. Pat +4 °C temperatūra nevarēja nodrošināt abu dzīvnieku sugu gaļas atbilstošu mikrobiālo kvalitāti, jo MAFAM skaits uzglabāšanas laikā palielinājās, pēc 168 stundām 1.4 reizes pārsniedzot nekaitīguma kritērijus. Iespējams, viens no cēloņiem ir saistīts ar iekšējo orgānu traumu eviscerācijas laikā, ko ietekmēja nepietiekamā kautuves strādnieku kvalifikācija. Literatūrā ir norādes (Gill, 2007), ka gaļas kvalitātes nodrošināšanā būtiska nozīme ir laika periodam, no dzīvnieka nošaušanas līdz brīdim, kad tā liemenis tiek ievietots atdzesēšanas kamerā. Pētījumos (Lawrie, Ledward, 2006; Donnison, Ross, 2004) konstatēts, ka jau dažu stundu laikā pēc liemeņa apstrādes sākas svaigas gaļas bojāšanās process – mikroorganismu skaits uz gaļas virsmas strauji palielinās. Šī procesa rezultātā gaļa kļūst vizuāli nepievilcīga – izmainās tās krāsa –, un īsā laikā gaļa kļūst bīstama patērētājam.

Gaļas kontaminācija ar mikroorganismiem ir neizbēgama – uz tās var nokļūt paša dzīvnieka zarnu mikroflora, kura var saturēt ap 3.3×10^{13} baktēriju šūnu. Arī apkārtējā vide (zemsedze), mednieka rokas, apģērbs un apstrādes instrumenti ir gaļas piesārņojuma avots (Reinken, Hartfiel, Korner, 1980). Vairošanās procesā baktērijas un mikroskopiskās sēnes sadala gaļā esošās organiskās vielas, kas bojā gaļas kvalitāti,

1. tabula / Table 1

Savvaļas dzīvnieku gaļas paraugos noteikto MAFAM un enterobaktēriju skaita vidējās vērtības atkarībā no gaļas uzglabāšanas ilguma un temperatūras
Mean total colony count and mean number of *Enterobacteriaceae* in game meat samples depending on meat storage time and temperature

Uzglabāšanas temperatūra un ilgums / Storage temperature and time		Dzīvnieku un mikroorganismu sugas / Species of animals and microorganisms							
		stirnas / roe deer				staltbrieži / red deer			
		MAFAM / TCC		*Enterobacteriaceae*		MAFAM / TCC		*Enterobacteriaceae*	
°C	laiks / time, h	lg, kvv / cfu g^{-1}	STD	lg, kvv / cfu g^{-1}	STD	lg, kvv / cfu g^{-1}	STD	lg, kvv / cfu g^{-1}	STD
+4 °C	12	7.41	0.85	3.87	0.79	6.84	0.92	3.96	0.79
	24	7.28	0.55	4.10	0.75	6.99	0.73	4.14	0.75
	48	7.63	0.17	4.15	0.74	7.45	0.46	4.28	0.74
	72	8.16	0.57	4.28	0.63	7.97	0.47	4.59	0.63
	96	8.65	0.33	4.87	0.79	8.50	0.39	5.03	0.79
	120	8.85	0.79	5.35	0.58	8.78	0.43	5.39	0.58
	144	9.24	0.69	5.58	0.40	9.06	0.33	5.46	0.40
	168	9.54	0.29	5.73	0.26	9.38	0.31	5.68	0.26
+8 °C	12	7.41	0.85	3.87	0.73	6.84	0.92	3.76	0.79
	24	7.37	0.56	3.86	0.34	7.34	1.03	4.06	0.66
	48	8.05	0.67	3.82	0.54	7.97	0.76	4.20	0.76
	72	7.97	0.15	4.58	0.34	8.45	0.63	4.65	0.64
	96	8.79	0.51	5.18	0.20	8.74	0.53	5.11	0.44
	120	9.17	0.46	5.59	0.47	9.24	0.50	5.55	0.48
	144	9.36	0.40	5.70	0.15	9.49	0.54	5.75	0.33
	168	9.73	0.39	5.83	0.19	9.94	0.36	5.92	0.24
+20 °C	12	7.41	0.85	3.87	0.79	6.84	1.01	3.76	0.64
	24	8.60	0.21	5.07	1.14	8.47	0.41	4.93	0.99
	48	9.55	0.48	6.75	0.70	9.40	0.56	6.19	0.91

izdalot kaitīgus metabolisma produktus, piemēram, toksīnus, kas var būt bīstami patērētājam.

Analizējot gaļas paraugus pirms to ievietošanas atdzesēšanas kamerā, tika konstatēts ievērojams gaļas virsmas mikrobiālais piesārņojums: baktēriju kvv g^{-1} kopskaita lg stirnu gaļai bija 7.41, bet briežu gaļai – 6.84; savukārt enterobaktēriju kvv g^{-1} kopskaita lg – attiecīgi 3.87 un 3.96. Iegūtie rezultāti parādīja, ka stirnu un briežu gaļas mikrobiālais piesārņojums pirms uzglabāšanas pārsniedza nekaitīguma kritēriju robežvērtību – 5×10^6 kvv g^{-1} (10^6=lg 6) (Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005).

Mikrobioloģisko pētījumu rezultāti dažādos temperatūras režīmos un dažādos laika periodos parādīti 1. tabulā. Pētījumi liecina, ka medījumu gaļas piesārņotība sākas jau medību procesā un medījumu higiēna un nošauto dzīvnieku gaļas kvalitāte ir atkarīgas no mednieka prasmes, attieksmes un trāpījuma precizitātes. Liela nozīme ir arī dzīvnieka veselības stāvoklim pirms nošaušanas. Labas kvalitātes medījumu gaļu var iegūt tikai tad, ja stingri tiek ievērotas higiēnas prasības: noteikumi medījuma transportēšanai un liemeņa apstrādes procesam, kā arī minimālais laiks no medījuma apstrādes līdz liemeņa atdzesēšanai un tālākai pārstrādei (Atanassova, Apelt et al., 2007).

Kā atzīmē V. Atanassova, J. Apelt et al. (2007) un E. Wiklund, K. R. Drew, B. Ahman (2002), svarīgi ir kontrolēt, lai dzīvnieks, kas ievainots vēderā, tiktu nošauts ātrāk un nenotiktu muskulatūras piesārņošanās ar zarnu mikrofloru. Lai nodrošinātu gaļas kvalitāti, svarīgs ir arī gaļas nogatavināšanās process. Nepietiekamas medījumu gaļas nogatavināšanās rezultātā tai ir augsti metabolisma atliekvielu rādītāji. Apstākļi gaļas izturēšanas laikā var paātrināt metabolisma procesus liemeņa muskulatūrā.

Mūsu rezultāti sakrīt ar citu pētnieku (Заупе, Шрайтер, 1985; Lawrie, Ledward, 2006) secinājumiem, ka pārtikas higiēnas prasībām atbilstošu gaļas kvalitāti var nodrošināt, gaļu uzglabājot temperatūrā no 0 līdz -10 °C. Vairums baktēriju pārstāj augt un vairoties -10 °C temperatūrā, un līdz ar to tiek pārtraukti arī taukus un proteīnus šķeļošo fermentu veidošanās procesi.

Identificējot *Enterobacteriaceae* dzimtas baktērijas sugu līmenī, konstatējām, ka visbiežāk gaļu kontaminēja *Escherichia coli, Escherichia freundii, Hafnia alvei, Kluyvera cryocrescens, Pantoea agglomerans, Klebsiella pneumoniae* un *Enterobacter cloacaea.* Kā briežu gaļas sporādisks infekcijas avots literatūrā tiek minēta *E.coli O157:H7* (Carter, 1990b; Rabatsky-Ehr, Dingman et al., 2002). Ar šo celmu staltbrieži var kontaminēties ganībās, kuru piesārņojumu izraisījušas mikroorganisma nēsātājas – govis. Arī paši staltbrieži var būt šī mikroorganisma īslaicīgi nēsātāji (Mshar, 2002). Literatūrā minēti arī citi ierosinātāji, kas var piesārņot gaļu un var būt bīstami cilvēka veselībai. Dž.Hoults, N. Krīgs u.c. (Хоулт, Криг и др., 1997) norāda veselu virkni medījumu gaļas piesārņotāju – cilvēku veselībai bīstamu nosacīti patogēnu mikroorganismu:

- nosacīti patogēna gramnegatīva nūjiņveida baktērija – *Hafnia alvei –,* kura var būt bīstama cilvēkam, jo vairojas asinīs un urīnceļos vai brūcēs rada lokalizētas infekcijas;
- *Kluyvera* ģints baktērijas, kas sastopamas augsnē u.c. apkārtējā vidē, tāpēc viegli var nokļūt uz nomedīto dzīvnieku liemeņu virsmas vai gaļā;
- *Pantoea agglomerans*, kas ir sastopami augsnē, ūdenī un uz augiem;
- *Klebsiella* ģints baktērijas, kuras var ierosināt bakterēmiju, pneimoniju un urīnceļu infekcijas.

Pie *Enterobacteriaceae* dzimtas pieskaitāmas *Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Serratia, Klebsiella, Hafnia* u.c. ģinšu baktērijas, kuras ir fekālā piesārņojuma indikatororganismi. Arī enterobaktēriju skaits medījumu gaļā norāda uz tās ieguves un pirmapstrādes sanitāri higiēniskajiem apstākļiem (Latham, 1997).

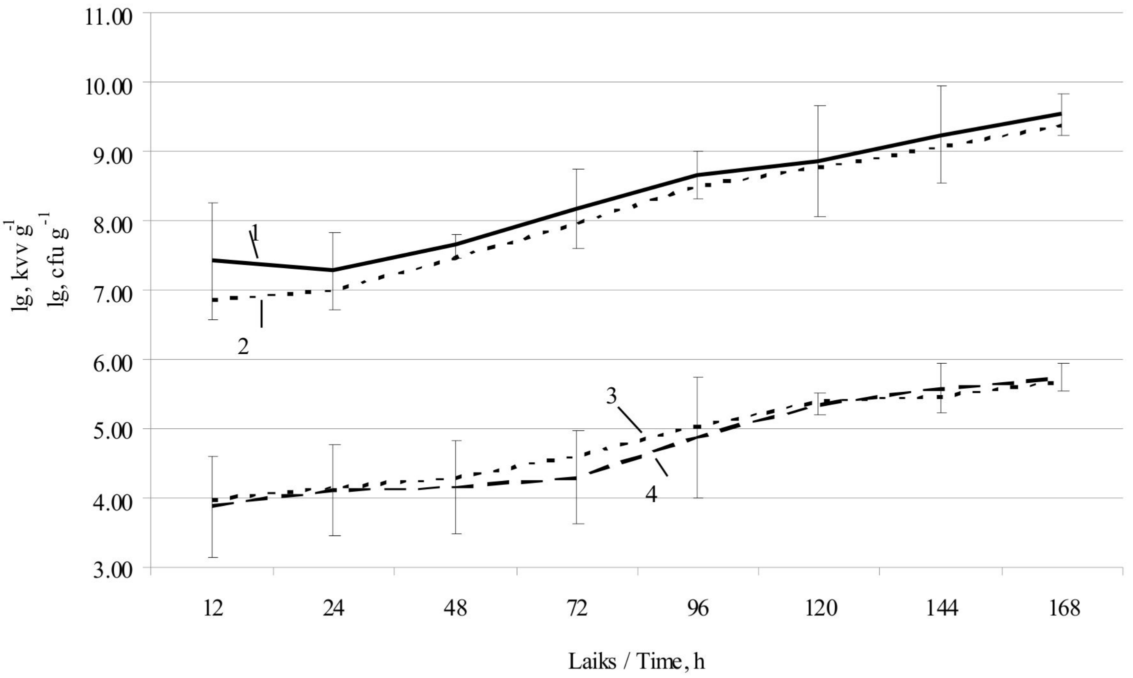
Minēto mikroorganismu sugu pārstāvjus izdalījām arī savos pētījumos – visbiežāk: *Hafnia alvei*, *Pantoea agglomerans, Kluyvera cryocrescens.* Mikroorganismu izplatīšanās gaļā ir atkarīga no mikrofloras dzimtas un gaļas uzglabāšanas temperatūras un ilguma. Anaerobie mikroorganismi vispirms sāk attīstīties kautķermeņa locītavu un kaulu tuvumā un lielajos asinsvados, intensīvi šķeļot olbaltumvielas un veidojot amīnus, putrecīnu, kadakerīnu, muskarīnu, neirīnu, indolu un skatolu. Nepietiekama gaisa cirkulācijas apstākļos gaļā sāk vairoties arī pelējumu sēnītes.

Apkārtējā gaisa temperatūras ietekmē mikroorganismi, kas mīt liemeņa dobumā un uz audu griezuma virsmām, turpina vairoties – jo augstāka temperatūra, jo straujāka vairošanās. Turpmākā mikroorganismu vairošanās gaļā notiek laikā, kad liemeņi pirms to sadalīšanas tiek turēti dzesēšanas temperatūrā. Kā parādīja mūsu pētījumi, liemeņu sākotnējo un turpmāko mikrobioloģisko stāvokli ietekmē paša medījuma piesārņojuma intensitāte un izteikti augstais piesārņojums logaritmos, tādēļ iegūtās gaļas mikrobioloģiskie rādītāji ir stipri atšķirīgi. Klīniski veselu nošautu medījamo dzīvnieku audi nebija mikrobiāli piesārņoti. Dziļo muskuļaudu piesārņojums ir iespējams gadījumos, kad nošaušanas laikā dzīvniekā tiek ievadīts liels daudzums mikroorganismu, kas nekavējoties pa visu tā ķermeni tiek iznēsāti ar asinīm (Gill, 2007).

No 1. tabulā un 2. attēlā dotās informācijas redzams, ka MAFAM kvv g^{-1} kopskaita lg stirnu gaļā, uzglabājot to 168 stundas +4 °C temperatūrā, palielinājās no 7.41 pirms uzglabāšanas uzsākšanas līdz 9.55, bet staltbriežu gaļā kvv g^{-1} kopskaita lg – atbilstoši no 6.84 līdz 9.40. Arī enterobaktēriju skaits gan stirnu, gan briežu gaļā palielinājās līdzvērtīgi.

Uzglabājot gaļu +8 °C temperatūrā 168 stundas, (1. tabula, 3. att.), MAFAM kopskaits stirnu gaļā palielinājās no 7.41 pirms uzglabāšanas uzsākšanas līdz 9.73 lg kvv g^{-1}, bet staltbriežu gaļā – atbilstoši no 6.84 līdz 9.94 lg kvv g^{-1}. Tā kā gaļas paraugi jau pirms uzglabāšanas +8 °C temperatūrā bija stipri kontaminēti, tad uzglabāšanas laikā MAFAM skaits abām grupām 1.5 reizes pārsniedza nekaitīguma kritērijus. Kā stirnu gaļā, tā arī staltbriežu gaļā palielinājās arī *Enterobacteriaceae* baktēriju skaits.

Salīdzinot stirnu un staltbriežu gaļas paraugu mikrobioloģisko analīžu rezultātus, visos temperatūras



2. att. MAFAM un enterobaktēriju augšanas līknes +4 °C temperatūrā uzglabātos savvaļas dzīvnieku gaļas paraugos: 1 – MAFAM stirnām; 2 – MAFAM staltbriežiem; 3 – *Enterobacteriaceae* stirnām; 4 – *Enterobacteriaceae* staltbriežiem.
Fig. 2. Growth curves of TCC and *Enterobacteriaceae* in game meat samples stored at the temperature of +4 °C: 1 – TCC in roe deer; 2 – TCC in red deer; 3 – *Enterobacteriaceae* in roe deer; 4 – *Enterobacteriaceae* in red deer.

režīmos netika konstatētas būtiskas atšķirības starp mikroorganismu kvv g^{-1} skaita lg izmaiņām ($p \geq 0.05$). Tātad mikroorganismu kopskaits gaļā nav atkarīgs no dzīvnieka sugas. Mikroorganismu augšanas dinamikā netika pierādītas būtiskas atšķirības ($p \geq 0.05$) starp uzglabāšanas režīmiem +4 °C un +8 °C temperatūrā (2.–3. att.).

Palielinoties gaļas uzglabāšanas ilgumam un temperatūrai paaugstinoties līdz +8 °C, attiecīgi palielinājās arī MAFAM un enterobaktēriju skaits. Uzglabājot gaļu +20 °C temperatūrā, jau 48 stundu laikā gan MAFAM, gan arī enterobaktēriju skaita lg sasniedza tādu mikrobiālā piesārņojuma līmeni, kāds bija +4 °C un +8 °C temperatūrā 168 stundas uzglabātai gaļai (1. tabula).

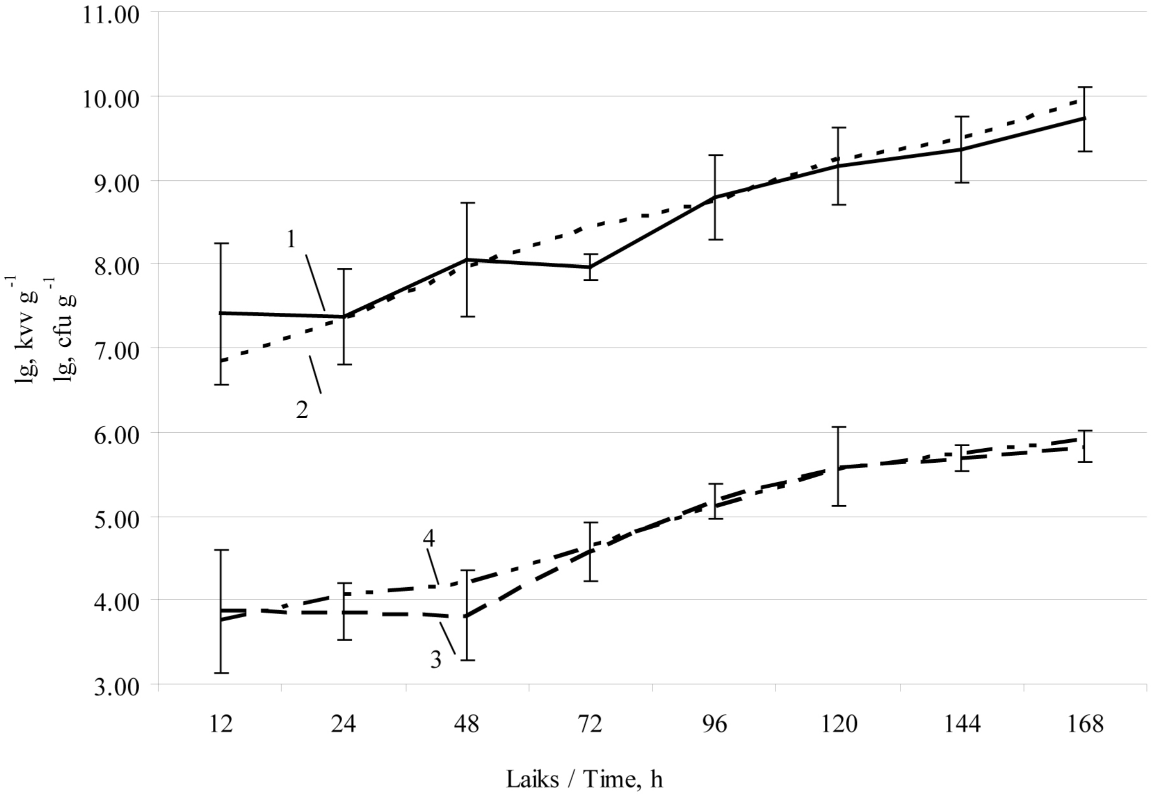
Mezofilo baktēriju un enterobaktēriju mikroorganismu vairošanās (augšanas ātrums, izteikts lg kvv g^{-1} h^{-1}) stirnu un nebrīvē audzētu briežu gaļā atkarībā no uzglabāšanas temperatūras atspoguļots 2. tabulā.

MAFAM augšanas ātrums (lg kvv g^{-1} h^{-1}) stirnu gaļā +4 °C temperatūrā palielinājās līdz 0.0127, bet +8 °C temperatūrā – līdz 0.0138; savukārt staltbriežu gaļā – attiecīgi līdz 0.0151 un 0.0185. MAFAM augšanas ātrums (lg kvv g^{-1} h^{-1}) +20 °C temperatūrā stirnu gaļā bija 0.0448, bet staltbriežu gaļā – 0.0534.

Enterobaktēriju augšanas ātrums (lg kvv g^{-1} h^{-1}) +4 °C, +8 °C un +20 °C temperatūrā stirnu gaļā palielinājās attiecīgi līdz 0.0111, 0.0116 un 0.0599, bet staltbriežu gaļā – attiecīgi līdz 0.0102, 0.0128 un 0.0507.

Var secināt, ka MAFAM augšanas dinamika stirnu gaļā ir lēnāka nekā staltbriežu gaļā, bet enterobaktēriju augšanas ātrums stirnu gaļā ir straujāks (izņemot +20 °C temperatūrā) nekā briežu gaļā. Mikroorganismu augšanas intensitāte dažādos paraugu uzglabāšanas laikos un temperatūrās ir atšķirīga.

Medījumu gaļas paraugu mikrobioloģiskie izmeklējumi rādīja, ka MAFAM daudzums tajos ir relatīvi liels un pēc 12 stundām stirnu gaļā kvv g^{-1} skaita lg sasniedza 7.41, bet staltbriežu gaļā – 6.84. Var secināt, ka MAFAM skaits +4 °C temperatūrā uzglabātā medījumu gaļā pārsniedz maksimāli pieļaujamās robežas jau pirmajās 12 stundās. Arī pārējos uzglabāšanas temperatūras režīmos bija pārsniegts maksimālais MAFAM daudzums. Pētījuma rezultāti liecina, ka mikroorganismu skaita



3. att. MAFAM un enterobaktēriju augšanas līknes +8 °C temperatūrā uzglabātos savvaļas dzīvnieku gaļas paraugos: 1 – MAFAM stirnām; 2 – *Enterobacteriaceae* stirnām; 3 – MAFAM staltbriežiem; 4 – *Enterobacteriaceae* staltbriežiem.
Fig. 3. Growth curves of TCC and *Enterobacteriaceae* in game meat samples stored at the temperature of +8 °C: 1 – TCC in roe deer; 2 – *Enterobacteriaceae* in roe deer; 3 – TCC in red deer; 4 – *Enterobacteriaceae* in red deer.

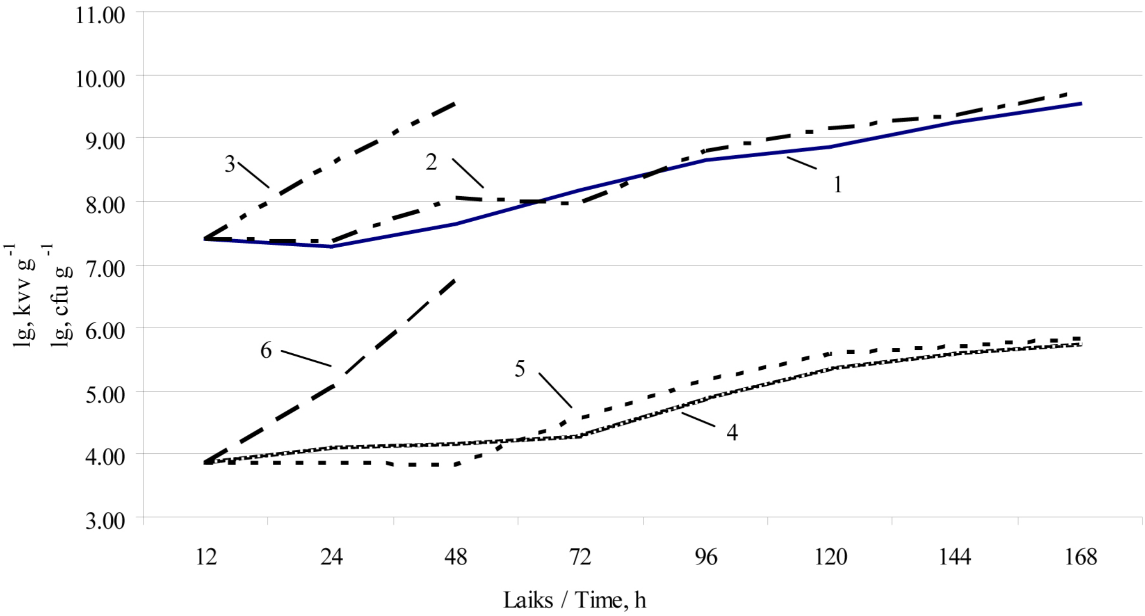
2. tabula / Table 2

MAFAM un enterobaktēriju augšanas dinamika (lg, kvv g^{-1}) savvaļas dzīvnieku gaļā atkarībā no gaļas uzglabāšanas temperatūras
Growth dynamics of total colony count and *Enterobacteriaceae* (lg, cfu g^{-1}) in game meat depending on meat storage temperature

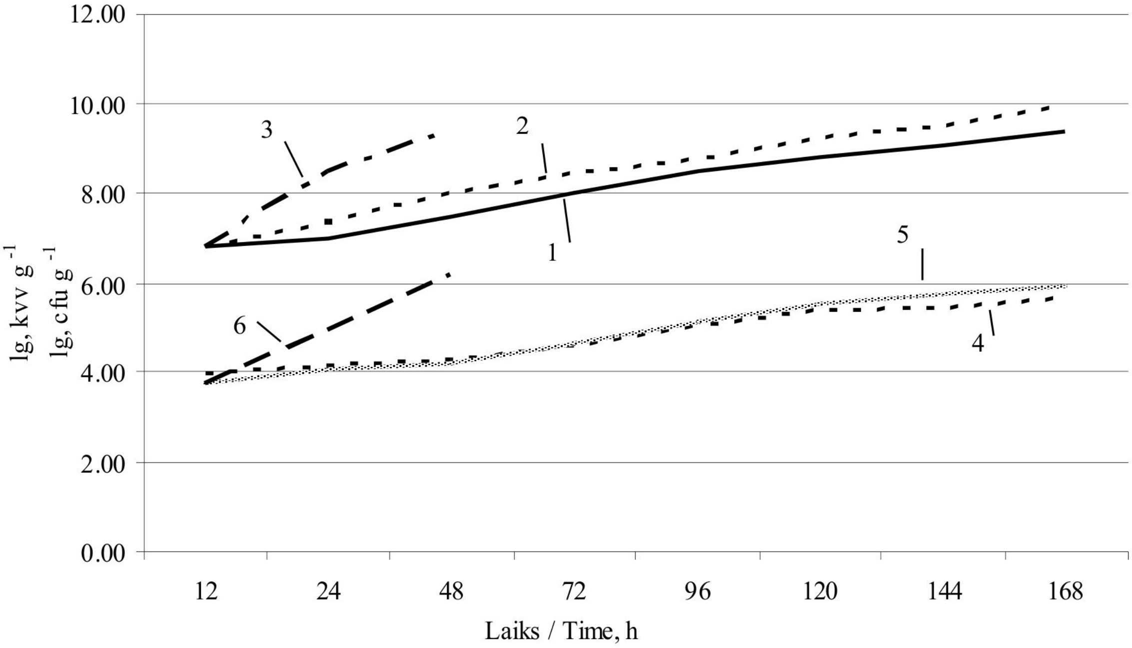
Uzglabāšanas temperatūra / Storage temperature	Stirnas / Roe deer		Staltbrieži / Red deer	
	MAFAM / TCC	*Enterobacteriaceae*	MAFAM / TCC	*Enterobacteriaceae*
+4 °C	0.0127	0.0111	0.0151	0.0102
+8 °C	0.0138	0.0116	0.0185	0.0128
+20 °C	0.0448	0.0599	0.0534	0.0507

palielināšanās medījumu gaļā veicina tās bojāšanās procesu. MAFAM kopskaits var tikt izmantots kā medījumu gaļas kopējā mikrobioloģiskā piesārņojuma un tās iegūšanas un pirmapstrādes procesa kvalitātes novērtēšanas rādītājs. Mūsu pētījums pierādīja, ka pat +4 °C uzglabāšanas temperatūra ne vienmēr var nodrošināt atbilstošu gaļas kvalitāti.

Palielinoties medījumu gaļas uzglabāšanas ilgumam, attiecīgi palielinās arī MAFAM skaits. Daži autori uzskata, ka vakuumā iesaiņotas briežu gaļas uzglabāšanas termiņš -1 ºC temperatūrā ir līdz



4. att. MAFAM un enterobaktēriju augšanas dinamika stirnu gaļas paraugos, kas uzglabāti dažādās temperatūrās: 1 – MAFAM +4 ºC; 2 – MAFAM +8 ºC; 3 – MAFAM +20 ºC; 4 – *Enterobacteriaceae* +4 °C; 5 – *Enterobacteriaceae* +8 ºC; 6 – *Enterobacteriaceae* +20 °C.
Fig. 4. Growth dynamics of TCC and *Enterobacteriaceae* in roe deer meat samples stored at different temperatures: 1 – TCC at +4 ºC; 2 – TCC at +8 ºC; 3 – TCC at +20 ºC; 4 – *Enterobacteriaceae* at +4 °C; 5 – *Enterobacteriaceae* at +8 ºC; 6 – *Enterobacteriaceae* at +20 °C.



5. att. MAFAM un enterobaktēriju augšanas dinamika staltbriežu gaļas paraugos, kas uzglabāti dažādās temperatūrās: 1 – MAFAM +4 ºC; 2 – MAFAM +8 ºC; 3 – MAFAM +20 ºC; 4 – *Enterobacteriaceae* +4 °C; 5 – *Enterobacteriaceae* +8 ºC; 6 – *Enterobacteriaceae* +20 °C.
Fig. 5. Growth dynamics of TCC and *Enterobacteriaceae* in red deer meat samples stored at different temperatures: 1 – TCC at +4 ºC; 2 – TCC at +8 ºC; 3 – TCC at +20 ºC; 4 – *Enterobacteriaceae* at +4 °C; 5 – *Enterobacteriaceae* at +8 ºC; 6 – *Enterobacteriaceae* at +20 °C.

18 nedēļām (Wiklund, Malmfors, 2004). Viens no svarīgākajiem baktēriju augšanas faktoriem ir vides pH. Mūsu pētījumā šis rādītājs stirnu gaļā izmainījās no 5.8 līdz 5.5, bet briežu gaļā – no 6.7 līdz 5.9, kas veicināja enterobaktēriju augšanu. Baktēriju augšanas ātrums +20 °C temperatūrā būtiski ($p<0.05$) atšķīrās un bija straujāks, salīdzinot ar baktēriju augšanas ātrumu +4 °C un +8 °C temperatūrā (4.–5. att.).

Izmeklējumu sākumā enterobaktērijas veidoja 52.3% no baktēriju kopējā skaita stirnu gaļā un 57.8% briežu gaļā, bet pēc 168 stundu uzglabāšanas gan +4 °C, gan +8 °C, gan arī +20°C temperatūrā to daudzums jau bija 60% no baktēriju kopējā skaita abu dzīvnieku gaļas paraugos. Tas neapstiprina literatūrā doto pieņēmumu, ka abu pētīto baktēriju grupu augšanas ātrumi atšķiras atkarībā no temperatūras vai vides (stirnu gaļa vai briežu gaļa).

Molekulārās bioloģijas metodes – polimerāzes ķēdes reakcijas (PCR) – pielietojums mikroorganismu identificēšanai savvaļas dzīvnieku gaļā un no gaļas izdalīto mikroorganismu sugas atbilstības noteikšanai

Lai pārbaudītu klasisko mikrobioloģijas metožu un PCR datu sakritību, pirmais tīrkultūras paraugs tika izvēlēts sekvenēšanas reakcijas veikšanai, kas arī ir bieži izmantojama metode bakteriālo infekciju konstatēšanā. Pētījumi atklāja, ka neviens no 8 izvēlētajiem *E.coli* celmu paraugiem nesaturēja ne verocitotoksīnus producējošos gēnus, ne intimīna gēnu eaeA, tādējādi pierādot, ka gaļu var droši izmantot pārtikā.

Veicot *E.coli* DNS sekvenēšanas reakciju un mūsu iegūtos rezultātus salīdzinot ar Internetā pieejamo mikroorganismu genomu datubāzi (Data basis of National Center for Biotechnology Information „Sequence Similarity Search"), varējām konstatēt, ka izolētās tīrkultūras atbilst *E.coli* 16Sr DNS rajonam, tādējādi apstiprinot veikto tradicionālo mikrobioloģisko metožu korektumu.

Pēdējo 25 gadu laikā pētījumi (Hoffman, Wiklund, 2006) par faktoriem, kas ietekmē medījamo dzīvnieku gaļu, ir būtiski paplašinājušies un padziļinājušies, tomēr arvien vēl trūkst ziņu par gaļas ražošanas vai apstrādes procesa (kaušanas tehnikas) un iegūtās gaļas kvalitātes savstarpējo mijiedarbību. Mūsu veiktie medījumu gaļas mikrobioloģiskie un molekulārbioloģiskie izmeklējumi pierādīja, ka medījumu gaļas kopējais mikrobioloģiskais piesārņojums ir tās iegūšanas procesa un pirmapstrādes labas pārtikas higiēnas prakses rādītājs. Medījumu gaļas uzglabāšana dažādos temperatūras režīmos un uzglabāšanas laikos var izraisīt nevēlamas izmaiņas gaļā, kas var ietekmēt pārtikas produktu drošumu, un tie var kļūt neizmantojami cilvēku uzturā. Literatūrā ir maz datu par medījamo dzīvnieku gaļas mikrobioloģiskajiem rādītājiem, un, lai gan netradicionālā lauksaimniecības nozare – briežkopība – mūsu valstī attīstās lēni, pētījumi jāturpina, sevišķi attiecībā uz nebrīvē audzētiem dzīvniekiem.

Secinājumi

1. Sākotnējais pH stirnu *(Capreolus capreolus)* un staltbriežu *(Cervus elaphus)* gaļā, kā arī pH izmaiņas pēc dzīvnieku nošaušanas būtiski atšķīrās starp pētītajām sugām. Stirnu gaļas sākotnējais pH 5.8 liecina par to, ka stirnas nošautas apstākļos bez stresa, bet augstais sākotnējais pH 6.7 staltbriežu gaļā liecina par dzīvnieku stresu pirms nošaušanas.
2. Palielinoties stirnu *(Capreolus capreolus)* un nebrīvē audzējamo staltbriežu *(Cervus elaphus)* svaigas gaļas uzglabāšanas ilgumam, attiecīgi palielinājās arī MAFAM un *Enterobacteriaceae* skaits visos uzglabāšanas temperatūras režīmos.
3. Uzglabāšanas periodā (168 stundas) abu sugu dzīvnieku gaļas MAFAM un enterobaktēriju skaita attiecība palika konstanta un enterobaktēriju skaits veidoja apmēram 60% no baktēriju kopējā skaita.
4. Uzglabājot savvaļas dzīvnieku un nebrīvē audzējamo staltbriežu *(Cervus elaphus)* gaļu +4 °C, +8 °C un +20 °C temperatūrā, tajā dominēja *Enterobacteriaceae* dzimtas mikroorganismi, kuru augšana minētajās temperatūrās netika kavēta.
5. Gaļas uzglabāšanas laikā MAFAM skaita palielināšanās stirnu gaļā bija lēnāka nekā staltbriežu gaļā, bet enterobaktēriju augšanas ātrums – straujāks nekā briežu gaļā, izņemot +20 °C uzglabāšanas temperatūru, kad enterobaktēriju augšanas ātrums stirnu gaļā bija straujāks nekā staltbriežu gaļā.
6. Veicot *E.coli* DNS sekvenēšanas reakciju un iegūtos rezultātus salīdzinot ar Internetā pieejamo mikroorganismu genomu datubāzi, tika pierādīts, ka izolētās tīrkultūras atbilst *E.coli* 16Sr DNS rajonam, kas parāda veikto mikrobioloģisko metožu korektumu.

Literatūra

1. Atanassova, V., Apelt, J., Reich, F., Klein, G. (2007) Microbiological quality of freshly shot game in Germany. *Meat Science*, 78, 414–419.
2. Carlos Sanudo, Campo, M.M., Olleta, J.L., Joy, M., Delfa, R. (2007) Methodologies to evaluate meat quality in small ruminants. *„Evaluation of carcass and meat quality in cattle and sheep". EAAP publication No. 123,* 81–98.
3. Carter, M.E. (1990a) Enterobacteria. *Diagnostic procedures in veterinary bacteriology and mycology*. Eds M.E. Carter, J.R. Cole. Academic Press, San Diego, 92–98.
4. Carter, M.E. (1990b) Enterobacteria. *Diagnostic procedures in veterinary bacteriology and mycology*. Eds M.E. Carter, J.R. Cole. Academic Press, San Diego, 3–11.
5. Data basis of National Center for Biotechnology Information (2010): http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
6. Donnison, A.M., Ross C.M. (2004) Thermotolerant campylobacter. *Encyclopedia of Meat Sciences,* Vol. 2. Eds W.K. Jensen, C. Devine, M. Dikeman. Amsterdam, Elsevier Academic Press, 798–804.
7. Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 853/2004 (2004. gada 29. aprīlis), ar ko nosaka īpašus higiēnas noteikumus attiecībā uz dzīvnieku izcelsmes pārtiku. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, 03/45. sēj., 14–74: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:03:45:32004R0853:LV:PDF – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
8. Gill, C.O. (2007) Microbiological conditions of meats from large game animals and birds. *Meat Science*, 77, 149–160.
9. Hoffman, L.C., Wiklund, E. (2006) Game and venison – meat for the modern consumer. *Meat science*, 74, 197–208.
10. Green, G.G., Nattress, F.M. (2004) Standart methods. *Encyclopedia of meat sciences*, Vol. 2. Eds K.W. Jensen, C. Devine, M. Dikeman. Amsterdam, Elsevier Academic Press, 745–754.
11. Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005 (2005. gada 15. novembris) par pārtikas produktu mikrobioloģiskajiem kritērijiem. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, L338/1–L338/26: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:338:0001:0026:LV:PDF – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
12. Kārkliņa, D., Blija, A., Skudra, L., Vaivode, I., Mančinska, Z. (2005) Riska cēloņu izpēte karsti kūpināto gaļas izstrādājumu tehnoloģiskajā procesā. *LLU Raksti,* 15 (310), 73–80.
13. Latham, M.C. (1997) *Human Nutrition in the Developing World. Food and Nutrition Series,* No. 29. Chapter 29. Meat, fish, eggs, milk and their products. FAO, Rome, 283–287.
14. Lawrie, R.A., Ledward, D.A. (2006) *Lawrie's Meat Science*. 7th ed. Cambridge, Woodhead Publishing, 442 p.
15. LVS ISO 2917:2004 „Gaļa un gaļas produkti. pH noteikšana (references metode)".
16. LVS ISO17604:2005 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija. Mikrobioloģiskai analīzei paredzētu paraugu ņemšana no liemeņa".
17. LVS EN ISO 6887-2:2004 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija – testēšanas paraugu, sākotnējās suspensijas un decimālšķīdumu sagatavošana mikrobioloģiskām pārbaudēm – 2. daļa: īpaši noteikumi kā sagatavot gaļu un gaļas izstrādājumus".
18. LVS EN ISO 4833:2003 „Pārtikas un dzīvnieku barības mikrobioloģija. Mikroorganismu skaitīšanas horizontālā metode. Koloniju skaitīšanas metode pie +30 °C".
19. LVS ISO 21528-2:2004 „Pārtikas un lopbarības mikrobioloģija – *Enterobacteriaceae* dzimtas baktēriju klātbūtnes un skaita noteikšana ar horizontālmetodēm – 2. daļa: metode ar koloniju skaitīšanu".
20. Mshar, P. (2002) Deer meat as the source for a sporadic case of EscherichiacoliO157:H7 infection, Connecticut (1). (Dispatches): http://www.thefreelibrary.com/Deer+meat+as+the+source+for+a+sporadic+case+of+Escherichia+coli...-a087104049 – Resurss aprakstīts 2010. gada 17. novembrī.
21. Olsen, J.E. (2000) DNA-based methods for detection of food-borne bacterial pathogens. *Food Research Internacional*, 33, 257–266.
22. Rabatsky-Ehr, T., Dingman, D., Marcus, R., Howard, R., Kinney, A., Mshar, P. (2002) Deer meat as the source for a sporadic case of *Escherichia coli* O157:H7 infection. *Emerging Infectious Diseases*, 8 (5), 525–527.

23. Reinken, G., Hartfiel, W., Korner, E. (1980) *Damtierhaltung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 174–187.
24. Sielaff, H. (1996) *Fleischtechnologie*. Hamburg, Behr's Verlag, 675 pp.
25. Sproģe, A. (2000) Gaļas pH ietekme uz ūdens piesaistīšanas spēju un tā ietekme uz gatavā gaļas produkta kvalitāti. *Starptautiskās zinātniskās konferences materiāli. Lopkopības produktu nekaitīgums, kvalitāte un kontroles metodes. Siguldā 2000. gada 15. septembrī*, 104–110.
26. *Diagnostic Procedures for Bacterial, Mycotic and Parasitic Infections.* (1981) Eds A. Balows, W.J. Hausler. 6th ed. American Public Health Association Inc., Washington, 468 pp.
27. Tutenel, A.V., Pierard, D., Van Hoof, J., Cornelis, M., De Zutter, L. (2003) Isolation and molecular characterization of *Escherichia coli* O157 isolated from cattle, pigs and chickens at slaughter. *International Journal of Food Microbiology*, 84, 63–69.
28. Wiklund, E., Drew, K.R., Ahman, B. (2002) Wild and tender deer meat. *Conference proceedings of the 5th International Deer Biology Congress*, 10–15.
29. Wiklund, E., Malmfors, G. (2004). The effects of pre-slaughter handling on reindeer meat guality – a review. *Animal Breeding Abstracts*, 72(I), IN–6N.
30. Мюнх, Г.-Д., Заупе, Х., Шрайтер, М. и др. (1985) *Микробиология продуктов животного происхождения*. Пер. с нем. Е. Г. Токаря, под ред. Н. С. Королевой и др. Москва, Агропромиздат, 590 с.
31. Хозяев, В.И. (2002) *Товароведение мяса боровой дичи дикиж животных и нетрадиционного мясного сырья.* Москва, Маркетинг, 236 с.
32. Хоулт, Дж., Криг, Н., Снит, П., Стэйли, Дж., Уиллямс, С. (под редакции) (1997) *Определитель бактерий Берджи*. Том 2. Москва, Мир, 800 с.

Kukurūzas novākšanas laika nozīme augstas kvalitātes skābbarības ražošanai
The Role of Maize Harvest Timing for High-quality Silage Production

Zinta Gaile
LLU Agrobiotehnoloģijas institūts
Institute of Agrobiotechnology, LLU
e-mail: Zinta.Gaile@llu.lv

Abstract. Harvest timing of maize *(Zea mays* L.) is critically important for production of optimum quality silage. The aim of our investigation, arranged in the Research and Study farm "Vecauce" of the Latvia University of Agriculture (2005 to 2008), was to analyze changes in maize yield and its quality during September, and to define more accurately the harvest timing of maize grown for silage production. Four maize hybrids with different maturity rating, as defined by FAO number (Earlystar (FAO 160), RM-20 (FAO 180), Tango (standard, FAO 210), and Cefran (FAO 340)), were harvested on four different dates beginning on September 1 at ten-day intervals. A strong harvest time effect on maize dry matter (DM) yield was observed ($p<0.05$) – it increased by ~1 t ha^{-1} during every ten-day period. However, in some years (2005), maize yield increase could be stopped by fall frosts. Maize quality parameters such as DM content, corn-cob yield proportion in the total whole plant DM yield, and net energy for lactation, increased, but other parameters such as neutral detergent fiber, acid detergent fiber, and crude protein content, decreased with the maturity of maize during September. Harvest of maize late after the fall frosts deteriorated the quality of maize. The research suggests that the main criterion for selecting a proper maize harvest timing should be the DM content of maize yield. Harvest timing of maize for silage in the central and western part of Latvia mainly should be delayed up to the third ten-day period of September thus improving both yield and its quality. At this time, in years with optimal growing conditions, DM content of even ≥280 g kg^{-1} can be obtained.
Key words: maize, harvest timing, yield, quality changes, hybrid.

Ievads

Kukurūza *(Zea mays* L.) ir dienvidu izcelsmes augs ar plašu pielietojumu visā pasaulē, t. sk. arī skābbarības gatavošanai. Latvijā kukurūza lopbarības ražošanai salīdzinoši lielā platībā tiek audzēta tikai kopš 1954. gada – atsevišķos gados (1955., 1962., 1963. g.) sējplatība ir pārsniegusi pat 100 tūkst. ha, bet no 1966. līdz 1991. gadam tā vidēji bija 49 tūkst. ha gadā. Sējplatības strauji samazinājās pagājušā gadsimta deviņdesmitajos gados, kad lauksaimnieciskajā ražošanā notika dažāda veida izmaiņas. Ar kukurūzu 2008. gadā Latvijā bija apsēti 5.9 tūkst ha, bet 2009. g. – jau 9.8 tūkst. ha (CSP dati). Pēdējos gados līdz ar sējplatības pakāpenisku palielināšanos pieaugusi arī interese par dažādiem ar kukurūzas audzēšanu saistītiem jautājumiem.

Augstas kukurūzas ražas ieguve, kā arī augsti piena izslaukumi, izēdinot atgremotājiem skābbarību, ir atkarīgi no tā, vai kukurūza tiek novākta pareizajā fāzē. Ja kukurūza nepietiekami nobriedusi, kokšķiedras koncentrācija parasti ir augsta, kas savukārt ir iemesls zemai barības enerģētiskai vērtībai. Kukurūzas enerģētiskā vērtība ir zema arī tad, ja to vāc pārāk gatavu, kad stiebru frakcijas sagremojamība jau ir ļoti zema un pastāv risks, ka cietie, pilnīgi nogatavojušies graudi neizmantoti izies cauri dzīvnieka gremošanas traktam (Bal, Coors, Shaver, 1997). Neskatoties uz to, ka pasaulē kukurūza ir viens no visvairāk pētītajiem kultūraugiem, arī pēdējā desmitgadē dažādu valstu pētnieki pievērsuši ļoti lielu vērību kukurūzas novākšanas laika ietekmei uz iegūstamo ražu un tās kvalitāti, jo novāktās kukurūzas kvalitāte vienmēr ir saistīta ar sagatavojamās skābbarības kvalitāti, kura savukārt ietekmē piena ieguves apjomu (Bal, Coors, Shaver, 1997; Darby, Lauer, 2002; Lauer, 2003; Ettle, Schwarz, 2003; Kowalik, Michalski, 2003; Lewis, Coc, Cherney, 2004; Mahanna, 2005).

Vairums ASV veikto pētījumu rezultātu liecina, ka augstāko ražu ar labāko kvalitāti iegūst, kad sausnas saturs zaļajā masā sasniedz 30–35% (300–350 g kg^{-1})

(Bal, Coors, Shaver, 1997; Darby, Lauer, 2002; Lauer, 2003). A. L. Levis un kolēģi (Lewis, Coc, Cherney, 2004) atzīmē, ka piena ieguve nemainās atkarībā no tā, vai tiek izbarota kukurūza, kuras sausnas saturs ir 280 g kg^{-1}, vai arī kukurūza, kuras sausnas saturs sasniedz 420 g kg^{-1}. Tas norāda, ka labu lopbarību var iegūt salīdzinoši plašā kukurūzas gatavības diapazonā. Taču gan ražas apjomu, gan kvalitatīvos rādītājus, tādus kā skābi skalotās kokšķiedras (NDF) un kopproteīna (CP) saturs, *in vitro* sagremojamība un ražas indekss (HI), būtiski ietekmēja novākšanas termiņš.

Novērota hibrīda×novākšanas laika mijiedarbības ietekme uz ražu un kvalitatīvajiem rādītājiem. Taču literatūrā atzīmēts, ka dažādu kukurūzas hibrīdu kvalitātes izmaiņās atkarībā no novākšanas laika saskatāmas līdzīgas tendences (Darby, Lauer, 2002).

Arī Latvijā jau agrāk veikti plaši pētījumi par vēlamo kukurūzas novākšanas laiku. Piemēram, piecdesmitajos, sešdesmitajos gados pētījumi veikti izmēģinājumu stacijā „Pēterlauki" (1958.–1960. g. – O. Upītis), Zemkopības Zinātniskajā institūtā Skrīveros (1961.–1967. g. – G. Grīnblats) (Гринблат, 1970) un Latvijas Lauksaimniecības akadēmijas mācību un pētījumu saimniecībā (LLA MPS) „Vecauce" (1954.–1959. g. – J. Lucāns) (Lucāns, 1960). Jau šo pētījumu rezultātā secināts, ka kukurūzu nedrīkst novākt pārāk agri un kā vēlamais vākšanas laiks norādīta piena-dzeltengatavība, kuru Latvijas apstākļos varētu sasniegt tikai septembrī. Ieteikts kukurūzu novākt septembra 2. dekādē vai tūlīt pēc pirmajām salām. Tolaik pieejamās šķirnes un hibrīdi, kurus novāca pēc 20. septembra, nodrošināja 17–20% lielu sausnas saturu zaļmasā. Skrīveros atzīmēti izņēmumi, kad siltākos gados, izmantojot ļoti agrīnas šķirnes, piemēram, 'Voroņežas 80' un vietējās selekcijas šķirni 'Skrīveru agrā', sausnas saturs sasniedzis 28–35% (Гринблат, 1970). Tā kā jau agrāk aprakstītajos pētījumos uzsvērta arī pareizas šķirnes izvēles nozīme, tad vēlākos gados, kad jau bija pieejami hibrīdi no dažādām Eiropas valstīm un ASV, pētījumi par optimālo novākšanas laiku turpinājās. Deviņdesmitajos gados I. Slokenberga (1996), pētot divus novākšanas laikus Zemkopības zinātniskajā pētniecības institūtā „Agra" (18.–21. septembrī un pēc salnām – no 25. septembra līdz 11. oktobrim atkarībā no meteoroloģiskajiem apstākļiem attiecīgajā gadā), secināja, ka sausnas saturu zaļmasā var palielināt, pieļaujot kukurūzas apsalšanu salnu laikā. Deviņdesmitajos gados pētnieki jau izvirzīja mērķi sasniegt vismaz 250 g kg^{-1} (25%) lielu sausnas saturu ražas novākšanas laikā.

LLU MPS „Vecauce" pētījumi (2000.–2003. g.) par novākšanas laika ietekmi uz iegūstamās ražas kvalitāti jau plašākā nozīmē, vērtējot ne tikai sausnas saturu novākšanas laikā, bet arī tādus rādītājus kā kokšķiedras frakcijas NDF (neitrāli skalotā kokšķiedra) un ADF (skābi skalotā kokšķiedra), CP (kopproteīns) un NEL (neto enerģija laktācijai), liecina, ka tikai atsevišķos gados (piemēram, 2002. gadā) bijis iespējams uzsākt kukurūzas novākšanu pirms 10. septembra un iegūt ražu ar vēlamo sausnas saturu (≥250 g kg^{-1}), zemu NDF un ADF saturu, bet augstu enerģētisko vērtību (Gaile, 2004).

H. M. Darbijs un J. G. Lauers (Darby, Lauer, 2002) uzskata, ka pat ASV, kur veikts neskaitāmi daudz pētījumu par dažādiem kukurūzas ražošanas aspektiem, sezonālas kvalitatīvas izmaiņas visa auga kukurūzas masā nav pietiekami aprakstītas. Savukārt vācu pētnieki (Herrmann, Kornher, Taube, 2005), kuri arī atzīst, ka optimāla novākšanas laika izvēlei ir kritiska nozīme, lai izmantotu kukurūzas ražas un lopbarības kvalitātes potenciālu, kā arī lai samazinātu zudumus skābbarības uzglabāšanas un izēdināšanas fāzēs, ir izstrādājuši speciālu datormodeli, kas palīdz noteikt optimālo kukurūzas novākšanas laiku, kā arī novērtēt klimatiskā riska apjomu kukurūzas audzēšanai marginālajos Ziemeļvācijas apstākļos.

Latvijā pašreizējos apstākļos ir pieejami aukstumizturīgi un agrīni, bet tajā pašā laikā ražīgi, hibrīdi, kas selekcionēti dažādās pasaules valstīs, kā arī novērojamas ar globālo klimata izmaiņu saistītas meteoroloģisko apstākļu novirzes. Tomēr dokumentētas informācijas par kukurūzas ražas un kvalitātes izmaiņām atkarībā no novākšanas laika šādos apstākļos ir pārāk maz. Tāpēc laikā no 2005. gada līdz 2008. gadam LLU MPS „Vecauce" tika veikts Latvijas Zinātnes padomes finansēts pētījums. Viens no tā mērķiem, kura izpildes rezultāti aprakstīti šajā rakstā, bija skaidrot kukurūzas ražas un kvalitātes izmaiņas atkarībā no novākšanas laika septembrī. Pētījuma pirmo divu gadu (2005.–2006. g.) rezultāti publicēti jau agrāk (2007. gadā) – žurnālā „Agronomijas Vēstis" (Gaile, 2007), bet par pirmo trīs gadu rezultātiem (2005.–2007. g.) īss kopsavilkums publicēts starptautiska kongresa materiālos *„21st International Grassland Congress, 8th International Rangeland Congress"* (Gaile, 2008a). Šis raksts papildina abas iepriekšējās publikācijas ar jauniem rezultātiem (klāt nācis 4. pētījumu gads) un plašāku analīzi, kas agrāk vēl nebija iespējama.

Izvirzīta hipotēze, ka, novilcinot kukurūzas novākšanas laiku vismaz līdz septembra trešajai dekādei un izvēloties atbilstoša agrīnuma hibrīdu, katru gadu Latvijas apstākļos iespējams iegūt ražu ar sausnas saturu zaļmasā ≥250 g kg^{-1}, vienlaicīgi uzlabojot arī citus būtiskus kvalitātes rādītājus.

Materiāli un metodes

Izmēģinājuma vieta un pētāmie faktori. Trīs faktoru lauka izmēģinājumi tika iekārtoti LLU MPS „Vecauce" izmēģinājumu lauka „Pils dārzs" (N 56° 28′, E 22° 53′) dažādās vietās laikā no 2005. gada līdz 2008. gadam. Visos gados izmēģinājumu iekārtoja velēnglejotā mālsmilts augsnē. Augsnes pH KCl – 7.0–7.1; augiem viegli izmantojamā fosfora saturs – augsts (vidēji 528 mg P_2O_5 kg^{-1}); kālija saturs – augsts (vidēji 233 mg K_2O kg^{-1}); organisko vielu saturs – 21–25 g kg^{-1}. Laukam raksturīgs neliels slīpums (~5%) dienvidu virzienā. Kopumā kukurūza sēta ļoti piemērotos audzēšanas apstākļos. Lauciņi tika sakārtoti randomizētos blokos, ko izvietoja 4 atkārtojumos. Lauciņa lielums – 16.8 m^2; rindstarpu platums – 0.7 m. Visos pētījuma gados lietoja oriģinālsēklu un izsējas biezība bija 82 000 sēklu uz 1 ha.

Pētījumā izmantoja četrus atšķirīga agrīnuma hibrīdus (faktors A; agrīnums raksturots ar FAO skaitli, kura zemākai vērtībai atbilst agrīnāks hibrīds): 'Earlystar' (FAO 160), 'RM-20' (FAO 180), 'Tango' (standarts, FAO 210) un 'Cefran' (FAO 340). Katru gadu kukurūzu sēja četros dažādos laikos (faktors B; sējas laika ietekme uz iegūto ražu un kvalitāti šajā rakstā nav analizēta) – no 25. aprīļa līdz 25. maijam ar 10 dienu intervālu. Šajā rakstā analizēti vidējie visu četru sējas laiku rezultāti katram hibrīdam atkarībā no novākšanas laika, kā arī atsevišķi 5. maijā (atzīts par piemērotāko sējas laiku) – sētās kukurūzas raža un kvalitāte atkarībā no novākšanas laika. Katru gadu kukurūzu arī novāca četros dažādos laikos (faktors C) – sākot ar 1. septembri, ik pa desmit dienām līdz 30. septembrim (01.09., 10.09., 20.09. un 30.09.).

Izmantotā agrotehnika un novērojumi. Katru gadu veica tradicionālu augsnes apstrādi, kas ietvēra rudens arumu, augsnes šļūkšanu un kultivēšanu aprīlī un safrēzēšanu ar Amazones vertikālo frēzi tieši pirms sējas. Pamēslojumam pirms sējas lietoja 18 kg N ha^{-1}, 78 kg P_2O_5 ha^{-1} un 90 kg K_2O ha^{-1}. Papildmēslojumā lietoja 70 kg N ha^{-1} pēc nezāļu ierobežošanas pasākumu iedarbošanās un 60 kg N ha^{-1}, kad kukurūza sasniedza ~0.6 m augstumu. Kukurūzu sēja 3–4 cm dziļi ar speciālu stādītāju izmēģinājumiem. Nezāles ierobežoja ar herbicīdiem (2005. un 2006. gadā – nikosulfurons, 40 g L^{-1}, 1.0 L ha^{-1} + dikamba, 480 g L^{-1}, 0.3 L ha^{-1}; 2007. un 2008. gadā – tritosulfurons, 250 g kg^{-1}, + dikamba, 500 g kg^{-1}, 200 g ha^{-1} + rimsulfurons, 250 g kg^{-1}, 30 g ha^{-1}, un pēc 10 dienām klopiralīds, 300 g L^{-1}, 0.4 L ha^{-1}) kukurūzas 3–6 lapu fāzē, kā arī vēlāk, mehāniski izravējot tās, kas nebija iznīkušas herbicīdu ietekmē. Ražu trīs uzskaites reizēs (1., 10. un 30. septembrī) noteica no 0.7 m^2, bet galvenajā novākšanas reizē (20. septembrī) – no 8.4 m^2. Augus nocirta 15 cm no augsnes virsmas, nosvēra un ņēma paraugus turpmākām analīzēm.

Sezonas laikā novēroja augu attīstību un meteoroloģiskos apstākļus. Uzskaitīja laukdīdzību, atzīmēja ziedēšanas fāzes iestāšanos un augu biezību ražas novākšanas laikā, mērīja auga garumu. Šie rezultāti rakstā nav analizēti, jo tie saistāmi vairāk ar sējas kā novākšanas termiņa ietekmi uz to vērtībām. Noteica zaļās masas un sausnas ražu no 1 ha, vālīšu (graudi+vālīšu serde) sausnas ražu no 1 ha un šīs ražas īpatsvaru kopējā visa auga sausnas ražā. Sausnas saturu, g kg^{-1} (ISO 6496:1999), analizēja katrā vākšanas reizē atsevišķi vālītēm, lapu–stiebru frakcijai un kopā visa auga ražai. Pārējos turpmāk uzskaitītos kvalitatīvos rādītājus analizēja ar standartmetodēm atsevišķi pa frakcijām tikai 20. septembra vākšanas reizē, bet citos novākšanas termiņos – visa auga ražai:

- kopproteīnas saturs (CP), g kg^{-1} sausnas, nosakot kopslāpekli pēc Kjeldāla metodes un izmantojot koeficientu 6.25 (LVS EN ISO 5983-2:2003);
- neitrāli skalotā kokšķiedra (NDF), g kg^{-1} sausnas (Forage analyses met 2.2.1.1.);
- skābi skalotā kokšķiedra (ADF), g kg^{-1} sausnas (Forage analyses met 4.1.).

Dažus rādītājus papildus aprēķināja pēc NDF un ADF vērtībām, bet tuvāk analizēja NEL:

- sausnas sagremojamība – DDM g kg^{-1} sausnas=88.9-(0.779×ADF); (1)
- neto enerģija laktācijai NEL MJ kg^{-1} sausnas=(0.00245×DDM-0.12)×4.184. (2)

Kaut gan meteoroloģiskie apstākļi četros izmēģinājuma gados bija ļoti atšķirīgi (1. tabula), nevienu no tiem nevar vērtēt kā kukurūzas audzēšanai absolūti nelabvēlīgu gadu. Latvijas apstākļos kukurūzas audzēšanu ierobežojošs faktors parasti ir siltums, taču pētījumu periodā siltuma apstākļi visos gados bija apmierinoši. Par to liecina gan vidējās mēnešu gaisa temperatūras, gan arī aktīvo temperatūru summa (≥10 °C) periodā no 1. maija līdz 30. septembrim, kas attiecīgi pa gadiem bija 2069 °C, 2299 °C, 2136 °C un 1944 °C. Četru gadu laikā vislabākais siltuma nodrošinājums bija

1. tabula / Table 1

Vidējā gaisa diennakts temperatūra un nokrišņu summa pa mēnešiem 2005.–2008. gadā un salīdzinājumā ar ilggadīgiem vidējiem novērojumiem (norma)*
The temperature and precipitation compared with the meteorological norm during 2005–2008*

Mēnesis / Month	Temperatūra / Temperature, °C					Nokrišņi / Precipitation, mm				
	2005	2006	2007	2008	Norma / Norm	2005	2006	2007	2008	Norma / Norm
Maijs / May	11.2	11.6	12.3	11.3	11.2	43	28	52	24	43
Jūnijs / June	14.3	16.2	16.6	14.6	15.1	49	24	49	44	51
Jūlijs / July	18.3	20.1	16.3	17.1	16.6	65	13	102	57	75
Augusts / August	16.1	17.5	17.9	16.4	16.0	106	150	60	90	75
Septembris / September	13.3	13.9	11.9	10.6	11.5	36	46	76	15	59
Vidēji / On average	14.7	15.9	15.0	14.0	×	Σ298	Σ261	Σ339	Σ230	Σ303

* temperatūra un nokrišņi vērtēti tieši izmēģinājumu laukā, izmantojot automātisko meteoroloģisko staciju, bet ilggadīgie vidējie novērojumi ņemti no Dobeles HMS. / data of temperature and precipitation were registered directly on the research field by an automatic meteorological station, but long-term average data were taken from Dobele HMS.

2006. gadā, kaut gan veģetācijas perioda pirmajā pusē (ieskaitot ziedēšanu) līdz augusta pirmajām dienām atzīmēja kritisku mitruma trūkumu un tādējādi ražas veidošanai tik labvēlīgos siltuma apstākļus kukurūza pilnībā nevarēja izmantot. Turklāt šajā visumā tik siltajā sezonā pavasara salnas atzīmēja 1. jūnijā, kas radīja redzamu stresu augiem. Tā rezultātā tika aizkavēta nezāļu ierobežošana ar herbicīdiem. Vēlāk varēja veikt papildu pasākumus mehāniskai nezāļu ierobežošanai, bet rušināšanas ietekmē augsnes virskārta pastiprināti izžuva. Kopumā vislabākos apstākļus novēroja 2007. gadā, kad pats sezonas sākums siltuma ziņā bija ļoti labvēlīgs, bet nokrišņu sadalījums sezonas laikā – salīdzinoši vienmērīgs. Pētījumu periodā tikai 2005. gada izmēģinājumu skāra rudens salnas (17. un 18. septembrī) un kukurūzas nosala jau pirms 20. septembra.

Rezultātu matemātiskai izvērtēšanai izmantoja dispersijas, korelācijas un regresijas analīžu metodes.

Rezultāti

Visos četros izmēģinājuma gados ieguva Latvijas apstākļiem augstu, bet pa gadiem atšķirīgu kukurūzas sausnas ražu. Visaugstākā tā bija 2007. gadā (vidēji izmēģinājumā 14.72 t ha^{-1}), bet zemākā – 2006. gadā (12.11 t ha^{-1}). Gada agrometeoroloģiskajiem apstākļiem kā faktoram bija būtiska ietekme uz iegūtās ražas apjomu (p<0.05, η=18%). Kaut arī pētījumā izmantoja četrus atšķirīga agrīnuma un dažādās Eiropas valstīs selekcionētus hibrīdus, tomēr hibrīda ietekme uz vidējo kukurūzas ražu nebija būtiska 95% ticamības līmenī (2. tabula). Izmēģinājuma rezultāti pierādīja būtisku novākšanas laika ietekmi uz iegūto sausnas ražu (p<0.05, η=39%), kas vidēji katrās nākamajās 10 septembra dienās (sākot no 1. septembra) palielinājās par vairāk nekā 1 t ha^{-1} (2. tabula). Trijos no četriem izmēģinājuma gadiem (2006.–2008. g.) sausnas raža būtiski un lielā apjomā (+1.47, +1.54 un +1.84 t ha^{-1} attiecīgi pa gadiem) palielinājās tieši septembra pēdējā dekādē (21.–30. septembrī).

Pētījumā noskaidrojās, ka augstas ražas ieguvei labākais sējas termiņš ir maija pirmā dekāde jeb konkrēti šajā izmēģinājumā – 5. maijs (Gaile, 2008b). Tāpēc īsi atspoguļoti tieši šī sējas termiņa ražas dati atkarībā no novākšanas laika (faktora ietekmes īpatsvars η=20%, p<0.05) un ražas ieguves gada (faktora ietekmes īpatsvars η=28%, p<0.05) (3. tabula): kukurūzas ražu 95% būtiskuma līmenī ietekmēja nevis hibrīda izvēle, bet gan novākšanas laika un izmēģinājuma gada apstākļu mijiedarbība (p<0.05; η=11%). Vidēji četros izmēģinājuma gados lielāko ražu ieguva pēdējā novākšanas termiņā (30. septembrī – 15.86 t ha^{-1}), bet atsevišķos gados, kā 2005. un 2006.,

2. tabula / Table 2

Vidējā visu sējas termiņu kukurūzas sausnas raža dažādiem hibrīdiem atkarībā no novākšanas laika 2005.–2008. gadā, t ha^{-1}
Average maize DM yield of four hybrids harvested on four different dates in 2005–2008, t ha^{-1}

Novākšanas laiks / Harvest date	Hibrīds / Hybrid				
	Earlystar FAO-160	RM-20 FAO-180	Tango FAO-210	Cefran FAO-340	Vidēji novākšanas laikā / On average per harvest date, $RS_{0.05}$ / $LSD_{0.05}$=0.58
1. septembris / September 1	11.63	11.45	11.49	11.54	**11.53**
10. septembris / September 10	13.53	12.88	13.31	13.31	**13.26**
20. septembris / September 20	14.70	13.95	14.24	14.30	**14.30**
30. septembris / September 30	15.15	15.36	15.55	15.71	**15.44**
Vidēji hibrīdam / On average for hybrid, $RS_{0.05}$ / $LSD_{0.05}$=0.58	**13.75**	**13.41**	**13.65**	**13.72**	×
$RS_{0.05 hibrīds×novākšanas\ laiks}$ / $LSD_{0.05 hybrid×harvest\ date}$=1.17					

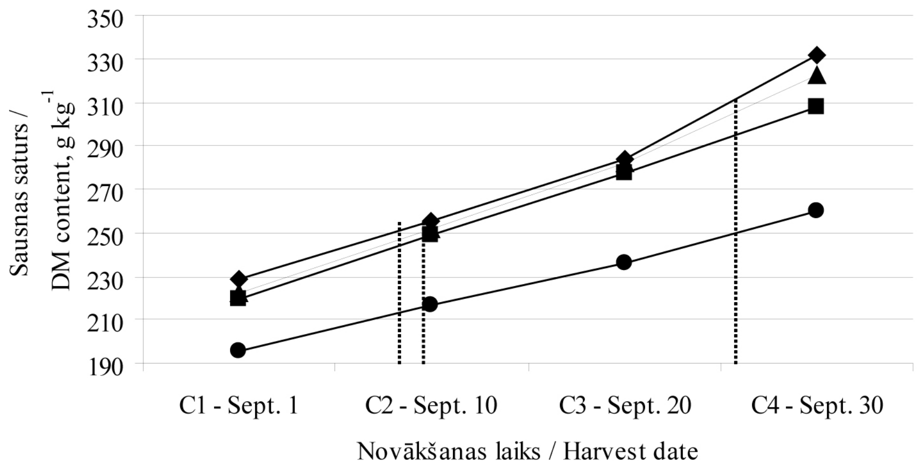
3. tabula / Table 3

Vidējā četru 5. maijā sēto kukurūzas hibrīdu sausnas raža atkarībā no novākšanas laika 2005.–2008. gadā, t ha^{-1}
Average maize DM yield of four hybrids sown on 5 May and harvested on four different dates in 2005–2008, t ha^{-1}

Novākšanas laiks / Harvest dates	Ražas gads / Harvest year				
	2005	2006	2007	2008	Vidēji novākšanas laikā / On average per harvest date, $RS_{0.05}$ / $LSD_{0.05}$ = 0.64
1. septembris / September 1	13.20	11.58	14.11	10.94	**12.46**
10. septembris / September 10	14.70	11.18	16.84	12.95	**13.92**
20. septembris / September 20	16.80	14.03	16.54	13.09	**15.11**
30. septembris / September 30	16.27	14.57	17.87	14.74	**15.86**
Vidēji gadā / On average per year, $RS_{0.05}$ / $LSD_{0.05}$=0.64	**15.24**	**12.84**	**16.34**	**12.93**	×
$RS_{0.05\ ražas\ gads×novākšanas\ laiks}$ / $LSD_{0.05\ harvest\ year×harvest\ date}$=1.28					

pēc 20. septembra būtisku ražas pieaugumu vairs nenovēroja.

Kukurūzas sausnas saturs zaļmasā bija atkarīgs no visiem pētītajiem faktoriem, taču vidēji četros gados vislielākā ietekme uz šo rādītāju bija novākšanas laikam (η=51%, p<0.05). Kopumā sausnas saturs zaļmasā laikā no pirmā novākšanas termiņa (1. septembra) līdz pēdējam (30. septembrim)



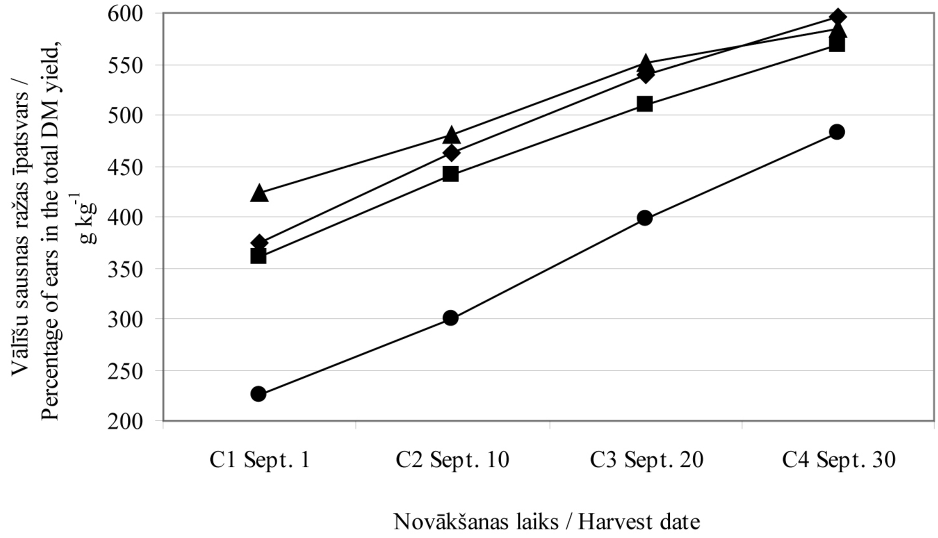
♦ – EarlyStar, ■ – RM20, ▲– Tango, ● – Cefran

1. att. Sausnas uzkrāšanās dinamika kukurūzas zaļmasā atkarībā no hibrīda septembrī, vidēji 2005.–2008. gadā.
Fig. 1. Dynamics of DM accumulation during September depending on the used hybrid, on average per 2005–2008.

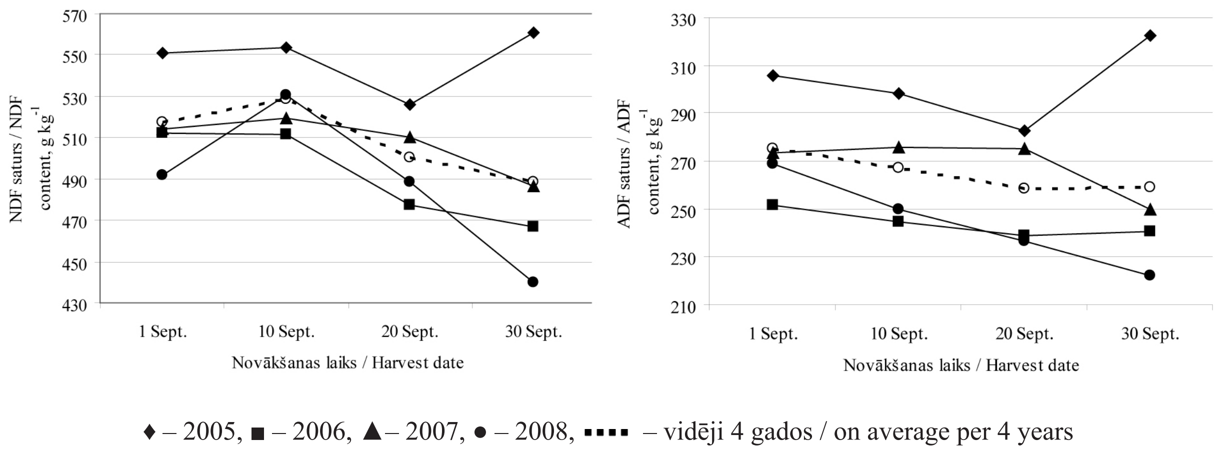
palielinājās par 89 g kg^{-1}. Arī hibrīda izvēle (η=16%, p<0.05) (1. att.) un pētījuma gada agrometeoroloģiskie apstākļi (η=14%, p<0.05) būtiski ietekmēja sausnas saturu kukurūzas novākšanas laikā. Kukurūza nobrieda labāk, t.i., sasniedza augstāku sausnas saturu jau agrīnākos novākšanas termiņos, gados ar labākiem siltuma apstākļiem, kādi bija 2006. un 2007. gads. Vēlamo minimālo sausnas saturu zaļmasā (250 g kg^{-1}) visagrīnākais hibrīds ‘Earlystar’ vidēji 4 gadu periodā un vidēji pa visiem sējas termiņiem sasniedza jau pirms 10. septembra, mazliet vēlīnākie hibrīdi (‘RM-20’ un ‘Tango’) – ap 10. septembri, bet speciāli izvēlētais ļoti vēlīnais hibrīds (‘Cefran’, FAO 340) – tikai pēc 20. septembra. Šajā laikā vidējais trīs agrīnāko hibrīdu sausnas saturs atzīmēts jau lielāks par 290 g kg^{-1} (1. att.). Ja kukurūzu sēja 5. maijā, tad trijiem agrīnākajiem hibrīdiem visos gados laikā no 10. septembra līdz 20. septembrim sausnas saturs stabili pārsniedza 250 g kg^{-1}. Vēlīnais hibrīds ‘Cefran’ šādu sausnas saturu 20. septembrī sasniedza tikai 2006. un 2007. gadā, 2005. gadā tas tik tālu nenogatavojās vispār (sausnas saturs 30. septembrī – 222 g kg^{-1}), bet 2008. gadā ‘Cefran’ sausnas saturs tikai 30. septembrī mazliet pārsniedza šo kritisko robežu (263 g kg^{-1}).

Lielāko kukurūzas enerģētisko vērtību ietver graudi. Tā kā mūsu pētījumā tika vērtēta visa kukurūzas auga masas kvalitāte, tad graudus atsevišķi neatdalīja, bet noteica vālīšu (graudi+serdes) sausnas ražas proporciju kopējā visa auga masā. Līdzīgi iepriekš aprakstītajiem rādītājiem, arī vālīšu sausnas ražas īpatsvaru kopējā sausnas ražā būtiski ietekmēja novākšanas laika novilcināšana septembrī (η=38%, p<0.05) (2. att.), un vidēji četros gados no 1. septembra (vidēji visiem hibrīdiem – 346 g kg^{-1}) līdz 30. septembrim (vidēji visiem hibrīdiem – 558 g kg^{-1}) vālīšu īpatsvars palielinājās par 212 g kg^{-1}. Arī ražas gada agrometeoroloģiskie apstākļi (η=18%, p<0.05) un hibrīda izvēle (η=23%, p<0.05) būtiski ietekmēja šo rādītāju. Vidēji pa izmēģinājumu gadiem par 500 g kg^{-1} lielāku vālīšu sausnas ražas īpatsvaru konstatēja 2006. un 2007. gadā (attiecīgi 541 g kg^{-1} un 521 g kg^{-1}). Vidēji visos sējas un novākšanas laikos tikai hibrīds ‘Tango’ nodrošināja par 500 g kg^{-1} lielāku vālīšu sausnas ražas īpatsvaru, bet vēlīnajam hibrīdam ‘Cefran’ tas bija 351 g kg^{-1}.

Nozīmīgi kvalitātes raksturotāji ir NDF un ADF saturs sausnā (3. att.). Novācot kukurūzu vēlāk septembrī, palielinājās visi iepriekšminētie rādītāji, bet NDF un ADF saturs, tieši pretēji, trijos (2006.–2008. g.) no četriem izmēģinājumu gadiem un arī vidēji izmēģinājumu periodā samazinājās. Kaut arī NDF un ADF saturam bija tendence samazināties līdz ar novākšanu vēlāk septembrī, tomēr vidēji novākšanas laiks (ηNDF=16%, ηADF=5%, p<0.05) NDF un ADF saturu ietekmēja mazāk nekā iepriekšminētos rādītājus. Ļoti liela ietekme uz šiem rādītājiem bija gada meteoroloģiskajiem apstākļiem (ηNDF=38%, ηADF=57%, p<0.05). Tādējādi 2005. gada pēdējā novākšanas laikā, 30. septembrī,



2. att. Vālīšu sausnas ražas īpatsvara pieaugums atkarībā no hibrīda septembrī, vidēji 2005.–2008. gadā.
Fig. 2. Increase in the ear DM yield proportion in the total DM yield of maize during September depending on the used hybrid, on average per 2005–2008.



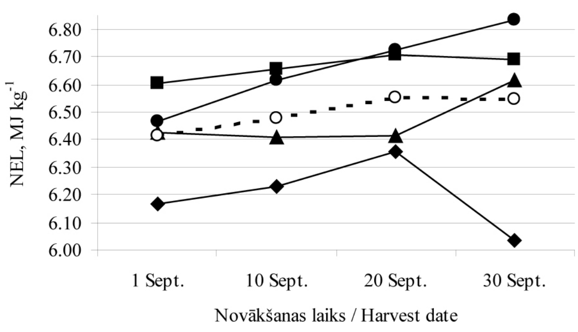
3. att. NDF (pa kreisi) un ADF (pa labi) satura izmaiņas kukurūzas sausnā atkarībā no ražas novākšanas laika.
Fig. 3. Changes in NDF (on the left) and ADF (on the right) content in maize yield depending on the harvest time.

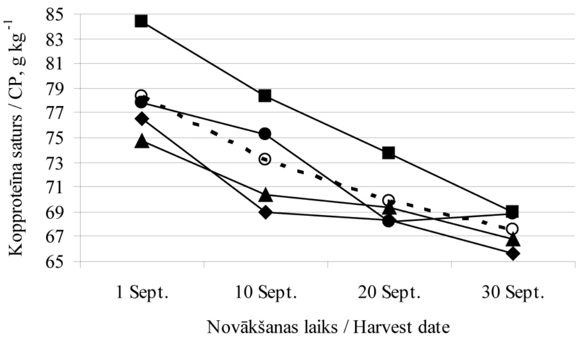
novēroja izteiktu NDF un ADF satura palielināšanos (3. att.), ko izraisīja kukurūzas nosalšana 17. un 18. septembrī atzīmētajās rudens salnās. Gados, kad rudens salnas nenovēroja, kukurūzu ar zemāko abu kokšķiedras frakciju saturu ieguva laikā no 20. septembra līdz 30. septembrim.

Slaucamo govju ēdināšanā svarīgs barības līdzekli raksturojošs rādītājs ir NEL (4. att. pa kreisi), ko mūsu pētījumā aprēķināja pēc (2) formulas, un tādējādi tas ir saistīts ar laboratoriski noteikto ADF vērtību.

Tāpat kā raža, sausnas saturs zaļmasā un vālīšu sausnas īpatsvars kopējā sausnas ražā, arī NEL palielinājās līdz ar kukurūzas novākšanas laika novilcināšanu septembrī. Divos (2006. un 2008. g.) no četriem izmēģinājumu gadiem ražā NEL palielinājās vismaz līdz 20. septembrim, un divos gados (2007. un 2008. g.) NEL pieaugums ražā turpinājās arī periodā līdz 30. septembrim. Tikai 2005. gadā, pēc salnām 17. un 18. septembrī, ražas NEL samazinājās (4. att. pa kreisi).

Ražas enerģētisko vērtību, izteiktu kā NEL, būtiski un lielā mērā ietekmēja ražas gada apstākļi (η=57%, p<0.05): ražu ar visaugstāko vidējo NEL (6.66 MJ kg^{-1}) ieguva 2006. un 2008. gadā, bet ražu ar viszemāko vidējo NEL – 2005. gadā (6.20 MJ kg^{-1}). Arī hibrīda ietekme uz ražas NEL





♦ – 2005; ■ – 2006; ▲– 2007; ● – 2008; ▪▪▪▪ – vidēji 4 gados / on average per 4 years

4. att. NEL (pa kreisi) un kopproteīna (pa labi) satura izmaiņas kukurūzas sausnā atkarībā no ražas novākšanas laika.
Fig. 4. Changes in NEL (on the left) and CP (on the right) content in maize yield depending on the harvest time.

bija būtiska (η=12%, $p<0.05$). Rezultāti liecināja, ka jo agrīnāks hibrīds, jo augstāka vidējā visu gadu ražas NEL (visagrīnākajam hibrīdam 'Earlystar' NEL vidēji bija 6.62 MJ kg^{-1}). Sējas un novākšanas laika ietekme uz šo rādītāju bija būtiska, tomēr ietekmes īpatsvars bija salīdzinoši neliels (η=5%, $p<0.05$). Kukurūzu novācot 20. septembrī, tās kvalitāte tika analizēta atsevišķām auga frakcijām: augstākā enerģētiskā vērtība atzīmēta vālītēm (vidēji 7.77 MJ kg^{-1}), zemākā – lapu-stiebru frakcijai (5.80 MJ kg^{-1}), bet visa auga sausnas ražai – 6.60 MJ kg^{-1}.

Kopproteīna saturs (4. att. pa labi) kukurūzas ražā nebija augsts: vidēji visiem hibrīdiem pētījumu periodā – 72 g kg^{-1}. Kopproteīna saturs pakāpeniski samazinājās katrā nākamajā novākšanas reizē, t.i., līdz ar dienu skaita no sējas līdz novākšanai palielināšanos. Pētījumā, kad kukurūzas novākšanu uzsāka 1. septembrī, konstatēja būtisku negatīvu sakarību starp vidējo dienu skaitu no sējas līdz novākšanai un kopproteīna saturu zaļmasas ražā ($n=4$, $r=0.98>r_{0.05}=0.95$). Šo sakarību apraksta regresijas vienādojums $y=-0.358x+118.04$ ($p<0.05$); determinācijas koeficienta vērtība $R^2=0.97$ liecina par ciešu sakarību. Arī dispersijas analīzes rezultāti norāda uz nozīmīgu novākšanas laika ietekmi uz kopproteīna saturu ražā (η=31%, $p<0.05$). Būtiska ietekme uz šo rādītāju bija arī ražas gada agrometeoroloģiskajiem apstākļiem un hibrīdam (η=12%, $p<0.05$).

Visi aprakstītie kvalitātes rādītāji trijos (2006.–2008. g.) no četriem pētījumu gadiem būtiski ($p<0.01$) korelēja ar sausnas saturu kukurūzas zaļmasā (4. tabula). 2005. gadā, kad kukurūza nosala jau 17. un 18. septembrī, sakarība ar NDF un ADF saturu un NEL netika atzīmēta, jo, kaut gan pēc salnām sausnas saturs zaļajā masā turpināja palielināties, palielinājās arī NDF un ADF (3. att.) saturs, bet NEL samazinājās (4. att.).

Diskusija

Pareiza kukurūzas novākšanas laika izvēle līdztekus pareizai sējas laika, hibrīda u.c. agronomisko regulējamo faktoru izvēlei ir viens no atslēgas faktoriem, kas padara kukurūzas audzēšanu rentablu (Lucāns, 1960; Lauer, 2003), jo augstāka raža pie vienu un to pašu līdzekļu ieguldījuma vienmēr nodrošina zemāku produkcijas pašizmaksu. Iegūtie rezultāti apstiprināja hipotēzi, ka kukurūzas novākšanas laika novilcināšana vismaz līdz tās nosalšanai septembrī vai, ja salnas nenovēro, līdz septembra beigām, ir saistīta ar ievērojamu ražas palielinājumu. Šādi rezultāti par kukurūzas ražas pieaugumu līdz ar vēlāku novākšanas laiku pilnībā sakrīt ar citu pētnieku iegūtajiem datiem citās valstīs (Darby, Lauer, 2002; Wilkinson, Hill, 2003; Lewis et al., 2004) vai Latvijā iepriekšējos periodos, bet ar citiem kukurūzas hibrīdiem (Lucāns, 1960; Гринблат, 1970). Vienīgais gads, kad raža pēc 20. septembra neturpināja palielināties, bija 2005. gads, kad 17. un 18. septembra salnās kukurūza nosala. Latvijā salnas septembrī ir parasta dabas parādība, ar kurām kukurūzas audzētājam ir jārēķinās. Parasti salnu ietekmē kukurūza kļūst sausāka, bieži uz dažādām auga daļām attīstās pelējuma sēnes, kas var izdalīt dzīvnieku veselībai kaitīgus mikotoksīnus. A. Gotliebs (Gotlieb, 2004) norāda, ka mikotoksīnu piesārņojuma risks kukurūzai, kas novākta pēc

4. tabula / Table 4

Korelācija starp kukurūzas zaļmasas sausnas saturu un citiem kvalitātes rādītājiem pētījuma gados
Correlation between DM content in maize yield and other quality parameters during the trial years

Rādītāji / Indices	Korelācijas koeficienti pētījuma gados / Correlation coefficients during the trial years			
	2005	2006	2007	2008
NDF	-0.245	-0.626	-0.505	-0.720
ADF	-0.128	-0.581	-0.626	-0.874
Vālīšu īpatsvars kopējā sausnas ražā / Proportion of ear DM in the total DM yield	0.916	0.886	0.776	0.855
NEL	0.128	0.581	0.626	0.874
Kopproteīns / CP	-0.589	-0.612	-0.377	-0.397
n=64, $r_{0.05}$=0.253, $r_{0.01}$=0.333				

salnām, ir lielāks. Tāpēc, ja kukurūza nosalusi, tā nekavējoties jānovāc, bet, ja salnas nenovēro, tad vairumā gadījumu kukurūzas novākšanu ieteicams novilcināt līdz septembra trešajai dekādei. Ļoti retos gados, kad visas sezonas laikā bijuši ļoti silti laika apstākļi un nevienmērīgs mitruma sadalījums, var gadīties, ka novākšanu jāuzsāk agrāk (ap 10. septembri) (Gaile, 2004), taču var būt arī tādi gadi, kad arī šādos apstākļos kukurūzas novākšana novilcināma iespējami vēlu septembrī, kā tas bija šajā pētījumā 2006. gadā. Tādējādi vēlamo kukurūzas novākšanas laiku pareizi būtu izvēlēties atbilstoši sausnas saturam zaļmasā. Dažos gados novākšanu ar labiem panākumiem iespējams veikt oktobrī, taču kopumā oktobris kā pamatnovākšanas laiks kukurūzai ir pārāk riskants, jo mēdz būt lietains, kas apgrūtina darbu gan uz lauka, gan skābbarības tranšejā.

Pētnieki bieži uzsver izvēlētā kukurūzas hibrīda nozīmi augstas ražas ieguvē, taču šajā pētījumā izmantoto četru hibrīdu rezultāti 95% būtiskuma līmenī nepierādīja hibrīda ietekmi uz vidējo iegūstamās sausnas ražas apjomu, kas varētu būt saistīts ar to, ka kukurūzu sēja 4 dažādos termiņos. Nekonstatēja arī mijiedarbības „hibrīds×novākšanas laiks” ietekmi uz ražas apjomu 95% būtiskuma līmenī, kas sakrīt ar citu pētnieku atziņu, ka dažādu kukurūzas hibrīdu raža un kvalitāte atkarībā no novākšanas laika mainās līdzīgi (Darby, Lauer, 2002).

Iegūtā kukurūzas raža ir nozīmīgs rādītājs, bet ražas kvalitāte ir pat svarīgāka, ja ražu izmanto augstproduktīvu govju ēdināšanā. Tā kā Latvija atrodas kukurūzas audzēšanas robežapgabalā un tai raksturīgs samērā vēss klimats, tad sausnas saturs zaļmasā tiek atzīts par ļoti nozīmīgu kvalitātes rādītāju, jo ir svarīgi, lai skābbarības blīvēšanas procesā neaizplūstu vērtīgā augu sula. Valstīs ar kukurūzas audzēšanai piemērotākiem apstākļiem uzskata, ka labas kvalitātes skābbarību var sagatavot, izmantojot kukurūzu samērā plašā gatavības intervālā – ar sausnas saturu zaļmasā 28–42% (280–420 g kg^{-1}) (Ettle, Schwarz, 2003; Lauer, 2003; Lewis, Coc, Cherney, 2004; Mahanna, 2005). Ir autori, kuri uzskata, ka augstāko ražu ar labāko kvalitāti tomēr nodrošina kukurūzas raža ar šaurāku sausnas satura intervālu – 30–35% (300–350 g kg^{-1}) (Wiersma, Carter et al., 1993; Bal, Coors, Shaver, 1997; Darby, Lauer, 2002). Latvijā, lai iegūtu kukurūzas ražu ar šādu sausnas saturu, ļoti precīzi jāievēro audzēšanas tehnoloģija – gan sējas, gan novākšanas laiks –, jāizvēlas atbilstoši agrīns hibrīds un jāievēro citas kukurūzas agrotehniskās prasības. Tā kā arī šis pētījums pierādīja, ka gada agrometeoroloģiskajiem apstākļiem (skatīt faktora „gada agrometeoroloģiskie apstākļi” ietekmes īpatsvarus sadaļā „Rezultāti”) ir liela nozīme gan kukurūzas ražas, gan kvalitātes nodrošināšanā, tad Latvijas apstākļos pašreiz ir izvirzīts mērķis novākt kukurūzu ar sausnas saturu ≥250 g kg^{-1} (Gaile, 2004). Šī pētījuma rezultāti liecina, ka, izvēloties atbilstoša agrīnuma hibrīdus (šajā pētījumā to agrīnums bija robežās no FAO 160

('Earlystar') līdz FAO 210 ('Tango')), arī Latvijas apstākļos pēc 20. septembra iespējams vākt tādu kukurūzas ražu, kādu par pietiekami nobriedušu skābbarības gatavošanai atzīst pētnieki citās valstīs (Keady, 2005), t.i., ar sausnas saturu, kas lielāks par 280 g kg^{-1}. Arī agrākos gados Latvijā veiktajos pētījumos secināts, ka, novilcinot novākšanas laiku, var iegūt kukurūzas ražu ar augstāku sausnas saturu (Lucāns, 1960; Гринблат, 1970). Tomēr jāatzīmē, ka J. Lucāna pētījumos konstatētais sausnas saturs pat pēdējā novākšanas reizē (25. septembrī) bija tikai 17%, un arī G. Grīnblata pētījumos tikai atsevišķi visagrīnākie hibrīdi nodrošināja ražu ar sausnas saturu, kas bija lielāks par 25%, un arī tad ne visos gados.

Šie pētījumi kontekstā ar manu pētījumu norāda uz selekcijas attīstības lielo nozīmi pietiekami agrīnu un tajā pašā laikā augstražīgu hibrīdu izveidē, kas pieļauj augstas kvalitātes ražas ieguvi arī Latvijā un līdzīgos apstākļos. Vēlāka laika pētījumos Latvijā (Runce, 1994 – nepublicēts materiāls; Slokenberga, 1996) pausta atziņa, ka kukurūzas nosaldēšana salnās var palielināt sausnas saturu zaļmasā. Taču pēc šo pētījumu metodikas kukurūza Skrīveros tika vākta pirms salnām, 18.–21. septembrī, un pēc tam to salīdzināja ar kukurūzu, ko vāca pēc salnām, kuras dažādos gados novēroja dažādos datumos (nākamais novākšanas datums: 07.10.93., 11.10.94. un 25.09.95.) (Slokenberga, 1996). Tādējādi sausnas saturu ietekmēja ne tikai auga nosalšana un tai sekojošā auga izžūšana, bet arī laika intervāls no 18.–21. septembra līdz salnām (piem., no 21.09. līdz 07.10. ir 16 dienas), ko papildus atvēlēja kukurūzas nobriešanai. Tādējādi uzskatu, ka nav korekti apgalvot, ka tikai nosaldēšana veicina sausnas satura ievērojamu palielināšanos (1993. un 1995. gadā attiecīgi par 3.6% un 3.5% jeb 36 un 35 g kg^{-1}, bet 1994. gadā pat par 4.6% jeb 46 g kg^{-1}). Manā pētījumā, kad salnas nenovēroja trijos no četriem gadiem, sausnas saturs zaļmasā 10 dienu laikā, no 20. septembra līdz 30. septembrim, vidēji palielinājās par 35 g kg^{-1}.

Daudzi pētnieki augstas ražas ieguvi un tās kvalitāti saista ar graudu saturu ražā. Šajā pētījumā nav noteikts graudu īpatsvars kopējā visa auga ražā, bet gan vālīšu (graudi+serdes) sausnas ražas īpatsvars. Graudu vai, mūsu gadījumā, vālīšu īpatsvara pieaugums ražā saistāms ar kopējās kvalitātes uzlabošanos. Kukurūza ir interesants barības līdzeklis arī tāpēc, ka, tai nobriestot (vēlāks novākšanas laiks) un lapu–stiebru frakcijas sagremojamībai samazinoties, kukurūzas kopējā enerģētiskā vērtība un kvalitāte parasti pat palielinās uz graudos uzkrātās cietes rēķina (Mahanna, 2005). Ja kukurūzu novāc pārāk agri, vālīšu īpatsvars kopējā sausnas ražā ir ļoti zems (piemēram, šajā pētījumā 1. septembrī tas vidēji bija 346 g kg^{-1}). Līdz ar novākšanas laika novilcināšanu vālīšu un līdz ar to arī graudu īpatsvars ražā palielinās, pēdējā novākšanas reizē sasniedzot vidēji 558 g kg^{-1}. Šie rezultāti sakrīt ar citu pētnieku datiem (Wilkinson, Hill, 2003), kas arī iegūti, pēc viņu uzskata, kukurūzas audzēšanas robežapgabalā (Anglijā).

Nozīmīgi kvalitāti raksturojoši rādītāji ir kokšķiedras frakciju NDF un ADF saturs kukurūzas ražā – tie līdz ar kukurūzas nogatavošanos samazinās. Tas novērots arī šajā pētījumā LLU MPS „Vecauce" trijos no četriem izmēģinājumu gadiem (2006.–2008. g.) (3. att.). NDF ir apgriezti proporcionāla sausnas apēdamībai, bet ADF – apgriezti proporcionāla sausnas sagremojamībai, tādēļ vēlams, lai šo rādītāju vērtības būtu zemākas. Dažādās gatavības pakāpēs novāktas kukurūzas NDF un ADF saturs var ievērojami atšķirties, piemēram, J.G. Coors un kolēģi (Coors et al., 1997 – citēts no Darby, Lauer, 2002) novērojuši NDF izmaiņas robežās 479–701 g kg^{-1}, un ADF izmaiņas robežās 235–377 g kg^{-1}. Manā pētījumā līdz 20. septembrim vidēji pētījumu periodā nevienam hibrīdam neatzīmēja par 500 g kg^{-1} zemāku NDF saturu; arī 20. septembra novākšanas reizē tikai 'Earlystar' un 'RM-20' ražā tas bija zemāks par 500 g kg^{-1}, savukārt vēlīnajam hibrīdam 'Cefran' arī 30. septembrī vāktajā ražā NDF saturs vidēji bija 514 g kg^{-1}. To varētu izskaidrot tādējādi, ka pat šajos, Latvijas apstākļiem samērā vēlīnajos, novākšanas termiņos kukurūza atbilstoši sausnas saturam zaļmasā (zemāks par 300 g kg^{-1}) nav sasniegusi brieduma pakāpi, ko par piemērotāko novākšanai atzīst kukurūzas audzēšanai labvēlīgākās zonās. Kaut gan ir autori, kas norāda, ka kukurūzas kvalitātes izmaiņas ir saistāmas ar konkrēta hibrīda ģenētiskajām īpatnībām (Mahanna, 2005), tomēr ir arī autori, kuru pētījumu rezultāti liecina, ka dažādu hibrīdu kvalitāte, ja tie novākti vienādā attīstības stadijā, mainās salīdzinoši maz (Darby, Lauer, 2002). Šajā pētījumā NDF satura atšķirības starp hibrīdiem drīzāk varētu izskaidrot ar to dažādo gatavības pakāpi konkrētā novākšanas datumā, nevis ar ģenētiski noteiktām atšķirībām lopbarības kvalitātē.

Līdzīgas izmaiņas atzīmētas ADF saturam: agrīnāko hibrīdu un vēlīnākos termiņos (3. att.) novāktas ražas ADF saturs bija zemāks. Pilnībā atšķirīgi bija novērojumi 2005. gadā, kad NDF un ADF saturs pēc salnām nevis samazinājās, bet gan palielinājās, kas izskaidrojams ar to, ka miglains un mitrs laiks, kā arī lietus pēc salnām bija veicinājis barības vielu izskalošanos no nosalušajām lapām. Lapu–stiebru frakcijas barotājvērtība bija samazinājusies un NDF un ADF koncentrācija šajā auga daļā tik strauji bija palielinājusies, ka pat vālīšu (graudu) frakcijas īpatsvara pieaugums to nebija spējis kompensēt. Līdzīgi rezultāti, kad tāpat pašās sezonas beigās NDF un ADF saturs nevis turpināja samazināties, bet gan palielinājās, tika iegūti 2002. gadā iepriekšējā pētījumu periodā (Gaile, 2004). To konkrētajā gadījumā varēja izskaidrot ar pārāk nogatavojušās (graudi nogatavojās līdz cietgatavībai) kukurūzas novākšanu. Arī citi autori norāda, ka palielināts NDF un ADF saturs kukurūzas ražā novērojams gan tad, ja to vāc pārāk nenobriedušu, gan arī tad, ja tā jau ir pārāk gatava (Darby, Lauer, 2002). Tāpat kā līdz ar vēlāku novākšanas laiku samazinājās ražas NDF un ADF saturs, arī kopproteīna saturs samazinājās visos četros pētījuma gados. Šāds novērojums sakrīt gan ar manu iepriekšējo pētījumu rezultātiem (Gaile, 2004), gan ar citu autoru datiem, kuri analizējuši kukurūzas kvalitātes izmaiņas, tai nobriestot (Darby, Lauer, 2002; Lewis et al., 2004). Kopproteīna saturs turpināja samazināties arī pēc salnām 2005. gadā.

Kukurūzas enerģētiskajai vērtībai jābūt būtiski augstākai par 6 MJ kg^{-1}, bet visaugstāko vērtību tā parasti sasniedz tad, ja kukurūzu novāc ar 280–350 g kg^{-1} lielu sausnas saturu. Kukurūza ir interesants barības līdzeklis arī no enerģētiskā viedokļa: agrīnākās novākšanas stadijās enerģētisko vērtību nodrošina galvenokārt labi sagremojamā lapu–stiebru frakcija, bet vēlāk, kad lapu–stiebru frakcijas sagremojamība pazeminās, enerģētiskā vērtība, uzkrājoties graudos cietei, var pat palielināties (Mahanna, 2005). Pētnieki Polijā (Kowalik, Michalski, 2003) secinājuši, ka enerģija kukurūzas skābbarības sausnā palielinās par 8–10%, ja novākšanu novilcina un ja, kukurūzai nobriestot, sausnas saturs ražā palielinās. Šajā pētījumā Latvijas apstākļos audzētās kukurūzas enerģētiskā vērtība bija nedaudz zemāka par citos apstākļos audzētas kukurūzas enerģētisko vērtību. Piemēram, Dienvidvācijā NEL vērtības sasniedza 6.9–7.2 MJ kg^{-1}, ja sausnas saturs novāktajā zaļmasā bija 300–320 g kg^{-1} (30–32%) (Ettle, Schwarz, 2003). Latvijas apstākļos kukurūzas visa auga ražas NEL vērtība, kas lielāka par 7 MJ kg^{-1}, reti ir novērota, piemēram, šajā pētījumā 2008. gadā visa auga ražā tikai visagrīnākajam hibrīdam 'Earlystar', to sējot agri (25.04. un 05.05.) un novācot ap 20. septembri vai vēlāk. B. Mahanna (2005) uzskata, ka ļoti būtiska loma kukurūzas kvalitātes veidošanā ir ne tikai audzēšanas vietai, bet arī katras sezonas laika apstākļiem: laika apstākļi pirms kukurūzas ziedēšanas ietekmē ne tikai auga garumu (līdz ar to ražas apjomu), bet arī kokšķiedras kvalitāti, savukārt laika apstākļi pēc ziedēšanas (kukurūzas nobriešanas laikā) ietekmē kopējo sausnas sagremojamību. Arī Vecaucē veiktā pētījuma rezultāti norāda uz būtisku pētījuma gadu apstākļu ietekmi uz visiem aprakstītajiem rezultatīvajiem rādītājiem, t.sk. NEL (η=57%).

Pētījumā LLU MPS „Vecauce" konstatētās korelācijas starp sausnas saturu un citiem kvalitāti raksturojošiem rādītājiem (4. tabula) trijos no četriem pētījumu gadiem matemātiski apstiprina iepriekš aprakstītos novērojumus, ka, kukurūzai nobriestot un sausnas saturam palielinoties (šajā pētījumā – to novācot vēlāk), NDF, ADF un kopproteīna saturs ražā samazinās, bet vālīšu īpatsvars kopējā sausnas ražā un ražas NEL – palielinās. Šie rezultāti sakrīt ar citu pētnieku darbiem, kuros aprakstītas līdzīgas kvalitatīvo rādītāju izmaiņas, kas novērotas, sausnas saturam kukurūzā palielinoties vēlāka novākšanas laika (kukurūzas nobriešanas) rezultātā (Darby, Lauer, 2002; Lewis, Coc, Cherney, 2004). Korelācijas starp sausnas saturu kukurūzas ražā un NDF un ADF saturu, kā arī NEL nenovēroja 2005. gadā, jo kukurūzas nosalšanas rezultātā šo rādītāju vērtības, neskatoties uz sausnas satura turpmāku palielināšanos, izmainījās pretējā virzienā: NDF un ADF saturs atkal palielinājās, bet NEL – samazinājās. Šāds novērojums uzskatāmi liecina, ka pēc salnām kukurūza nekavējoties jānovāc, ko uzsver arī citi pētnieki (Schroeder, 2004; Gotlieb, 2004).

Secinājumi

1. Kukurūzas novākšanas laika novilcināšana līdz septembra trešajai dekādei gados, kad nenovēroja salnas, nodrošināja aptuveni 1 t ha^{-1} lielu sausnas ražas pieaugumu vidēji 10 dienās. Labākais ražas novākšanas laiks vidēji varētu būt septembra trešā dekāde, taču konkrētā gadā tas būtu jāizvēlas, nosakot sausnas saturu zaļmasā.
2. Jo vēlāk septembrī novāca kukurūzu, jo lielāks bija tās sausnas saturs, kas vidēji pētījuma periodā četriem izmēģinājumā pētītiem hibrīdiem 30. septembrī sasniedza 305 g kg^{-1}. Tādējādi, precīzi ievērojot kukurūzas audzēšanas prasības un izvēloties pareizu novākšanas laiku konkrētā sezonā, vidēji katru gadu iespējams

iegūt ražu ar sausnas saturu ≥250 g kg^{-1}, bet audzēšanai labvēlīgos gados – pat ar sausnas saturu ≥280 g kg^{-1}.

3. Ražas un tās kvalitātes rādītāju izmaiņu raksturs bija atkarīgs no konkrētās sezonas meteoroloģiskajiem apstākļiem, starp kuriem būtiska nozīme bija rudens salnām līdz kukurūzas novākšanai. Ja kukurūza nenosala rudens salnās, tad, palielinoties sausnas saturam ražā, uzlabojās arī citi kvalitātes rādītāji: NDF un ADF saturs sausnā samazinājās, bet NEL – palielinājās. Stipras salnas (2005. g.) ne vien apturēja turpmāku kukurūzas ražas pieaugumu, bet arī izraisīja atsevišķu kvalitātes rādītāju pasliktināšanos: strauji palielinājās NDF un ADF saturs, bet samazinājās ražas NEL. Teorētiski, kukurūzu pēc salnām ilgstoši nenovācot, tās piesārņojuma risks ar mikotoksīniem palielinās. Pelējuma sēņu savairošanās pēc salnām un to izdalītie mikotoksīni ir temats turpmākiem pētījumiem, taču šādu pētījumu iespējas lauka apstākļos ierobežo rudens salnu neregularitāte.
4. Vālīšu īpatsvars kopējā sausnas ražā lineāri palielinājās neatkarīgi no tā, vai kukurūza nosala vai nenosala rudens salnās. Toties kopproteīna saturs ražā līdz ar vēlāku novākšanas laiku vienmēr samazinājās, kas ir neizbēgami, ja vēlas panākt citu rādītāju uzlabošanos kvalitatīvas skābbarības sagatavošanai.

Literatūra

1. Bal, M.A., Coors, J.G., Shaver, R.D. (1997) Impact of the maturity of corn for uses as silage in the diets of cows on intake, digestion, and milk production. *J. Dairy Sci,* 80, 2497–2503.
2. Darby, H.M., Lauer, J.G. (2002*)* Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality and preservation. *Agron. J.,* 94, 559–566.
3. Ettle, T., Schwarz, F.J. (2003) Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. *Anim. Res.,* 52, 337–349.
4. Gaile, Z. (2004) Possibility to grow early maturity corn hybrids for energetically dense silage in Latvian conditions. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress.* ISBN 1-920842-21-7. Australia, Brisbane. [Elektroniskais resurss] – 1 kompaktdisks.
5. Gaile, Z. (2007) Harvest time effect on yield and quality of maize (*Zea mays* L.) grown for silage. *Agronomijas Vēstis*, No. 10, 104–111.
6. Gaile, Z. (2008a) Effect of harvest timing on maize (*Zea mays* L.) quality. *Multifunctional Grasslands in a Changing World. Proceedings of "21st International Grassland Congress, 8th International Rangeland Congress", China.* Volume II, Guangzhou, China, Guandong People's Publishing House, p. 703.
7. Gaile, Z. (2008b) Quality of forage maize (*Zea mays* L.) depending on sowing time in Latvia. *Grassland Science in Europe*, Vol. 13, 459–461.
8. Gotlieb, A. (2004) Mycotoxins in silage: a silent loss in profits: www.uvm.edu/pss/vtcrops/?Page=articles/Mycotoxins.html – Resurss aprakstīts 2010. gada 25. novembrī.
9. Herrmann, A., Kornher, A., Taube, F. (2005) A new harvest time prognosis for forage maize production in Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 130, No. 1–2, 95–111.
10. Keady, T.W.J. (2005) Ensiled maize and whole crop wheat forages for beef and dairy cattle: effect on animal performance. Silage production and utilisation. *Proceedings of the XIV International Silage Conference, a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress*. Eds R.S. Park, M.D. Stronge. Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, 65–82.
11. Kowalik, I., Michalski, T. (2003) The influence of some agrotechnical factors on the fodder value of the maize silage. *Prace z Zakresu Nauk Rolniczych*, 95, 111–120.
12. Lauer, J. (2003) Keys to higher corn forage yields: http://www.uwex.edu/ces/forage/wfc/proceedings2003/cornsilageyields.htm – Resurss aprakstīts 2010. gada 25. novembrī.
13. Lewis, A.L., Coc, W.J., Cherney, J.H. (2004) Hybrid, maturity, and cutting height interaction on corn forage yield and quality. *Agron. J.,* 96, 267–274.
14. Lucāns, J. (1960) Kukurūzas audzēšanas rezultāti Latvijas Lauksaimniecības akadēmijas mācību un pētījumu saimniecībā "Vecauce" no 1954. līdz 1959. gadam. *Kukurūza Padomju Latvijā*. Red. V. Kozlovskis. Rīga, Latvijas Valsts izdevniecība, 31–40.
15. Mahanna, B. (2005) Managing corn silage from seed to feed. *Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference*. USA, Nevada, Reno, 83–96.

16. Schroeder, J.W. (2004) Corn silage management: http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/dairy/as1253.pdf – Resurss aprakstīts 2010. gada 25. novembrī.
17. Slokenberga, I. (1996) Pieredze agrīnās kukurūzas audzēšanā. *Zinātniskās konferences (1996. gada 7. un 8. februārī) raksti.* Sast. A. Priedītis. Jelgava, LLU, 107. lpp.
18. Wiersma, D.W., Carter, K.A., Albrecht, K.A., Coors, J.G. (1993) Kernel milkline stage and corn forage yield, quality, and dry matter content. *J. Prod. Agric.*, 6, 94–99.
19. Wilkinson, J.M., Hill, J. (2003) Effect on yield and dry-matter distribution of the stay green characteristic in cultivars of forage maize grown in England. *Grass and Forage Science*, 58, 258–264.
20. Гринблат, Г. (1970) Влияние сроков уборки на повышение качества силосуемой массы. *Кукуруза и её возделывание в Латвийской ССР в экспериментальном освещении*. Дисертация на соискание учёной степени доктора с/х наук. Скривери, 341–367.

Pateicība

Pētījums veikts, pateicoties Latvijas Zinātnes padomes granta Nr. 05.1605.3 finansējumam, bet publikācija sagatavota, pateicoties ESF projekta Nr. 2009/0225/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/129 finansējumam.

LLU Raksti Nr. 25 (320)
Atbildīgais redaktors Aldis Kārkliņš
Iespiests SIA "Drukātava"
Liliju iela 95/1, Mārupe

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTES RAKSTI

Autoru ievērībai

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Raksti ievieto publikācijas par nozīmīgiem oriģināliem, teorētiskiem un eksperimentāliem pētījumiem, kas interesē zinātnieku un nozares speciālistu auditoriju. Publicē arī nozares zinātnes pārskatus un hronikas rakstura materiālus.

Manuskriptus autori iesniedz tehniskajam redaktoram vai nu latviešu, vai angļu valodā. Personas, kas iesniedz manuskriptu, to paraksta un pilnībā atbild par iesniegtā manuskripta īpašuma tiesībām un zinātnisko līmeni. Redkolēģijai ir tiesības pakļaut manuskriptus tālākai izvērtēšanai un izņēmuma gadījumos arī noraidīt, ja tie neatbilst vispārējiem publikācijas kritērijiem vai tiek uzskatīti kā nepiemēroti *LLU Rakstiem*. Iesniedzot manuskriptus publicēšanai, autors(i) apliecina, ka darbs nav iepriekš publicēts, nav paredzēts publicēšanai citos izdevumos, un to izlasījuši un atzinuši par labu visi autori. Autori piešķir ekskluzīvas tiesības Latvijas Lauksaimniecības universitātei iesniegtā raksta publicēšanai.

Vēlamā rakstu struktūra: **virsraksts** (raksta valodā un angļu valodā); **autors** vai autori **–** pilni vārdi un uzvārdi, darba vietas nosaukums (raksta valodā un angļu valodā), pilna pasta adrese, tālruņa numurs, fakss, e-pasta adrese; ***abstract*** – kopsavilkums angļu valodā līdz 250 vārdiem vienā rindkopā izsmeļoši informē par rakstā iekļauto datu būtību; ***key words*** **–** ne vairāk kā 5 (angļu valodā); angļu valodā iesniegtiem rakstiem **kopsavilkums –** latviešu valodā, vismaz 250 vārdu garš, vienā rindkopā; **ievads –** situācija un hipotēze**; materiāli un metodes –** pētījuma objekts, metodes un metodika, lai ikviens gūtu priekšstatu par pētījumu gaitu; **rezultāti –** teksta, tabulu, attēlu veidā ar atbilstošu datu ticamības novērtējumu un rezultātu analīzi; **diskusija –** pētījumu rezultātu interpretācija, salīdzinājums ar citu autoru līdzīgiem pētījumiem, jaunākajām zinātnes atziņām; **secinājumi**; **literatūras saraksts**. Manuskriptu apjomam nevajadzētu pārsniegt 15 lappuses – oriģinālrakstam, 20 lappuses – apskata rakstam un 6 – īsiem ziņojumiem. Manuskriptā jānumurē lappuses, attēli, tabulas un formulas.

Teksts

Darbs jānoformē datorsalikumā programmā *MS Word* uz A4 formāta lapām, lietojot *Unicode* fontu *Times New Roman* ar izmēru 12. Pamatteksts sastāv no rindkopām. Sarežģītu un optiski grūti uztveramu burtu veidu lietošana pamattekstā nav pieļaujama. Teksta attālums no kreisās lapas malas 30 mm, no pārējām – 25 mm. Rindstarpu attālums – 1.5. Skaitļos kā decimāldalītājs jālieto punkts, nevis komats. Manuskriptā lietojamas SI sistēmas mērvienības un arī attiecīgie saīsinājumi.

Tabulas

Tabulām jābūt veidotām programmā *MS Word* vai *Excel* un tās novietojamas teksta beigās uz atsevišķām lapām. Teksta izmērs tabulās – ne lielāks par 10 punktiem. Tabulu virsraksti, teksts tajās un paskaidrojumi pie tām tulkojami arī angļu valodā. Tabulām jābūt saprotamām arī tad, ja teksts nav lasīts. Tabulu numuri rakstāmi ar arābu cipariem labajā pusē virs tabulas virsraksta. Tās nedrīkst pārsniegt apdrukai paredzēto lapas laukumu, un tabulu zemteksta piezīmēm jābūt uz tās pašas lapas. Ja tabula turpinās uz vairākām lappusēm, tabulas galva bez virsraksta jāatkārto katrā lapā, virsraksta vietā rakstot „...tabulas turpinājums" vai „...tabulas nobeigums". Nav ieteicams veidot tabulas, kurām rindu vai kolonnu skaits mazāks par trīs. Kolonnās skaitļiem jābūt nolīdzinātiem. Daudzzīmju skaitļi jāsadala grupās pa trim. Ja kolonnā uz leju atkārtojas tas pats skaitlis vai teksts, tas jāraksta atkārtoti, nedrīkst likt atkārtojuma simboliku.

Attēli

Diagrammas, zīmējumus un fotogrāfijas uzskata par attēliem. Attēliem jābūt labas kvalitātes, melnbaltā izpildījumā un tie novietojami teksta beigās uz atsevišķām lapām. Skenētos attēlus, digitālās fotogrāfijas un zīmējumus var veidot jebkurā grafiskajā programmā, bet ievietot tos *MS Word* kā attēlus (*Picture*), nevis kā attiecīgās programmas objektus. Diagrammas ieteicams veidot *MS Excel* vai *MS Word*, izmantojot *Microsoft Graph*. Diagrammās vēlams izvairīties no fona tonējuma un ierāmējuma līniju lietošanas, tīklu līniju biezums –¼ pt, rakstzīmju izmērs – ne lielāks par 10 punktiem. Attēlos jāizvairās no uzrakstiem uz tiem. Uzrakstu vietā lietojami simboli vai cipari, kas atšifrējami zem attēla. Paraksts zem attēla sākas ar attēla numuru, tad seko nosaukums, kas atklāj vai raksturo attēlā redzamo, un tad attēlā lietoto ciparu, simbolu atšifrējums. Attēla nosaukums un visi paskaidrojumi tajā tulkojami arī angļu valodā.

Formulas

Formulas jāraksta *MS Equation* programmā. Formulas tekstā raksta atsevišķā rindā pa vidu. Formulas numurē, numuru rakstot tajā pašā rindā starp divām apaļajām iekavām lapas labajā pusē. Formulās lietotajam pamatvienību lielumam jābūt tādam pašam kā pamattekstā. Kursīvā rakstāmi pieņemto apzīmējumu simboli. Formulās ietverto lielumu mērvienības raksta aiz to nosaukumiem vai skaitliskajām vērtībām tekstā. Formulu paskaidrojumi rakstāmi aiz formulas, katrs savā rindā. Starp paskaidrojumu un mērvienību liek defisi, bet aiz mērvienības – semikolu, un aiz pēdējās mērvienības paskaidrojuma – punktu.

Citējumi

Atsauces tekstā pieraksta, apaļajās iekavās ierakstot izmantotā izdevuma autoru un izdošanas gadu, piem. (Monod, 2010; Hahey, Senseman et al., 2002).

Literatūras saraksts darba beigās jānoformē alfabēta kārtībā, atsevišķus darbus pierakstot šādi: **žurnālu raksti** – Hahey, R., Senseman, S., Krutz, L., Hons, F. (2002) Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosphate. *Biol. Fertil. Soils*, 35, 35–40; **grāmatas** – *Lauksaimniecības ilgtermiņa investīciju kreditēšanas programma*. (2001) LR Zemkopības ministrija, Rīga, 20 lpp.; **grāmatu nodaļas** – Carrey, E. A. (1989) Peptide mapping. In: *Protein Structure*. Ed. T.E. Creighton. ILR Press, Oxford, 191–224.; **INTERNET resursu apraksts** – Veselību noteicošie faktori. Vide kā dzīvības un veselības resurss: http.://www.liis.lv/vid_ves/faktori.htm – Resurss aprakstīts 2010. gada 20. novembrī.

Atsaucēm tekstā jāsakrīt ar literatūras sarakstā minētajiem avotiem, un tiem jābūt publiski pieejamiem.

Fināls

Recenzēto un attiecīgi papildināto manuskripta pēdējo versiju autors(i) elektroniskā veidā kopā ar izdruku iesniedz tehniskajam redaktoram. Fotogrāfijas (JPEG formātā) un grafiski izpildītos attēlus pievieno kā atsevišķus failus.

Tikai precīza visu iepriekšminēto prasību ievērošana sekmēs sagatavoto manuskriptu ātrāku publicēšanu.

Atkāpes no šo noteikumu prasībām pieļaujamas, iepriekš saskaņojot ar *LLU Rakstu* redkolēģiju.

LLU Rakstu redkolēģijas adrese:
Lielā iela 2, Jelgava, LV 3001
Telefons: 630 05671; fakss: 630 05685;
e-pasts: Inga.Skuja@llu.lv

Papildu informācija par *LLU Rakstiem*
pieejama LLU mājas lapā *http://www.llu.lv*
sadaļā *Pētniecība: Raksti.*

Instructions to authors

Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti (**Proceedings of the Latvia University of Agriculture**) publishes reports that describe the results of original theoretical or experimental research of importance and interest to diverse groups of scientists. The scientific articles should be intelligible to a broad scientific audience. The journal publishes also information on events pertaining to science life.

Submission of manuscripts. The persons who submit manuscripts assume responsibility for the intellectual property and scientific standards of the manuscripts they submit. However, the Editorial Board reserves the right to subject manuscripts to further review and when necessary to reject those that do not meet the general criteria for publication or are regarded as inappropriate in some another way. The Editorial Board also reserves the right to edit all manuscripts linguistically and stylistically. Authors submitting a paper do so on the understanding that the work has not been published before, is not considered for publication elsewhere and has been read and approved by all authors. The submission of the manuscript means that the authors automatically agree to assign exclusive copyright to the Latvia University of Agriculture if and when the manuscript is accepted for publication. The work shall not be published elsewhere in any language without the written consent of the Latvia University of Agriculture.

The manuscript, two copies, should be printed out with standard-size (12 points) letters, the font *Times New Roman* or equivalent, on one side of good white paper of A4 format, with margins of at least 25 mm and left-hand margin – 30 mm. 1.5 line spacing should be throughout, including references, tables, figures, and footnotes. Reviews should not exceed 20 pages, original papers – 15 pages, and short communications – 6 pages. The pages should be numbered throughout, including tables and figures. The structure of original paper should be arranged in the following succession:

Title should reveal precisely, in a few words, the subject matter in the shortest possible form; the **Author**, or authors, should type their full names, followed by the names of the department and institution where the investigation was conducted, including a complete postal address. Co-authors from other departments or institutions should be named in the sequence of authorship. The telephone number and e-mail of the corresponding author should be provided; **Abstract** is in one paragraph – up to 250 words should adequately summarize the essential findings described in the paper; **Key words** – not more than five, should be presented in a separate line; **Introduction** outlines the purpose, scope and methods of the investigation and its relation to other research in the same field; **Materials and Methods** should be described in detail, so that one might follow the procedures. Standard laboratory procedures should be mentioned only, but reference citation is necessary; **Results** are presented in textual, tabular, or figure form. Data analysis, plausibility and certainty criteria should be added; **Discussion** provides interpretation of the results. One should not avoid discussion of controversial or unsettled points or of data obtained by the authors, or any evidence for drawing **Conclusions**; those whose role is limited to providing materials, financial support or review should be recognized in the **Acknowledgements** section of the paper; **References**, when cited in the text, should be written as follows: (Carrey, 1989; Hahey, Senseman et al., 2002; Naturalizing …, 2007). In the list at the end of the manuscript, they should be arranged in alphabetical order and each reference should be described as in the following examples:journal article – Hahey, R., Senseman, S., Krutz, L., Hons, F. (2002) Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosphate. Biol. Fertil. Soils, 35, 35–40; a book – Chard, T. (1995) An Introduction to Radioimmunoassay. Amsterdam, Elsevier, 534 pp.; chapter from a book – Carrey, E. A. (1989) Peptide mapping. In: Protein Structure. Ed. T.E. Creighton. Oxford, ILR Press, 191–224; INTERNET resources – Naturalizing with flower bulbs: http://www.flower-gardening-made-easy.com/ naturalizing.html – Accessed on November 20, 2010.

Tables and figures. Tables should be intelligible by them, without reference to the text. Table headings should be concise and should adequately represent the subject matter and be part of the table. Footnotes to the tables should be placed on the same page and designated by superscripts [1], [2], etc. Graphs, diagrams, drawings and photographs are considered as figures. Both tables and figures should be numbered with Arabic numerals in the order of appearance in the text and typed on separate pages at the end of the manuscript. Font size in tables and figures – 10 points or smaller. Equations should be written in *MS Equation* program or similar, graphs and diagrams – in *Excel* or another graphic creation – editing program, without toning in background, and in black-and-white version.

Units of measurement and abbreviations. Use of the International System of Units (SI) is required. In decimals, use the decimal point, not the comma. In the text and tables, use the minus exponential (e.g. g m^{-2}) instead of a slash, and use SI abbreviations. The conventional designation of the authority of a binomial scientific name of organism should be added the first time the name is introduced in the main text.

Paper submission. Authors are encouraged to provide the final version of accepted manuscripts as a hard copy and electronically, e.g. by e-mail.

Scrupulous adherence to these instructions can speed up publication.

Address of the Editorial Board:

LLU Raksti
Lielā iela 2, Latvia University of Agriculture
Jelgava, LV-3001, Latvia
phone: +371-630 05671; fax: +371-630 05685;
e-mail: Inga.Skuja@llu.lv