

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĶĪMIJAS FAKULTĀTE

**KOKSNES PELNU IETEKME UZ ĶĪMISKO
ELEMENTU SATURU MEŽA AUGSNĒ UN
MELLENĒS (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*)**

MAGISTRA DARBS

Autors: **Vitālijs Lazarenko**

Studenta apliecības Nr.: v118012

Darba vadītāja: Dr. chem., doc. Vita Rudoviča

RĪGA
2020

ANOTĀCIJA

Koksnes pelnu ietekme uz ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*). Lazarenko V., zinātniskā darba vadītāja Dr. chem., doc. Vita Rudoviča. Maģistra darbs, 57 lpp., 18 attēli, 19 tabulas, 102 literatūras avoti, 15 pielikumi. Latviešu valodā.

Darbā tika pētīta koksnes pelnu ietekme uz ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*). Pētījuma ietvaros tika analizēts makro-, mikro- un retzemju elementu saturs, ka arī to plūsma dažādās melleņu augu daļās. Paraugi tika ievākti meža teritorijās, kurās augsne tika mēslota ar koksnes pelniem. Meža augsne un mellenes (stādu saknes, stublāji, lapas, ogas) tika mineralizētas ar slapjo mineralizāciju slēgtajā mikroviļņu enerģijas sistēmā, iegūtajos šķīdumos ķīmisko elementu kvantitatīvais saturs tika noteikts ar ICP-MS analīzes metodi. Iegūtie rezultāti tika statistiski apstrādāti, izvērtēts noteikto ķīmisko elementu saturs meža augsnē un mellenēs, un salīdzināts ar literatūras datiem. Izvērtētas pārneses faktoru vērtības no meža augsnes uz saknēm un no saknēm uz dzinumiem

KOKSNES PELNI, VIEGLIE PELNI, SMAGIE PELNI, MELLENEŠ (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*), MEŽA AUGSNE, AUGSNES REAKCIJAS pH, MAKROELEMENTI, MIKROELEMENTI, RETZEMJU ELEMENTI, PĀRNESES FAKTORS, ICP-MS

ABSTRACT

The effect of wood ash on the content of chemical elements in forest soil and blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*). Lazarenko V., research project supervisor Dr. chem., doc. Vita Rudoviča. Research work report, 57 pages, 18 figures, 19 tables, 102 literature references, 15 attachments. In Latvian.

The aim of research was to analyze the impact of wood ash on chemical element content in forest soil and blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*). During research was analyzed macro-, micro- and rare earth element content and their flow in different part of blueberry plants. Samples were collected in the forest areas where soil was fertilized with wood ash. Perform wet digestion in the closed microwave system of forest soil and blueberries (roots, stems, leaves, berries), the content of chemical elements in the obtained sample solutions was determined by ICP-MS analysis method. The obtained results were statistically processed, the content of the determined chemical elements in forest soil and blueberries and compared with the literature data. The values of transfer factors from forest soil to roots and from roots to shoots were evaluated.

WOOD ASH, FLY ASH, BOTTOM ASH, BLUEBERRIES (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*), FOREST SOIL, SOIL pH, MACROELEMENTS, MICROELEMENTS, RARE EARTH ELEMENTS, TRANSFER FACTOR, ICP-MS

APZĪMĒJUMI UN SAĪSINĀJUMI

DTU – Dānijas Tehniskā universitāte

ETAAS – Elektrotermālā atomabsorbciometrija

ICP-MS – Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija

ICP-OES – Induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrija

K – Kontrole

LAAS – Liesmas atomabsorbciometrija

LVMI – Latvijas Valsts Mežzinātnes Institūts

M – Mēslogs

PF – Pārneses faktors

PL – Parauglaukums

PP – Polipropilēns

RE – Retzemju elementi

SP – Smagie pelni

SRE – Smagie retzemju elementi

VRE – Vieglie retzemju elementi

VP – Vieglie pelni

XRF – Rentgenstaru fluorescences spektroskopija

SATURS

IEVADS.....	6
1.LITERATŪRAS APSKATS	8
1.1.Koksnes pelni	8
1.2.Koksnes pelnu iegūšanas process	9
1.3.Koksnes pelnu nozīme meža mēslošanas nolūkos	11
1.4.Augsne, tā nozīme, klasifikācija un reakcijas pH.....	13
1.5.Mellenes un to daudzveidība	15
1.6.Ķīmisko elementu savienojumu plūsma augos	17
1.7.Makro- un mikro- elementu sastāvs augsnē un augos.....	20
1.8.Retzemju elementu sastāvs augsnē un augos	21
1.9.Melleņu un augsnes paraugu sagatavošana	23
1.10.Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (ICP-MS)	25
2.EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	28
2.1.Izmantotie reaģenti un gāzes	28
2.2.Izmantotā aparatūra un piederumi	28
2.3.Informācija par paraugu ievākšanas teritorijām	29
2.4.Melleņu un meža augsnes paraugu izvēle	30
2.5. Melleņu (<i>Vaccinium myrtillus L.</i>) un meža augsnes paraugu sagatavošana analīžu veikšanai	31
2.6.Ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšana mellenēs (<i>Vaccinium myrtillus L.</i>) un meža augsnē, izmantojot ICP-MS.	32
2.7. Augsnes reakcijas pH noteikšana	33
3.REZULTĀTI UN IZVERTĒJUMS.....	34
3.1. Koksnes pelnu ietekme uz meža augsnes pH reakcijas izmaiņām.....	34
3.2. Koksnes pelnu ietekme uz ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs (<i>Vaccinium myrtillus L.</i>)	35
3.3. Mikro- un retzemju elementu pārnese faktoru (PF) vērtības mellenēs (<i>Vaccinium myrtillus L.</i>)	46
SECINĀJUMI	49
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	50
PIELIKUMI.....	58

IEVADS

Kā viens no galvenajiem Meža politikas mērķiem Latvijā ir saglabāt un palielināt meža zemju platību. Pēc meža izciršanas augsnē samazinās barības vielu rezerves un tās buferspēja, līdz ar to augsne kļūst skābāka un pasliktinās augšanas apstākļi. Augsnes paskābināšanās, palielina daudzu ķīmisko elementu savienojumu šķīdību, kā rezultātā notiek šo savienojumu ieskalošanās dziļākajos augsnes slāņos un ūdenskrātuvēs. Kā viens no līdzekļiem, kas spēj atjaunot meža ekosistēmu, nodrošinot to ar nepieciešamām barības vielām un samazinot augsnes skābumu, ir koksnes pelnu izmantošana mēslošanas nolūkos [1].

Koksnes pelni tā ir biomasa, ko iegūst termiskās apstrādes procesa laikā, sadedzinot koksni vai tā izstrādājumus. Pelnus var izmantot kā kaļķošanas materiālu un kā mēslojumu, kas ļauj vienlaikus atrisināt divas svarīgas problēmas:

- nodrošina koksnes pelnu lietderīgu izmantošanu un utilizēšanu no rūpnīcas zonām;
- uzlabo koku augšanas apstākļus mežā [2].

Tā kā koksnes pelni ir izdevīga biomasa mēslošanas nolūkos, tai ir arī savi trūkumi. Ir veikti pētījumi par kadmija un citu smago metālisko elementu saturu koksnes pelnos, kas var negatīvi ietekmēt meža ekosistēmu, piemēram, izraisot toksicitāti augos un to augļos [3].

Pēdējos gados pētījumi par retzemju elementu saturu augos un augsnē ir kļuvuši aktuāli. Vairākos pētījumos aprakstīts, ka retzemju elementi var uzlabot augu augšanas apstākļus, savukārt citos pētījumos to nozīmi apstrīd [4]. Koksnes pelni arī var saturēt retzemju elementus, tāpēc pētījuma ietvaros bija svarīgi izvērtēt tā saturu meža augsnē un mellenēs.

Darba mērķis – izvērtēt koksnes pelnu ietekmi uz ķīmisko elementu saturu priežu sila meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*).

Darba uzdevumi:

1. Veikt zinātniskās literatūras teorētisko analīzi par koksnes pelniem, tā ietekmi un nozīmi meža mēslošanas nolūkos, kā arī apkopot informāciju par paraugu sagatavošanu un ķīmisko elementu noteikšanas metodēm;
2. Ievākt melleņu (ogu, lapu, stublāju un stādu sakņu) un augsnes paraugus ar koksnes pelniem mēslotajos/nemēslotajos meža parauglaukumos;
3. Veikt melleņu un augsnes paraugu slapjo mineralizāciju slēgtajā mikroviļņu enerģijas sistēmā un kvantificēt ķīmisko elementu saturu ar ICP-MS analīzes metodi;
4. Noteikt augsnes reakcijas pH apmaiņas skābumu KCl izvilkumos;
5. Veikt iegūto rezultātu statistisko apstrādi un izvērtēt mēslojuma ietekmi uz meža augsnes un melleņu ķīmisko sastāvu;

Par darba rezultātiem ziņots piecās konferencēs, tēzes publicētas tēžu krājumos:

1. Lazarenko, V.; Rudoviča, V.; Zvaigzne, Z. A.; Okmanis, M.; Bērtiņš, M. *The effect of the use of the wood ash on metallic elements content in the forest floor, soil, and blueberries (Vaccinium myrtillus)*. The 77th International Scientific Conference of The University of Latvia, Book of abstracts, Chemistry Section, p 38. 2019. Riga, Latvia. (skatīt 1.pielikums).
2. Lazarenko, V.; Rudoviča, V.; Zvaigzne, Z. A.; Okmanis, M. *The effect of the use of the wood ash on metallic elements content in the forest floor, soil, and blueberries (Vaccinium myrtillus)*. 62nd International Conference for Students of Physics and Natural sciences “Open Readings 2019”, Abstract Book, p 157. March 19-22. Vilnius, Lithuania. (skatīt 2.pielikums).
3. Lazarenko, V.; Rudoviča, V.; Vīksna, A.; Zvaigzne, Z. A.; Okmanis, M. *Use of wood ash in the forest soil and its effect on the concentration of metallic elements in soil and blueberries (Vaccinium myrtillus L.)*. Materials Science and Applied Chemistry 2019, Programme and Abstract Books, p 75. October 24. Riga, Latvia (skatīt 3.pielikums).
4. Lazarenko, V.; Rudoviča, V.; Vīksna, A.; Bērtiņš M.; Zvaigzne, Z. A.; Okmanis, M. *Use of wood ash in the forest and its effect on the micro- and rare earth element flow in blueberries (Vaccinium myrtillus L.)*. The 78th International Scientific Conference of The University of Latvia, Book of abstracts, Chemistry Section, p 29. 2019. Riga, Latvia. (skatīt 4.pielikums).
5. Lazarenko, V.; Rudoviča, V.; Vīksna, A.; Bērtiņš M.; Zvaigzne, Z. A.; Okmanis, M. *Use of wood ash in the forest and its effect on the chemical element flow in blueberries (Vaccinium myrtillus L.)*. 63rd International Conference for Students of Physics and Natural sciences “Open Readings 2020”, Abstract Book, p 159. March 17-20. Vilnius, Lithuania. (skatīts 5.pielikums).

Darba rezultāti apkopoti vienā zinātniskā rakstā un ir publicēts ziņojums:

1. Lazarenko, V.; Rudoviča, V.; Vīksna, A.; Zvaigzne, Z. A.; Okmanis, M. *Use of wood ash in the forest soil and its effect on the concentration of metallic elements in soil and blueberries (Vaccinium myrtillus L.)*. *Materials Science and Applied Chemistry*. **2020**, 850, 179-185. (skatīt 6.pielikums).
2. Lazarenko, V.; Rudoviča, V. *Koksnes pelnu izmantošanas ietekme uz smago metālu koncentrāciju zemsegā, augsnē un mellenēs (Vaccinium myrtillus)*. Ziņojums, Silava 2018. (skatīt 7.pielikums).

1.LITERATŪRAS APSKATS

1.1.Koksnes pelni

Koksnes pelni tie ir sava veida bioloģiskie atlikumi, ko iegūst koksnes un to izstrādājumu (šķeldu, skaidu u.c.) sadegšanas procesā. Tie ir bagāti ar makro- un mikroelementiem, taču tajos ir samēra mazs slāpekļa saturs. Koksnes sadedzināšanas procesā, rodas aptuveni 6-10 % pelnu no kopējās koksnes masas. Tā ķīmiskais sastāvs var būt ļoti dažāds, tas ir atkarīgs no kokmateriāla veida, kurš tiek dedzināts un no paša pārstrādes procesa veida [5].

Koksnes pelni ir pārstrādes produkts, kuru var izmantot, lai apgādātu meža augsni ar nepieciešamām barības vielām. Attīstoties intensīvai mežsaimniecībai, tiek pievērsta liela uzmanība koksnes pelniem ne tikai kā biomasai, ko var izmantot enerģētiskajām vajadzībām, bet arī kā barības vielu avotam [6].

Koksnes pelnu izmantošanai mežā kā mēslojumam ir sekojošas priekšrocības:

- Augsnes skābuma regulētājs – novērš augsnes paskābināšanos un palielina augsnes reakcijas pH vērtību;
- Apgādā augus un kokus ar tām nepieciešamām barības vielām;
- Augu aizsardzības līdzeklis, kas ir kaitēkļu un slimību ierobežotājs [7].

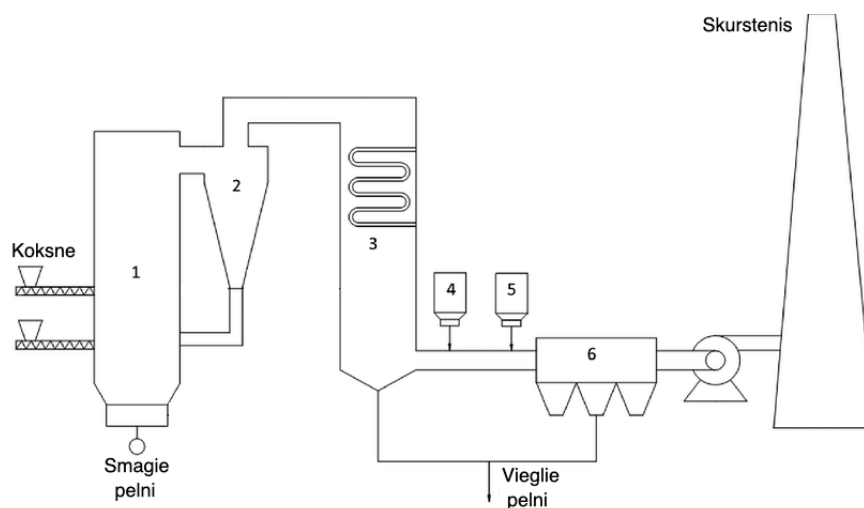
Koksnes pelni labvēlīgi ietekmē augsnes ekosistēmu. Pēc to uzbēršanas augsnē būtiski izmainās vairākas fizikāli-ķīmiskās īpašības – palielinās augsnes pH vērtību, augsnē esošā gruntsūdens elektrovadītspēja un tādu ķīmisko elementu kā K, S, B, Na, Ca, Mg, Si, Fe un P biopieejamība [8].

Izskatot informāciju no zinātniskiem rakstiem par koksnes pelnu izmantošanu augsnes mēslošanas nolūkos, var konstatēt, ka pirmie pētījumi par šo tēmu publicēti jau 1937.gadā Somijā. Somijas mežsaimniecības institūts veica pētījumu kūdras skābuma samazināšanai ar koksnes pelniem. Pētījumā tika konstatēts, ka koksnes pelni samazina augsnes skābumu līdz augu augšanai labvēlīgam līmenim (pH=5,0-7,5). Šis pētījums veicināja interesi sabiedrībā par koksnes pelnu izmantošanu meža augsnes mēslošanā. Kopš 1970. gada, Somijā un Norvēģijā ir komerciāli nopērkami koksnes pelni dārza augsnes mēslošanai [9]. Latvijā izsenis ir tradīcija, krāsni radušos pelnus sakrāt un izkliegt dārza augsnē.

Latvijā pētījumus par koksnes pelnu ietekmi uz meža ekosistēmu veic LVMI "Silava" darbinieki (Kalvis, 2011; Grundule 2018; Lazdiņš 2018; Bārdule 2020 u.c.). Sadarbojoties ar šiem pētniekiem mēs varam augsnes un augu paraugos noteikt un izvērtēt ķīmisko elementu saturu (makro-, mikro- un retzemju elementi). Kā arī pateicoties analītisko metožu iespējām, šobrīd iespējams izmērīt vairāku ķīmisko elementu koncentrācijas šķīdumos īsa laikā.

1.2.Koksnes pelnu iegūšanas process

Dedzinot koksni, tā pārstrādāšanas procesā iegūst divas dažādas pelnu frakcijas: smagie pelni un viegie pelni. Viens no koksnes pelnu iegūšanas procesiem ir attēlots 1.1.attēlā. Sadedzināšanas jeb pārstrādes procesa laikā, koksne tiek izmantota kā degviela, lai ražotu enerģiju, kuru izmanto rūpnīcu industrijā [10].



1.1.att. Koksnes pelnu iegūšanas process: 1 – sadegšanas katls/kamera, 2 – ciklons (nosūcējs), 3 – siltummainis, 4 – kaļķa katls, 5 – aktīvās ogles katls, 6 – maisa filtrs [10]

Smagie pelni. Tie ir rupjo daļiņu frakcijas pelni (skatīt 1.2.a.attēlu) ar izmēru, no 0,3 līdz 4 mm. Tos iegūst sadegšanas katla dibenā uzreiz pēc koksnes sadedzināšanas. Šī pelnu frakcija satur piemaisījumus jeb svešķermeņus (akmeņi, smiltis u.c.) [11].

Viegie pelni. Tā ir pelnu frakcija (skatīt 1.2.b.attēlu), ko iegūst ar gāzes plūsmu, atdalot sīkas pelnu daļiņas prom no sadegšanas kameras. Tā ir smalkāka frakcija, kurā pelnu daļiņu izmērs var sasniegt tikai dažus mikrometrus (15-250 μm). Viegie pelni vairs nesatur piemaisījums (akmeņi, smiltis u.c.), bet satur tikai neorganiskos savienojumus un nelielu daļu organisko savienojumu (nesadedzinātais ogleklis) [12].



a

b

1.2.att. Koksnes pelni: a – smagie pelni, b – viegie pelni [12]

1.1.tabulā ir apkopots koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs un tā saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) uz sauso masu. Dati iegūti ar XRF (rentgenfluorescences spektroskopijas) analīzes metodi Dānijas tehniskajā universitātē (DTU) un ir salīdzināti ar Vassilev, S.V. u.c. pētījuma rezultātiem [13, 14].

Apskatot tabulā ievietotos datus, redzams, ka tādi elementi kā Ca, K un Mg, kuri ir nepieciešami augiem kā barības vielas, koksnes pelnos ir ļoti lielā daudzumā. Taču ir jāpievērš arī uzmanība tādiem elementiem kā Pb, Cd un As, kuru nokļūšana augos lielos daudzumos var izraisīt augu toksicitāti.

1.1.tabula

Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Elements	SP ^a (DTU) [13]	SP ^a (Vassilev, S.V. u.c) [14]	VP ^b (DTU) [13]	VP ^b (Vassilev, S.V. u.c) [14]
Al	14300-16800	16000-40000	5920-11800	3600-26000
Ca	79400-162000	130000-300000	104000-263000	120000-280000
Cl	- ^c	<20-4700	- ^c	1600-11000
Cu	65-111	69-200	106-161	140-1100
Fe	4610-6570	6000-26000	2880-8300	1500-5900
K	35800-73200	40000-47000	40000-60300	50000-160000
Mg	16500-20600	12000-44000	19300-32900	20000-50000
Mn	3470-19400	4300-27000	4030-30300	1300-23000
N	<400	150	1670-4930	~2500
Na	8260-11100	4800-12000	6650-12000	3100-8300
P	8310-17400	7200-22000	10200-22900	4300-20000
S	153-967	270-2400	4210-15300	5800-25000
Si	208000-273000	120000-250000	45600-124000	11000-82000
Zn	74-234	65-950	446-1120	370-40000
As	2,17-3,19	1,4	2,68-6,98	1,5-24
Ba	802-1400	1600-2200	797-2320	1200-4300
Cd	0,158-0,467	<0,2-5,7	7,3-16,3	5,1-34
Co	4,2-7,3	6,7-11	5,79-9,69	11-13
Cr	24,9-69,5	64-320	26,5-62,7	32-290
Hg	- ^c	0,02-0,10	- ^c	1,7
Mo	1,06-1,84	1-6	1,46-4,29	8,6-16
Ni	27,4-38,6	22-200	22,4-52,5	19-74
Pb	4,7-79,8	4-40	10,7-73,8	25-470
Sb	0,50-3,48	0,9-2	0,72-5,83	1,7-3,0
Se	<16,7	<0,1	<16,7	0,2-2,1
Sn	<0,3-1,0	11-16	1,21-6,37	15-22
Sr	466-784	610-710	578-1240	750-2100
Tl	0,172-0,473	- ^c	0,98-1,98	- ^c
V	10,4-18,4	26-64	6,8-18,2	5-43

^aSmagie pelni

^bVieglie pelni

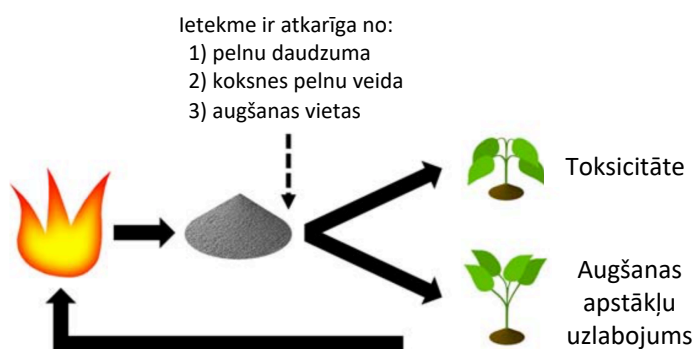
^cZem metodes noteikšanas robežas

1.3.Koksnes pelnu nozīme meža mēslošanas nolūkos

Koksnes pelnus izmanto mežsaimniecības jomā, piemēram, pēc meža atjaunošanas darbiem, vai pēc meža izciršanas. Koksnes pelni kā biomasu, kas var veicināt un uzlabot koku augšanas apstākļus.

Mēslošanas laikā, koksnes pelnus iestrādā augsnes virskārtā. Koksnes pelni novērš augsnes paskābināšanos un bagātina to ar nepieciešamajām barības vielām (K, Ca, Na, S, Mg). Neskatoties uz to, ka koksnes pelniem ir svarīga nozīme mēslošanas jomā, tomēr tā izmantošana ir nedaudz ierobežota. Ir veikti pētījumi, kas liecina par to, ka koksnes pelni satur paaugstinātu smago metālisko elementu saturu, kas var izraisīt augu toksicitāti, taču citu pētījumu rezultāti to noliedz (skatīt 1.3.attēlu) [15].

Salīdzinot ar citām bioloģiskām atliekām kā, piemēram, ar notekūdeņu dūņām, toksisko elementu saturs koksnes pelnos ir mazākās koncentrācijās. Koksnes pelnu izmantošana var veicināt atsevišķu metālisko elementu imobilizāciju augsnē, pelniem ir palielināts sārmainums ($pH_{H_2O}=9,0-13,5$), kuru iestrādājot augsnē, augsne kļūst bāziskāka. Koksnes pelnos metāliskie elementi ir dažādu savienojumu veidā, piemēram, oksīdu, hidroksīdu un karbonātu [16].



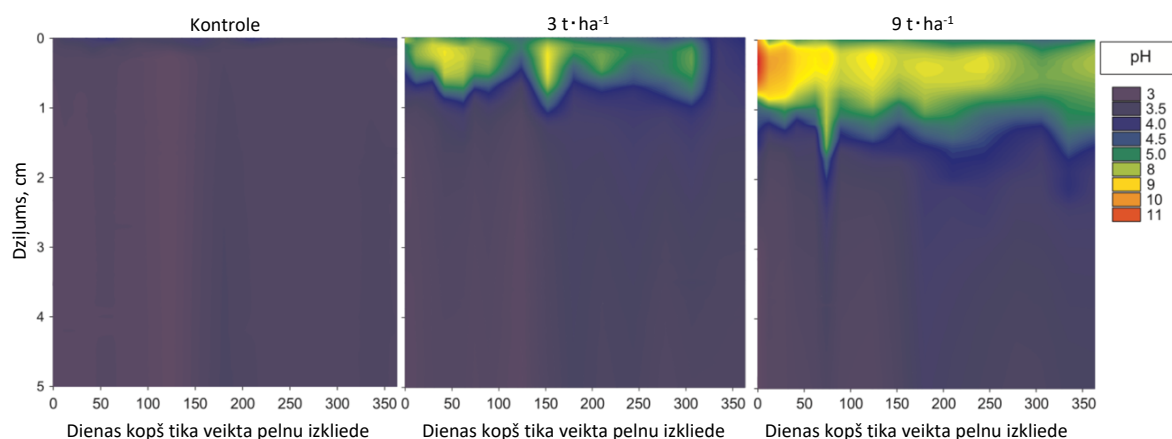
1.3.att. Koksnes pelnu ietekme uz augu augšanu [15]

Augsnes pH ietekme. Pēc koksnes pelnu uzbēršanas augsnes virskārtā, pelnos esošie oksīdi un karbonāti sāk reaģēt ar oglekļa(IV) oksīdu veidojot bikarbonātus. Bikarbonātiem reaģējot ar alumīnija joniem, jonapmaiņas kompleksa rezultātā augsnē atbrīvojas protoni, kas apmainās ar kalcija joniem. Augsnes pH kļūst bāziskāks, jo mazāk protonu piedalās apmaiņas reakcijā, tādējādi alumīnija jonu hidrolīze samazinās [17]. Šis pH vērtību izmaiņas pēc koksnes pelnu uzbēršanas var ietekmēt daudzus augsnes auglību veicinošos faktorus, kas ir svarīgi meža ekosistēmas funkcionēšanai:

- Skābuma samazināšanās augsnē līdz augu augšanas labvēlīgam līmenim ($pH=5,0-7,5$) var palielināt barības vielu pieejamību augsnē un samazināt alumīnija toksicitātes risku, ierobežojot šī savienojuma mobilitāti augsnē [18];

- Augsnes pH izmaiņas var ietekmēt smago metālisko elementu sorbcijas spējas augsnē, jo lielāka ir sorbcijas spēja, jo augsnes pH vērtība būs mazāk bāziskāka. Tā kā koksnes pelni var saturēt samērā lielu smago metālisko elementu un citu mikroelementu saturu, ir svarīgi izprast pH izmaiņas augsnes sistēmā;
- Augsnes pH ir svarīgs faktors baktēriju attīstībā un to funkcionēšanā augsnē. Ir zināms, ka ļoti straujas augsnes pH izmaiņas nelabvēlīgi ietekmē baktēriju attīstību, kā rezultātā tās var iet bojā, jo nevar strauji adaptēties jauniem izdzīvošanas apstākļiem [19].

Dānijā zinātnieki ir veikuši pētījumus, meklējot likumsakarības kā mainās augsnes pH vērtības dažādos augsnes dziļumos, dažādos laika intervālos pēc koksnes pelnu izkliedes mežā. Dotajā pētījumā tika izvēlēti trīs parauglaukumi mežā, kur, papildus kontroles laukumam, divi tika mēsloti ar koksnes pelniem attiecīgi: 3 un 9 t·ha⁻¹. Tika izmantots vieglo un smago pelnu maisījums, sadedzinot koksnes šķeldu. Mērījumi augsnes pH vērtību noteikšanai tika veikti 0-5 cm dziļumā kalendārā gada griezumā. pH vērtību izmaiņu raksturošanai gada laikā, tika konstruētas kontūrkartes (skatīt 1.4.attēlu).



1.4.att. Kontūrkartes pH izmaiņu raksturošanai augsnē kalendārā gada griezumā [20]

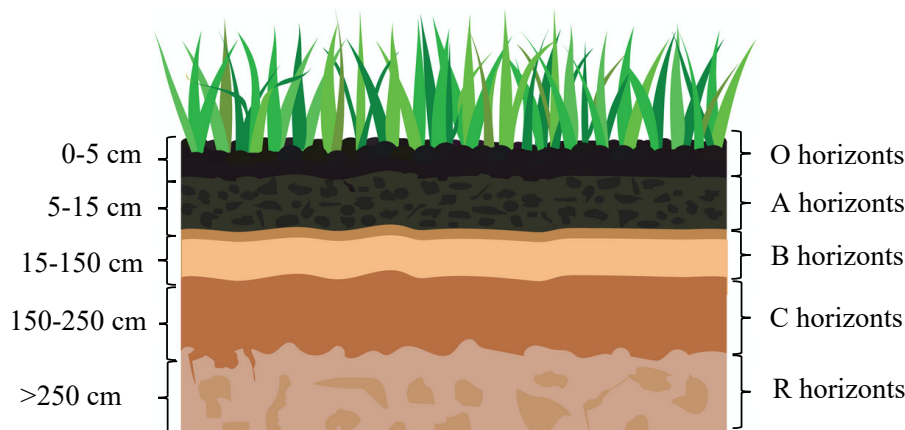
Iegūtie pētījuma rezultāti parādīja, ka būtiskas pH izmaiņas ir novērojamas tikai augsnes virskārtā (0-1,5 cm). Palielinot koksnes pelnu devu no 3 līdz 9 t·ha⁻¹, augsnes pH kļūst vēl bāziskāks par ~0,5-3 pH vienībām, un tās izmaiņas paliek nemainīgas ilgākā laika periodā [20].

Barības vielas. Koksnes pelnu izmantošana mežsaimniecībā dot iespēju atgūt augam nepieciešamās barības vielas (Ca, K, Mg, P, S, u.c.). Ca, Mg un K saturs pelnos ir karbonātu veidā. Koksnes sadegšanas procesā, pie augstas temperatūras organiskie savienojumi pārorgļojas, bet esošie katjoni reaģē, veidojot oksīdu savienojumus. Koksnes pelnu uzturvielu saturs ir atkarīgs no koksnes veida, no paša koka sugas, degšanas un glabāšanas apstākļiem, kā arī augsnes veida un klimata pie kādiem tiek veikta mēslošana [21].

1.4. Augsne, tā nozīme, klasifikācija un reakcijas pH

Augsne ir polidispersā sistēma, kas atrodas Zemes augšējā kārtā un kalpo kā dabiskā barotne augiem. To veido minerālu sastāvdaļas, organiskās vielas (humusvielas), dzīvie organismi (baktērijas), gaiss un ūdens, kas nodrošina augsnes auglību [22].

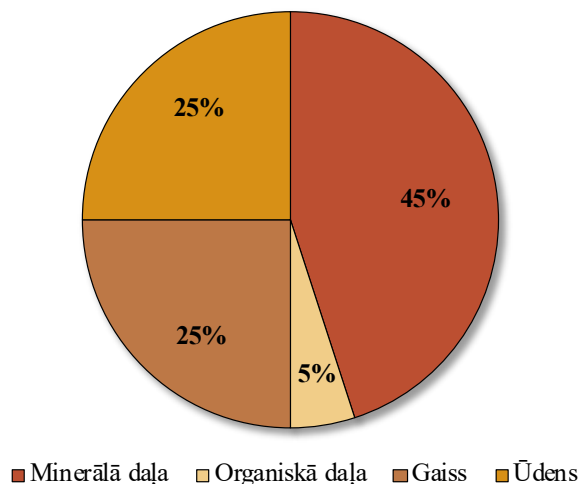
Augsnes kārtu var sadalīt 5 slāņos jeb horizontos (skatīt 1.5.attēlu). O, A un B horizontos augi caur saknēm uzņem sev nepieciešamas barības vielas [23]. Šajos horizontos augsnes veidošanos ietekmē klimats, topogrāfiskie apstākļi un iežu sastāvs [24].



1.5.att. Augsnes kārtu shematisks attēlojums [25]

Ķīmiskie elementi dažādu savienojumu veidā dabiski satopami augsnē, tie veidojas ģeoloģisko procesu ietekmē, vistiešāk, erozijas (eluvialo) procesu ietekmē. Daudzu ķīmisko elementu saturs augsnē var tikt palielināts arī intensīvas lauksamniecības vai rūpnīcu darbības laikā [26].

Augsni var raksturot pēc tekstūras, struktūras, krāsas, ķīmiskā, fizikāla un bioloģiskā sastāva. Kaut gan katram augsnes veidam piemīt mainīgs sastāvs, tad katrai no tām ir četras galvenās sastāvdaļas jeb frakcijas: minerāli, organiskās vielas, ūdens un gaiss (skatīt 1.6.attēlu) [27].



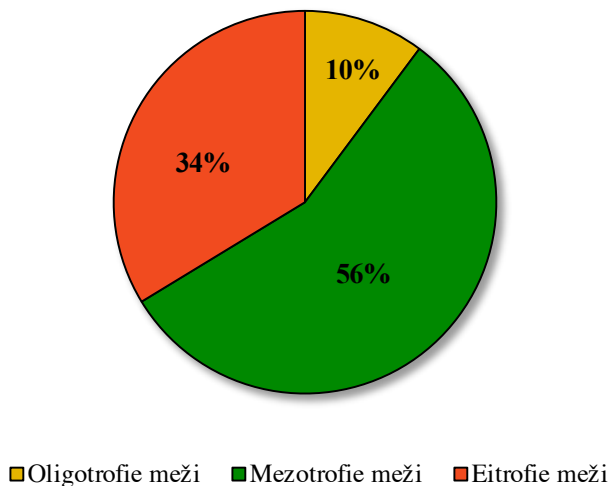
1.6.att. Augsnes frakciju procentuālais sastāvdaļu sastāvs

Augsnes auglība ir viena no svarīgākajām augsnes īpašībām, kas spēj nodrošināt augus ar nepieciešamām barības vielām un ūdeni. Augsne apgāda augu saknes (sīksakņu sakneņus) ar gaisu, siltumu, kā arī nodrošina fizikāli – ķīmisko labvēlīgo vidi normālai augšanai un attīstībai.

Augsne spēj saistīt ķīmiskās vielas jonu vai molekulārā veidā, kā arī ar baktēriju palīdzību pārveidot organiskās vielas augiem vēlamā formā. Neliela daļa barības vielu augsnē atrodas augsnes šķīdumā jeb ūdenī, taču lielākā daļa ir piesaistīta augsnes koloidālo daļiņu virsmai, bet daļa atrodas augsnē nešķīstošu savienojumu veidā. Barības elementu pieejamību augiem var ietekmēt augsnes fizikālas, ķīmiskās un bioloģiskās īpašības [28].

Raimonda Kasparinska promocijas darbā par Latvijas meža augšņu daudzveidību un to ietekmējošiem faktoriem tiek minēts, ka Latvijā trūkst korektas informācijas par meža augsnēm un to izplatības likumsakarībām, veidošanās procesiem un īpašībām. Latvijā līdz šim nozīmīgākos pētījumus par zemju apmežošanu un to ietekmējošām īpašībām un augsnes klasifikāciju ir veikuši LVMI “Silava” pētnieki (Kāposts, 2006; Daugaviete, 2004; Bārdule, Lazdiņš, 2010 u.c.), kas ir noskaidrojuši arī Latvijas izplatītākām koku sugām vispiemērotākos augšanas apstākļus [29].

Latvijā, mežus pēc augsnes barības vielu pieejamības var iedalīt trijās grupās: oligotrofie meži (nabadzīga augsne), mezotrofie meži (augsnē ar mērenu barības vielu rezervēm) un eitrofie meži (bagāta augsne) (skatīt 1.7.attēlu) [30].



1.7.att. Latvijas mežu iedalījums pēc augsnes barības vielu pieejamības

Augsnes ķīmiskais sastāvs. Augsne tiek uzskatīta kā galvenais barības vielu avots augiem. Tā kā augsne apgāda augus ar nepieciešamām barības vielām, tad to avoti var būt sekojoši: organismi, kas sadalās baktēriju klātbūtnē (dzīvnieki un augi), pati minerālaugsne un ieži, kā arī cilvēku pievienotie mēslošanas līdzekļi, pesticīdi u.c. [31]. Augsne satur daudzus ķīmiskos elementus, kas spēj nodrošināt augu augšanu, taču tā sastāvā var būt arī toksiskie elementi, kas lielos daudzumos var akumulēties augos un izraisīt to toksicitāti [32].

Augsnes reakcijas pH. Augsnes reakcijas pH ir svarīgs ķīmisko īpašību faktors, kas ietekmē katjonu un anjonu apmaiņas spēju. Tas būtiski ietekmē barības vielu uzņemšanu un biopieejamību. Augsne, kura tiek apsaimniekota un izmantota kultūraugu audzēšanai, tā reakcijas pH vērtībā ir diapazonā (pH=5,5-7,0). Taču pārāk zemas vai augstas augsnes reakcijas pH vērtības var negatīvi ietekmēt augu attīstību un izraisīt to toksicitāti. Ja augsnes pH ir ļoti skābs vai arī bāzisks ($5,5 < \text{pH} < 8,0$), var rasties barības vielu trūkums, pieaug toksisko elementu uzņemšana augos (alumīnija savienojumi) un rodas nelīdzsvarotība starp nepieciešamajām barības vielām un toksiskiem savienojumiem. Kā viens no līdzekļiem, kurš var regulēt augsnes reakcijas pH ir mēslojuma izmantošana, piemēram, pH līmeņa palielināšanai izmanto koksnes pelnus vai kaļķakmeni, taču tā samazināšanai amonija nitrātu [33].

1.5. Mellenes un to daudzveidība

Daudzu Ziemeļeiropas valstu pārtikas rūpniecībā ogām, īpaši mellenēm, ir ievērojama ekonomiska nozīme tautsaimniecībā. Mellenes (*Vaccinium myrtillus L.*) ir sastopamas gandrīz visā Eiropā. To sastāvā ir bioloģiski aktīvās vielas, piemēram, antocianīns. Antocianīnu saturs mellenēs ir gan mizā, gan ogas mīkstumā, turklāt to saturs ir salīdzināmi augstāks nekā citām savvaļas ogām. Mellenēs antocianīnu saturs ir ap 90 % no kopējā fenolu grupas savienojumu satura, paši pazīstamākie antocianīni ir – malvidīns, cianidīns, delfīnidīns un petunidīns [34].

Ģints (*Vaccinium*) augi satur vairāk nekā 200 dažādu morfoloģisko sugu, kuras ir sastopamas tikai aukstajā, mērenajā un tropiskajā klimatā visā pasaulē, taču nav sastopamas Austrālijā, Antarktīdā un lielākajā daļā Āfrikas kontinenta. Tomēr mūsdienās Austrālijā un Jaunzēlandē ir īpaši nozīmīga Ziemeļamerikas izcelsmes melleņu kultivēta audzēšana.

Mellenes (*Vaccinium myrtillus L.*) ir lapkoku krūms, kas ir sastopams lielākoties boreālos mežos, kuros dominē egļu suga (*Picea abies (L.) H.Karst.*). Dotā melleņu suga ir sastopama gandrīz visā Eiropā, sasniedzot arī Ziemeļāzijas daļu (skatīt 1.8.attēlu). Taču Ziemeļamerikas apgabalā dominējošā melleņu suga ir (*Vaccinium myrtillus ssp.oreophilus*). Abas šīs sugas pēc izskata ir līdzīgas, taču (*Vaccinium myrtillus L.*) ir diploīdas, kam ir divkāršs hromosomu komplekts, bet (*Vaccinium myrtillus ssp.oreophilus*) ir poliploīdas ar lielāku hromosomu komplektu [35].

Mellenes tiek uzskatītas par kalcifūģiem augiem, kuras pielāgotas skābas augsnes augšanas apstākļiem [36]. Ir noskaidrots, ka teritorijās, kur aug mellenes, augsnes pH vērtības ir diapazonā no 3,0 līdz 5,5 [37].

Mellenes var kalpot meža ekosistēmas monitoringam. Tās ir samēra jutīgas uz apkārtējām vides apstākļu maiņām – temperatūru, mitrumu un mēslojumu. Šīs izmaiņas izpaužas gan melleņu sugu daudzveidībā meža ekosistēmā, gan arī makro- un mikro- elementu ķīmiskajā saturā ogās un citās augu daļās (lapās, stublājos) [38].



1.8.att. (*Vaccinium myrtillus L.*) un (*Vaccinium myrtillus ssp.oreophilus*) izplatība uz Zemes [35]

1.2.tabulā ir apkopots ķīmisko elementu saturs mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*) uz sauso masu, tās tika ievāktas Zviedrijas ziemeļu daļā. Paraugi tika ievākti četrās dažādās vietās un ķīmisko elementu saturs tika noteikts izmantojot ICP-MS analīzes metodi.

No iegūtiem datiem, tika secināts, ka melleņu ogas, kuras ievāktas raktuvju zonā (Zona-4), ir augsts arsēna un svina saturs, par ~20-60 % lielāks nekā pārējās teritorijās. Savukārt 500 m attālumā no šosejas (Zona-1) ogās ir novērojams viszemākais kadmija un svina saturs. No iegūtiem rezultātiem pētnieki secināja, ka melleņu virspuse tiek pārklāta ar gaisā esošajām aerosola daļiņām (putekļiem), kuras rodas intensīvas satiksmes un raktuvju darbības dēļ. Pētnieki iesaka ogas skalot ar ūdeni, samazinot šo elementu kopējo koncentrāciju [39].

Ķīmisko elementu saturs melleņu ogās (*Vaccinium myrtillus L.*) (mg·kg⁻¹)

Elements	Zona-1 ^a	Zona-2 ^b	Zona-3 ^c	Zona-4 ^d
Cr	0,0028-0,0029	0,0067-0,0096	0,0084-0,0093	0,019-0,028
Mn	8000-30000	13000-25000	9000-26000	6000-10000
Ni	0,010-0,034	0,019-0,050	0,013-0,049	0,034-0,061
Cu	0,110-0,520	0,050-0,550	0,060-0,550	0,230-0,770
Zn	300-1200	200-1100	400-1300	0800-2100
As	0,0048-0,0061	0,0025-0,0037	0,0009-0,0025	0,100-0,160
Sr	0,080-0,140	0,030-0,140	0,050-0,120	0,060-0,140
Cd	0,00017-0,00063	0,00048-0,00086	0,0005-0,0012	0,0048-0,0053
Pb	0,0006-0,0034	0,0033-0,0042	0,0059-0,0098	0,100-0,130

^aAtrodas ~500 m attālumā no šosejas

^bAtrodas Lūleo apdzīvotā teritorijā ~100 m attālumā no ceļa

^cAtrodas ~5-50 m no automaģistrāles E4

^dKristinberga un Rakkejaura raktuves

1.6.Ķīmisko elementu savienojumu plūsma augos

Nepieciešamās barības vielas augos no augsnes uz augu saknēm (sīksaknēm) tiek uzņemtas plūsmas un difūzijas ceļā. Barības vielu daudzums, ko saknes spēj uzņemt vai absorbēt, ir atkarīgs no sakņu daudzuma, barības vielu koncentrācijas augsnē un sakņu morfoloģijas. Tā kā barības vielas augos tiek uzņemtas jonu formā, tad tās uzsūcas caur sīksaknēm kopā ar ūdeni un ar tā plūsmu nokļūst uz pārējam augu daļām. Faktori, kas ietekmē ķīmisko elementu plūsmu augos ir pati augu suga, klimats un augsnes mitruma līmenis [40].

Augi var kalpot kā labs bioindikators ķīmisko elementu piesārņojuma noteikšanai, jo tie spēj uzkārties visās augu daļās. Ķīmisko elementu savienojumu uzņemšanu augos caur saknēm ietekmē ne tikai augsnes ģeoķīmiskās īpašības, bet arī paša auga spēja selektīvi uzkrāt šos elementus. Tā sauktajiem hiperakumulējošiem augiem piemīt spēja uzkrāt smagos metāliskos elementus lielās koncentrācijās devās, neizraisot toksicitāti augā. Kā piemērus var minēt – kviešus (*Triticum aestivum*), saulespuķes (*Helianthus annuus*) un pļavas āboliņu (*Trifolium pratense*) [41].

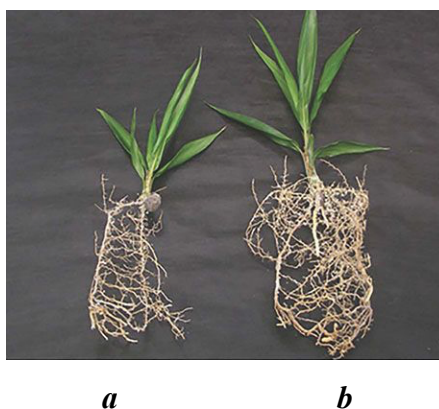
Barības vielu pārvietošanos no augsnes uz augu saknēm un pārējām augu daļām nosaka trīs parametri:

- **Masas plūsma** – Barības vielu šķīstošā frakcija, kas atrodas augsnes šķīdumā jeb ūdenī un, kura tiek uzņemta caur auga saknēm. Kā piemēru var minēt makroelementu savienojumus, kuri augos nokļūst caur sīksaknēm uz pārējām augu daļām.
- **Difūzija** – Saknēm augot, tās patērē barības vielas tieši sakņu profila dziļuma tuvumā jeb ap sakņu sistēmu un sakņu matiņiem. Kad barības vielu koncentrācija samazinās ap sakņu sistēmu, tad šīs vielas no zemākiem slāņiem pārvietojās uz zemām koncentrācijas zonām. Pārvietošanos nodrošina augsnes šķīdums jeb ūdens. Neskatoties uz to, ka makroelementi augos nokļūst masas plūsmas ietekmē, taču to deficīta gadījumā tie var pārvietoties arī difūzijas ceļā.
- **Mobilitāte** – Īpašība, kas nosaka barības vielu pārvietošanos augu sistēmā. Pārsvara visas barības vielas salīdzinoši viegli pārvietojas no saknēm uz pārējām augu daļām. Dažām barības vielām kā N, P, S, K, Mg, Cu un Zn savienojumiem piemīt spēja augos pārvietoties no vecām augu daļām uz jaunām. Šāda parādība vairāk ir novērojama barības vielu deficīta laikā [42].

Saknes ir viens no svarīgākajiem augu orgāniem, kas nodrošina ūdens un barības vielu piegādi no augsnes uz augiem, kā arī nodrošina tā mehānisko atbalstu. Barības vielu uzņemšana saknēs ir atkarīga gan no sakņu spējas absorbēt šīs vielas, gan no augu morfoloģijas. Barības vielas un ūdens tiek uzņemtas caur sīksaknēm. Ir pierādīts, ka sīksaknēm piemīt spēja aizturēt mikroelementus, it sevišķi toksiskos elementus, tādējādi mazinot toksicitāti augā [43].

Vairākos pētījumos ir minēts, ka barības vielas caur saknēm var uzsūkties divējādi: caur sīksaknēm un caur mikorizām. Mikorizas ir sēnes, kas uzturas augu sakņu zonā. Starp mikorizu un augiem veidojas simbiotiski-mutuāiskas attiecības, kā rezultātā mikorizu daļa augiem veicina nepieciešamo barības vielu un ūdens piegādi, taču augi tām piegādā oglekli [44].

Augu saknes ieņem mazāku platību augsnē, taču mikorizas krietni lielāku, tādējādi nodrošina pilnvērtīgāku barības vielu uzsūkšanos augos (skatīt 1.9.attēlu). Uzņemot barības vielas tieši caur sīksaknēm, to uzņemšana ir ierobežota arī dēļ zemas barības vielu mobilitātes augsnē, taču mikorizas to veicina. Piemēram, fosfora uzņemšana fosfātjonu veidā caur sīksaknēm ir stipri ierobežota lēnā difūzijas ātruma dēļ, taču mikorizas spēj nodrošināt tā pilnvērtīgāku uzņemšanu augos, tāpēc ka tie ieņem lielāku platību augsnē [45].



1.9.att. Eļļas palma (*Elaeis guineensis*): a – bez mikorizām, b – ar mikorizām [46]

Barības vielu pārvešanu no saknēm uz pārējām augu daļām veicina šūnu membrānas proteīni, kur šīs vielas jonu veidā pārvieto uz pārējām augu daļām. Par galveno barības vielu un ūdens transportu augos kalpo stublājs, kurš apgāda ar nepieciešamām vielām, lapas, ogas, un citus augu dzinumus. Melleņu saknēm arī ir mikorizas, kuras pieder pie erikoīdu tipa [47].

Augu lapām piemīt spēja arī uzņemt nepieciešamas barības vielas no atmosfēras gaisa vai arī caur nokrišņiem, taču barības vielu un ūdens uzņemšana augos galvenokārt notiek caur saknēm [48]. Galvenā augu lapu funkcija ir fotosintēzes process, kā rezultātā tie absorbē CO₂ un izdala O₂ dienas laikā. Tomēr augu lapas var uzņemt arī citas gāzes no atmosfēras, kā piemēram, O₃, SO₂, NO₂, un NH₃ [49].

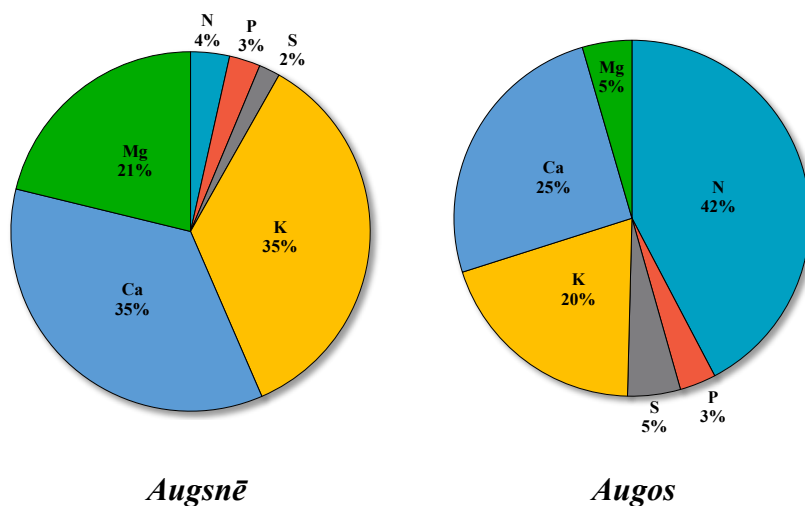
Pārneses faktors (PF). Tā ir ķīmisko elementu koncentrācijas attiecība starp augu un augsni, vai arī starp auga dzinumu un saknēm. Ja PF>1, tas norāda uz efektīvu ķīmisko elementu savienojumu pārvietošanos no augsnes uz saknēm vai arī no saknēm uz dzinumiem. Taču, ja PF<1, tas nozīmē, ka dotais ķīmiskā elementa savienojums visvairāk tiek uzkrāts augsnē vai saknēs un tā tālāka pārvietošanās uz augu tiek aizturēta [50]. Ir vairāki zinātniskie pētījumi, kur pārneses faktoru vērtības izmanto, lai izvērtētu smago metālisko elementu vai arī radionuklīdu plūsmu no augsnes uz augiem [51].

$$PF = \frac{W_{saknes}}{W_{augzne}} = \frac{W_{dzinums}}{W_{saknes}}, \text{ kur } W \text{ ir ķīmisko elementu masas daļa paraugā}$$

Vienā no pētījumiem, tika analizētas Cd un Ba pārneses faktoru vērtības graudaugos (zirņiem (*Pisum sativum L.*), sojas pupās (*Glycine max L.*) un kukurūzā (*Zea mays L.*). No iegūtiem rezultātiem tika secināts, ka Cd un Ba saturs graudaugu produktos samazinās sekojošā secībā: saknes > stublājs > lapas > auglis/grauds [52]. Līdzīgā tendence tika novērota arī citā pētījumā, kur pētīja smago metālisko elementu plūsmu kukurūzā (*Zea mays L.*), kartupeļos (*Solanum tuberosum L.*), tomātos (*Solanum lycopersicum L.*) [53].

1.7. Makro- un mikro- elementu sastāvs augsnē un augos

Makroelementi. Tiem ir svarīga loma augu augšanā un attīstībā. Makroelementi spēlē vitāli svarīgu lomu augu struktūras veidošanā, kā arī to augšanā. Pie makroelementiem tiek pieskaitāmi seši ķīmiskie elementi: N, P, S, K, Ca un Mg. 1.10.attēlā diagrammas veidā ir attēlota makroelementu pieejamība (%) augsnē un augos. Var redzēt, ka augsnē ir lielāks K, Ca un Mg saturs, taču mazāks N, P, S. Taču pašos augos no makroelementiem visvairāk ir N, jo dotais makroelements visvairāk tiek uzņemts caur gaisu, kur tā saturs sastāda aptuveni 78 %.



1.10.att. Makroelementu pieejamība (%) augsnē un augos

1.3.tabulā ir apkopota informācija par makroelementu saturu Zemes garozā, kā arī to sīkāks makroelementu sadalījums (primārie un sekundārie) un to uzņemšanas savienojumu formām augos [54].

1.3.tabula

Makroelementu vidējais saturs Zemes garozā ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) un tā jonu forma, ko uzņem augi

Makroelementi	Elements	Saturs Zemes garozā, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Jonu forma, ko uzņem augi
Primārie	N	210	NO_3^- , NH_4^+
	P	655	HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-
	K	23200	K^+
Sekundārie	Ca	25600	Ca^{2+}
	Mg	15000	Mg^{2+}
	S	621	SO_4^{2-}

Mikroelementi. Vairākās zinātniskās publikācijās tiek minēts, lai augs varētu veselīgi augt un attīstīties, tad tam ir nepieciešami aptuveni 14 svarīgi minerālu elementi, kur 6 no tiem ir mikroelementi: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni un Zn. Ir grūti minēt precīzu mikroelementu skaitu, jo daudzi no mikroelementiem ir svarīgi augu attīstībai, taču daļa no tiem jau pie mazām

koncentrāciju devām var izraisīt to toksicitāti (Cd, As, Pb). Mikroelementi augos piedalās vairākos vielmaiņas procesos, tostarp primārajā un sekundārajā metabolismā, stiprina šūnu audus un nodrošina gēnu regulēšanu [55].

Toksicitātes pazīmes augā, kuras izraisa lielas ķīmisko elementu koncentrācijas tajā, varbūt sekojošas: samazinās fotosintēzes pigmentu daudzums, palielinās oksidatīvais stress, novērojama šūnu nāve, tādējādi izraisot dažādas augu slimības vai pat auga nokalšanu [56].

1.4.tabulā ir apkopota informācija par mikroelementu saturu Zemes garozā, un to uzņemšanas savienojumu formām augos [57].

1.4.tabula

Mikroelementu vidējais saturs zemes garozā ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) un tā jonu forma, ko uzņem augi

Elements	Saturs Zemes garozā, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Jonu forma, ko uzņem augi
B	17	H_3BO_3 , BO_3^-
Cu	28	Cu^{2+}
Fe	39200	Fe^{2+} , Fe^{3+}
Mn	775	Mn^{2+}
Ni	47	Ni^{2+}
Zn	67	Zn^{2+}

1.8.Retzemju elementu sastāvs augsnē un augos

Retzemju elementi (RE). To vidējais saturs Zemes garozā variē: $\sim 66 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Ce), $\sim 40 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Nd), $\sim 35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (La), $\sim 0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tm) un $<0,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Pm). Retzemju elementi iedalās trīs grupās (skatīt 1.5.tabulu).

1.5.tabula

Retzemju ķīmisko elementu iedalījums

Grupa	Skaidrojums
RE (retzemju elementi)	Pie dotās grupas pieder Y un La, kas nepieder pie lanktonoīdu grupas savienojumiem.
VRE (vieglie retzemju elementi)	Elementu grupa, kuru atommasa ir <153 (Ce, Pr, Nd, Sm un Eu).
SRE (smagie retzemju elementi)	Elementu grupa, kuru atommasa ir >153 (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

Tie ir sastopami dažādos minerālos, piemēram, fosfātu, karbonātu, fluorīdu un silikātu minerālos – pegmatītos, granītos un metamorfajos iežos, kā arī to dēdēšanas garozās (nogulumiežos).

Retzemju elementu saturs augsnes virskārtā var mainīties atkarībā no augsnes veida, laika apstākļiem, organisko vielu un dažādu minerālu satura. Jo bāziskāka augsne, jo retzemju elementu saturs augsnes virskārtā ir mazāks. Tas ir izskaidrojams ar šo ķīmisko elementu ieskalošanos dziļākajos augsnes slāņos. Parasti VRE saturs ir krietni lielāks nekā SRE augsnes virskārtā, līdzīgi kā Zemes garozā.

Vairākos pētījumos Ķīnā ir konstatēts, ka pat nelielas retzemju elementu koncentrācijas augsnē var veicināt vairāku augu kultūru augšanu un to produktivitāti. Ķīnā lauksaimniecībā izmanto speciālo mēslojumu, kas satur retzemju elementus, lai uzlabotu kultūraugu produktivitāti. Mēslojumu izsmidzina uz augiem, un to elementi ir šķīstošā formā (nitrātu, hlorīdu vai komplekso savienojumu veidā) [58]. Taču ir arī pretrunīgi pierādījumi un viedokļi par retzemju elementu nozīmi augā. Pēdējo 20 gadu laikā ir parādījusies daudz dažādas informācijas par retzemju elementu nozīmi un iespējamo bioloģisko lomu augsnē un augu sistēmās [59].

Retzemju elementu izplatība augos. Retzemju elementu saturs augos ir kopumā mazāks nekā augsnē un tā saturs dažādos augos variē.

Dažādās auga daļās retzemju elementu sadalījums atšķiras. Augu saknēs to saturs ir lielāks nekā pārējās auga daļās. Viena no Ķīnas pētījumiem, kur augsne tika mēslota ar VRE elementu saturošu mēslojumu, konstatēja, ka kukurūzu un pupu saknes spēj uzkrāt ~20-150 reizes lielāku La koncentrāciju nekā to stublāji. Pētījumi parāda, ka retzemju elementu saturs augos samazinās sekojošā secībā: saknes > lapas > stublājs > graudi, augļi vai ogas, tas ir atkarīgs no augu kultūras.

Novecojušos lapu audos, vīšanas procesa laikā bieži vien palielinās makroelementu saturs. Līdzīga tendence ir novērojama arī vairāku retzemju elementu (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) gadījumā. Piemēram, egļu (*Picea abies*) skuju vecumam un retzemju elementu saturam tajās, tika novērota lineāra sakarība [60].

Sakarības starp augiem un augsni. Pārnesanas faktori no augsnes uz dažādām augu daļām sniedz zināmu priekšstatu par augsnē esošo elementu pieejamību augam. Vācijā veiktajā pētījumā, mežā augošos augos un kokos (bērzos (*Betula*), priedēs (*Pinus sylvestris*), dzegužlinos (*Polytrichum*) u.c.) pārneses faktors no augsnes uz augu vai koku bija relatīvi zems ~0,04-0,09. Zviedrijā veiktajā pētījumā, kurā tika analizēta šo elementu savienojumu uzņemšana no podzola augsnes uz spīdīgo staivāni (*Hylocomium splendens*) pārnesanas faktors variēja no ~0,10-0,11. Augi šos elementus uzņem ļoti mazās devās. Taču galvenais faktors, kas ietekmē retzemju elementu saturu augsnē, ir augsnes reakcijas pH. Bāziskākā augsnē, augi uzņem lielāku elementu saturu nekā skābā augsnē, jo skābas augsnes reakcijā šie ķīmiskie elementi ieskalojas dziļākos slāņos un to saturs augsnes virskārtā samazinās [61].

1.9. Melleņu un augsnes paraugu sagatavošana

Melleņu (Vaccinium myrtillus L.) stādu paraugu sagatavošana. Visbiežāk zinātniskos rakstos ieteiktā metodika augu, arī melleņu paraugu sagatavošanai ķīmiskām analīzēm ir slapjā mineralizācija, izmantojot mikroviļņu enerģijas sistēmu [62].

Melleņu ogas tūlīt pēc to ievākšanas tiek sasaldētas un turētas saldētavā $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā līdz ķīmisko analīžu veikšanai. Vienā no parauga sagatavošanas metodikām ir aprakstīts, ka ogas atkausē un izmazgā ar dejonizēto ūdeni ($>0,055\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Žāvē $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā 24 stundas.

Citā publikācijā tiek aprakstīts, ka ogu žāvēšana ir jāveic ilgākā laika periodā $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā no 2 līdz 14 dienām, jo žāvējot $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā ogu sula var iztecēt, apgrūtinot turpmāko parauga sagatavošanu, kā arī un radīt vielas zudumus, nosakot nosakāmo elementu koncentrācijas [63].

Ogu žāvēšanai var tikt pielietota arī liofilizācija. Vispirms ogas tiek izturētas $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā 15 minūtes šķidrā slāpekļa vidē. Pēc sasaldēšanas ogas tiek liofilizētas līdz sausai masai 72 stundu laikā [64].

Izžāvētas ogas tiek saberztas līdz homogēnai masai, izmantojot Ahāta piestu. Mineralizācijai tiek ņemts iesvars $\sim 0,25\text{-}0,50\text{ g}$ (svērts ar precizitāti $\pm 0,1\text{ mg}$), kuru izšķīdina dažos mililitros konc. HNO_3 un mineralizē mikroviļņu krāsnī sekojošā programmā: 10 minūšu laikā temperatūru paaugstina līdz $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, tad iztur $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā 10 minūtes un $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā 20 minūtes. Pēc mineralizācijas iegūtos šķīdumus atšķaida ar dejonizēto ūdeni [65].

Ogu paraugu sagatavošanai tiek pielietota arī sausā mineralizācijas metode, parasti ogu iesvars ir $\sim 20\text{ g}$ ($\pm 0,1\text{ mg}$), tās homogenizē, veic pārogļošanu 12 stundas lēni un pakāpeniski ceļot temperatūru. Pēc pārogļošanas paraugus ievieto mufelkrāsnī un pārpelno, ceļot temperatūru no $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai 16 stundas, un izturot paraugu $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā 2 stundas. Iegūtos pelnus izšķīdina 5 % HNO_3 šķīdumā [66].

Augu lapu mineralizācijai tiek plaši izmantota slapjā mineralizācija mikroviļņu enerģijas sistēmā. Parasti ņem iesvaru $\sim 0,2\text{ g}$ ($\pm 0,1\text{ mg}$) un mineralizē HNO_3 (konc.) un H_2O_2 (30 %) maisījumā, pielietojot sekojošu programmu – $110\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ min}$ – $170\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ min}$ – $140\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ min}$. Pēc mineralizācijas paraugus atšķaida ar dejonizēto ūdeni [67].

Savukārt, citā pētījumā, kurā tika analizētas vairākas augu daļas (saknes, lapas, stublāji, ogas un sēklas), ievāktos paraugus žāvē istabas temperatūrā ($25\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) un saberž Ahatā piestā līdz homogēnai masai. Ņem iesvaru $\sim 0,1\text{-}0,2\text{ g}$ ($\pm 0,1\text{ mg}$) un veic mineralizāciju slēgtā mikroviļņu enerģijas sistēmā $\text{HNO}_3\text{:H}_2\text{SO}_4\text{:HClO}_4$ (10:0,5:2) skābju maisījumā un atšķaida ar dejonizēto ūdeni. Mineralizācijas programma bija sekojoša – $150\text{ }^{\circ}\text{C}/20\text{ min}$ – $160\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ min}$

– 150 °C/20 min. Lai labāk sagrautu paraugu matricu, paraugus iztur diennakti koncentrētā slāpekļskābes šķīdumā [68].

Sagatavotos ogu, lapu, stublāju un sakņu paraugu šķīdumos ķīmisko elementu masas koncentrāciju nosaka izmantojot sekojošas metodes: LAAS, ETAAS, ICP-OES vai ICP-MS [69].

Izvērtējot literatūru, tika nolemts savā pētījumā melleņu paraugus žāvēt 50-70 °C temperatūrā, lai izvairītos no ogu sulas tecēšanas. Savukārt homogenizācijas procesu neveikt, lai nepieļautu parauga “mākslīgu” piesārņošanu.

Kā redzams, dažādām melleņu augu daļām (saknēm, lapām, stublājiem, ogām) mineralizāciju var veikt dažādi, sausā mineralizācija ir ilglaicīga metode un pārpelnošanas laikā var notikt tādu ķīmisko elementu gaistamība kā arsēns, alva un dzīvsudrabs. Tāpēc dotajā pētījumā tika izvēlēta slapjā mineralizācijas metode, pielietojot slēgto mikroviļņu enerģijas sistēmu. Mineralizācijai tiks izmantots HNO₃:H₂O₂ skābju maisījums.

Augsnes paraugu sagatavošana. Kā viena no visplašāk izmantojamām metodēm augsnes paraugu sagatavošanā tiek veikta augsnes izvilkumu procedūra dažādās skābēs.

Augsnes paraugus ievāc, izžāvē, ievietojot žāvējamajā skapī plānā kārtā 40 °C temperatūrā 30 minūtes. Pēc izžāvēšanas paraugus izsijā caur 2 mm diametra acs sietu un homogenizē. Augsnes izvilkumu veikšanai ņem iesvaru ~1 g (svērta ar precizitāti ±0,1 mg), pievieno 35 % HCl un 70 % HNO₃ skābju maisījuma, kas gatavots 3:1 tilpuma attiecībā. Pagatavotos šķīduma paraugus karsē 70 °C temperatūrā 4 stundas uz plītiņas, tad atdzesē, filtrē un atšķaida ar dejonizēto ūdeni (>0,055 μS·cm⁻¹) [70]. Citā publikācijā pēc šāda veida mineralizācijas, kad šķīdums atdzesēts, iesaka pievienot vēl dažus mL konc. HClO₄ šķīduma [71].

Augsnes izvilkumu var veikt arī, ja 0,5 g iesvara pievieno karaļūdens un ūdeņraža peroksīda maisījumu (attiecība 6:1,5). Mineralizāciju veic kvarca trauciņos, karsē uz plītiņas 180 °C temperatūrā 3 stundas. Pēc mineralizācijas izvilkumu atdzesē, izfiltrē un atšķaida ar dejonizēto ūdeni [72].

Augsnes paraugu sagatavošanai var izmantot arī mineralizāciju slēgtajā mikroviļņu enerģijas sistēmā. Vienā no zinātniskajām publikācijām tika veikts pētījums, kurā ķīmisko elementu koncentrācija augsnē tika noteikta, izmantojot trīs dažādu skābju maisījumus – Metode A: HNO₃:HF (3:2); Metode B: HCl:HNO₃:HF (2:6:2); Metode C: HCl:HNO₃:H₂O₂ (1,5:4,5:1,5). Pēc mineralizācijas paraugus atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni un noteica ķīmisko elementu koncentrāciju ekstraktos ar ICP-MS analīzes metodi. Pētījumā tika secināts, ka labu rezultātu atkārtojamību, nosakot Co, Ni, Cu, As, Sb un Cd koncentrāciju šķīdumos, var panākt izmantojot metodi C [73].

Literatūrā aprakstīts daudz metožu, kā var veikt augsnes paraugu sagatavošanu ķīmiskai analīzei. Tā kā dotajā pētījumā ir jānosaka gan makro-, gan mikro-, gan arī retzemju ķīmiskie elementi, tad tika izvēlēts veikt augsnes mineralizāciju slēgtā mikroviļņu enerģijas sistēmā HCl:HNO₃:H₂O₂ maisījumā (6:3:0,5). Mineralizācijai netiks izmantota koncentrēta HF, jo tā var bojāt kvarca degli ICP-MS iekārtā.

1.10. Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (ICP-MS)

Pirmo reizi induktīvi saistītās plazmas masspektrometrs (ICP-MS) kā analīzes metode tika prezentēta 1983.gadā, ko prezentēja uzņēmums Perkin Elmer (agrāk Sciex). Kopš tā laikā jau vairāk nekā 5000 ICP-MS iekārtu ir uzstādītas visā pasaulē. Mūsdienās šo instrumentālo metodi izmanto daudzās zinātnes nozarēs kā ķīmijā, ģeoloģijā un biomedicinā [74].

ICP-MS ir viens no visefektīvākiem instrumentiem ar kura palīdzību var mērīt vairāk nekā 70 ķīmiskos elementus ļoti plašā koncentrāciju diapazonā (ng·L⁻¹-μg·L⁻¹).

ICP-MS metodē iespējams kvantitatīvi noteikt redzamos 1.11.attēlā iezīmētos ķīmiskos elementus. Elementi ir iezīmēti dažādās krāsās, attēlojot metodes noteikšanas robežas. [75].

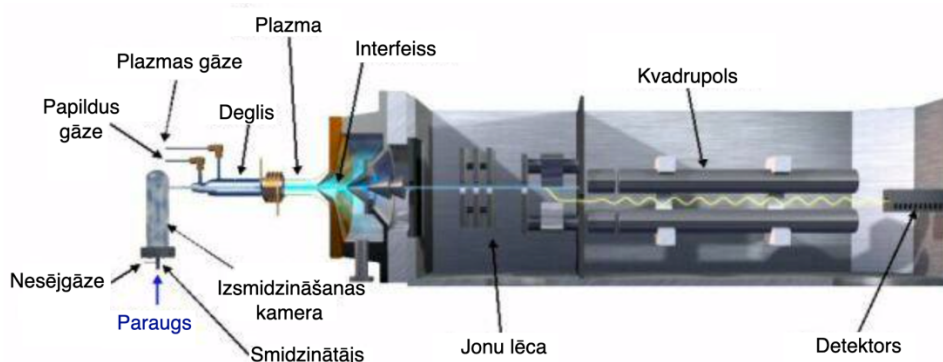
Noteikšanas robežas																			
H		He		Li		Be		B		C		N		O		F		Ne	
Na		Mg		Al		Si		P		S		Cl		Ar		K		Ca	
Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Co		Ni		Cu		Zn	
Ga		Ge		As		Se		Br		Kr		Rb		Sr		Y		Zr	
Nb		Mo		Tc		Ru		Rh		Pd		Ag		Cd		In		Sn	
Sb		Te		I		Xe		Cs		Ba		Hf		Ta		W		Re	
Os		Ir		Pt		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At	
Rn		Fr		Ra		Rf		Db		Sg		Bh		Hs		Mt		Ds	
Rg		La		Ce		Pr		Nd		Pm		Sm		Eu		Gd		Tb	
Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu		Ac		Th		Pa		U	
Np		Pu		Am		Cm		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No	
Lr																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

1.11.att. Ķīmiskie elementi, kurus var noteikt ar ICP-MS [75]

ICP-MS metodē plazmas gāzi izmanto cēlgāzi, piemēram, argonu. Plazmā notiek analizējamā parauga iztvaikošana, disociācija, atomizācija un jonizācija. Ļoti augsta plazmas temperatūra, nodrošina pilnīgāku molekulu fragmentāciju, kuras rezultātā rodas atomi, joni (parasti ir M⁺), neitrālas daļiņas [76].

Detektēšanas spēja var būt atkarīga no tā, cik daudz un pie kādiem parametriem paraugs tiek ievadīts ICP-MS sistēmā. Detektēšanas spējas var atšķirties arī no paraugu matricas, kas var ietekmēt jonizācijas pakāpi.

ICP-MS iekārtas darbības principālā shēma attēlota 1.12.attēlā. Paraugs tiek ievadīts šķidrā agregātstāvoklī, tas plūst uz smidzinātāju, izsmidzināšanas kamerā veidojas sīks smalko daļiņu aerosols, kurš tālāk tiek ievadīts sistēmā kopā ar plazmas gāzi. Plazmā aerosols tiek izžāvēts, notiek molekulu disociācija. Komponentiem tiek atņemts viens elektrons, kā rezultāta rodas atsevišķi uzlādētie joni M^+ , kas tiek novirzīti uz masspektrometriju, kurā ar kvadrupola palīdzību tie tiek sadalīti pēc to masas un lādiņa attiecības (m/z), un tiek analizēti ar jonu detektoru [77, 78]. 1.6.tabulā ir apkopots ICP-MS metodes priekšrocības un to trūkumi.



1.12.att. ICP-MS iekārtas uzbūve [79]

1.6.tabula

ICP-MS iekārtas priekšrocības un to trūkumi [80]

Priekšrocības	Trūkumi
Iespēja pētīt izotopus	Detektori nedrīkst atrasties saules gaismā, jo tie ir jutīgi uz fotona iedarbību
Plašs linearitātes diapazons	Dārga analīzes metode un iekārtas apkalpošanas izmaksas
Iespēja noteikt vairākus elementus vienlaicīgi, īsā laika periodā	Jābūt augsti kvalificētam speciālistam, lai varētu sekmīgi darboties ar doto iekārtu [80]

1.7.tabulā ir apkopots ICP-MS iekārtas raksturlielumu salīdzinājums ar citām kvantitatīvajām analīzes metodēm (ICP-OES, LAAS un ETAAS) [81, 82].

1.7.tabula

ICP-MS dažādu raksturlielumu salīdzinājums ar vairākām citām analīzes metodes mērīšanas iekārtām

Raksturlielums/Īpašība	ICP-MS	ICP-OES	LAAS	ETAAS
Noteikšanas robeža	$< \text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{ng} \cdot \text{L}^{-1} - \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$
Lineārais diapazons	$10^8 - 10^9$	$10^4 - 10^6$	$10^3 - 10^4$	$10^2 - 10^3$
Elementu daudzums	75	55	50	35
Traucējumi				
<i>Ķīmiskie</i>	<i>Daži</i>	<i>Daži</i>	<i>Daudz</i>	<i>Daudz</i>
<i>Spektrālie</i>	<i>Daži</i>	<i>Daži</i>	<i>Daži</i>	<i>Daudz</i>
<i>Matrica</i>	<i>Mazs</i>	<i>Daži</i>	<i>Daudz</i>	<i>Daudz</i>
Analīzes ātrums	Ātrs	Ātrs	Vidējs	Lēns
Daudzelementu analīze	Jā	Jā	Nē	Nē
Parauga tilpums	μL	mL	mL	μL
Izmaksas	Augstas	Vidējas	Zemas	Augstas

2.EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1.Izmantotie reaģenti un gāzes

- 30-32 % H₂O₂ “*Merck – Suprapur*”, Vācija;
- 67-69 % HNO₃ “*Fisher Chemical – TraceMetal Grade*”, Kanāda;
- 39 % HCl “*Merck – Suprapur*”, Vācija;
- Argons, 99,999 % “*AGA*”, Latvija;
- Standartšķīdums “*ICP-MS-68A-A High Purity Standards*”, 10 mg·L⁻¹, 2 % HNO₃, Al, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Ce, Cs, Cr, Co, Cu, Dy, Er, Eu, Gd, Ga, Ho, In, Fe, La, Pb, Li, Lu, Mg, Mn, Nd, Ni, P, K, Pr, Re, Rb, Sm, Sc, Se, Na, Sr, Tb, Th, Tm, U, V, Yb, Y, Zn;
- KCl “*Izplatītājs Enola*”, Latvija;
- Hēlijs, 99,994 % “*AGA*”, Latvija.
- Filtrpapīrs “*Whatman Grade 541 90 mm*”,

Izmantoto reaģentu drošības dati ir apkopoti 8.pielikumā

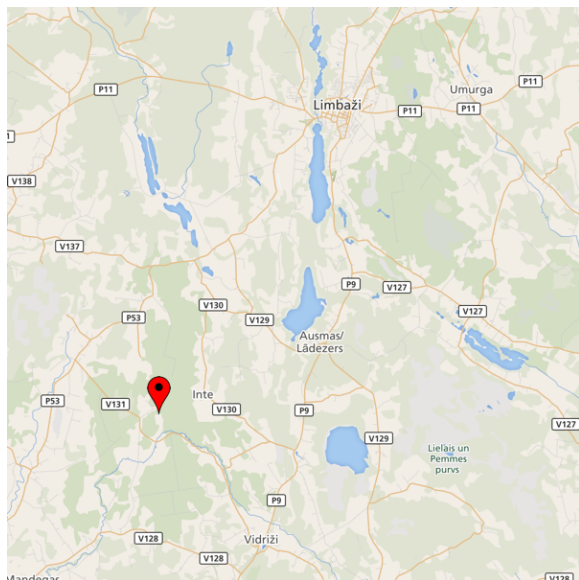
2.2.Izmantotā aparatūra un piederumi

- Analītiskie svāri “*Mettler Toledo ME204*”, Šveice. Precizitāte ±0,1 mg;
- Elektriskā plīts “*Sencor*”;
- Graduētie polipropilēna stobriņi “*Sarstedt*”, Vācija. 50±1 mL;
- Graduētie polipropilēna stobriņu “*Sarstedt*”, Vācija 50±1 mL;
- Induktīvi saistītas plazmas masspektrometrs “*Agilent 8900 Triple Quadrupole ICP - MS*”, ASV;
- Mikropipete “*Accumax*”, Lielbritānija. 20-200 µL. Precizitāte ±0,7 µL;
- Mikropipete “*Thermo Fischer Scientific Finnpiette*”, Vācija. 100-1000 µL. Precizitāte ±1 µL;
- Mikroviļņu enerģijas iekārta “*Milestone Start E.*”, Itālija;
- pH metrs “*Adrona AD 1405*”, Latvija. Precizitāte ±1 mV;
- Neilona sieti (diametrs 2 mm);
- Ultraskaņas vanna “*Labasco Bandelin Sonorex RK100*”, Zviedrija;
- Ūdens attīrīšanas iekārta “*Adrona B30*”, Latvija. Ūdens elektrovadītspēja 0,055 µS cm⁻¹;
- Žāvēšanas skapis “*Memmert*”, Vācija. Temperatūras intervāls 0-220 °C.

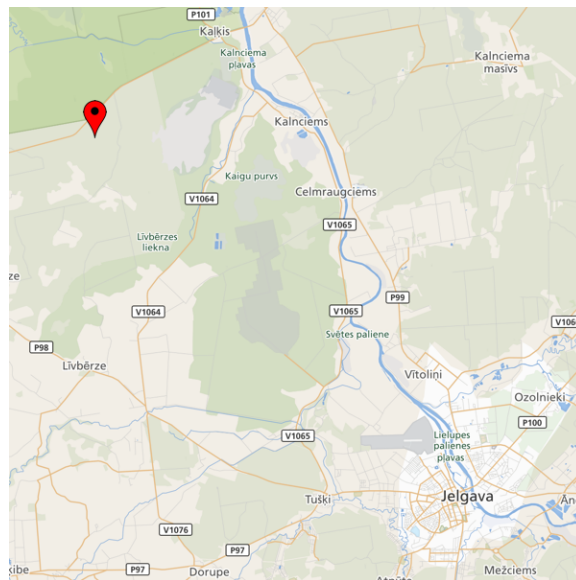
2.3. Informācija par paraugu ievākšanas teritorijām

Veicot īstermiņa zinātnisko misiju, projekta ietvarā “Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programma 2016–2021. gadam”, tika izvēlētas divas dažādas meža teritorijas koksnes pelnu izkliedes pētījumos (skatīt 2.1.attēlu):

- Skultes pagasts (405-421-3^a) – koordinātes 57°24'01.0"N 24°35'46.5"E;
- Valgundes pagasts, Tīreļi (608-19-21^a) – koordinātes 56°49'05.4"N 23°31'05.3"E.



405-421-3



608-19-21

2.1.att. Teritoriju atrašanās vietas kartē

Šajās teritorijās ir priežu meži, kur dominē priedes suga (*Pinus sylvestris L.*). Katrā teritorijā tika izvēlēti divu dažādu veidu parauglaukumi – mēslotie un kontrole. Pelnu izkliede tika veikta ziemas mēnešos ar meža darbiem paredzētu traktortehniku, kas ir aprīkota ar pelnu klijedēšanas piekabi (skatīt 2.2.attēlu).



2.2.att. Traktors “Valtra 6350” ar modulāro pelnu klijedēšanas piekabi [83]

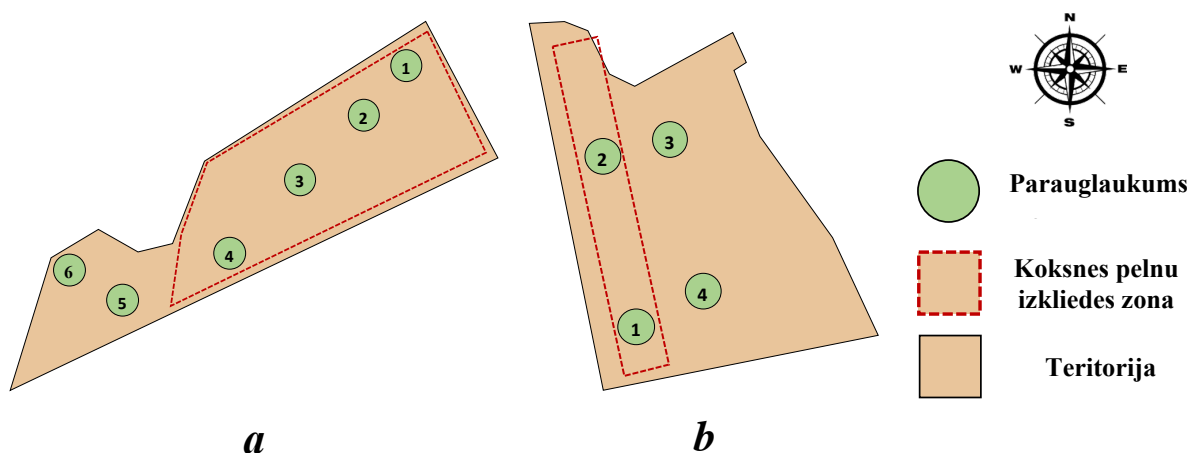
^aKvartālapgabala numuri

2.1.tabulā ir apkopota detalizētāka informācija par katras teritorijas koksnes pelnu izkliedes piezīmēm.

2.1.tabula

Informācija par teritorijām, kas tika mēslotas ar koksnes pelniem

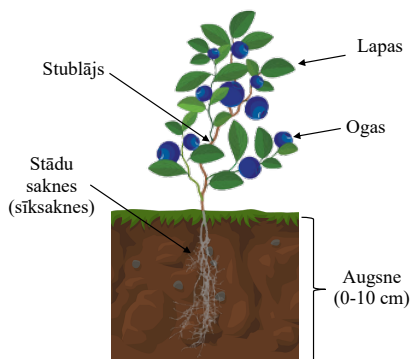
Teritorija	Pelnu izkliedes datums	Daudzums	Pelnu veids
405-421-3 (skatīt 2.3.a.attēlu)	Februāris 2018	3 t·ha ⁻¹	Smagie pelni
608-19-21 (skatīt 2.3.b.attēlu)	Februāris 2017	3 t·ha ⁻¹	Vieglie pelni



2.3.att. Paraugu ievākšanas teritorijas: a – 405-421-3, b – 608-19-21

2.4.Melleņu un meža augsnes paraugu izvēle

Melleņu un meža augsnes elementu ķīmiska saturs kvantificēšanai paraugi tika ievākti no divām teritorijām ar kvartālapgabala Nr. 405-421-3 un 608-19-21. Melleņu un augsnes paraugu ievākšanas shēma ir parādīta 2.4.attēlā.



2.4.att. Augsnes paraugu ievākšanas attēlojums

Melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) paraugu ievākšana. 2019.gada augusta beigās, katrā parauglaukumā tika ievāktas melleņu stādu saknes (0-10 cm dziļumā), ogas un stublāji ar lapām. Ogas tika lasītas ar pinceti. Saknes un lapas ar stublāju tika atfīrītas, no augsnes, un, izmantojot dārzniecības šķēres, sadalītas atsevišķās daļās. Lai nepieļautu parauga piesārņojumu, pirms katras ievākšanas reizes pincete un dārzniecības šķēres tika fīrītas ar spirtu un noskalotas ar dejonizēto ūdeni. Paraugus ievāca plastmasas maisīšos, ogas, lapas un stublāju uzglabāja saldētavā -15 °C temperatūrā, taču stādu saknes istabas temperatūrā (23 °C temperatūrā) līdz ķīmisko elementu koncentrācijas noteikšanai.

Augsnes paraugu ievākšana. Augsnes paraugi tika ievākti melleņu stādu sakņu zonā (0-10 cm) 2019.gada augusta beigās. Teritorijā “405-421-3” augsne bija kūdraina, taču “608-19-21” bija smilšmāls. Augsnes paraugu ievākšanai tika izmantota lāpstiņa. Lai nepieļautu parauga piesārņojumu, pirms katras ievākšanas reizes lāpstiņa tika fīrīta ar spirtu un noskalota ar dejonizēto ūdeni. Pēc ievākšanas, augsnes paraugi tika gaissausi izžāvēti un uzglabāti papīra kastītēs līdz ķīmisko analīžu veikšanai.

2.5. Melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) un meža augsnes paraugu sagatavošana analīžu veikšanai

Melleņu ogu (*Vaccinium myrtillus L.*) mineralizācija. Nemazgātas melleņu ogas ievietoja žāvēties žāvējamā skapī 50 °C temperatūrā 4 dienas līdz konstantai masai. Ķīmiskai analīzei ņēma iesvaru ~0,3-0,4(±0,0001) g, pievienoja 6,00 mL koncentrētas HNO₃ šķīduma un veica ultrasonifikāciju, lai sagrautu parauga matricu, un pēc tam pievienoja 2,00 mL koncentrēta H₂O₂ šķīduma. Mineralizācijas režīms mikroviļņu enerģijas krāsnī bija sekojošs – pie jaudas 800 W, 20 minūšu laikā pakāpeniski paaugstināja šķīduma temperatūru līdz 135 °C, pie dotās temperatūras izturēja 25 minūtes un tad pakāpeniski atdzesēja. Pēc mineralizācijas šķīdumus kvantitatīvi pārnesa graduētās PP mēģenēs un atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja 0,055 μS·cm⁻¹) līdz 20 mL. Šādā veidā tika pagatavoti 2 paralēlie paraugi.

Melleņu lapu (*Vaccinium myrtillus L.*) mineralizācija. Melleņu lapas ievietoja žāvēties žāvējamā skapī 70 °C temperatūrā 2 dienas līdz konstantai masai. Ķīmiskās analīzes veikšanai ņēma iesvaru ~0,2-0,3(±0,0001) g, pievienoja 10,00 mL koncentrētas HNO₃ un 2,00 mL koncentrētas H₂O₂ šķīduma un veica mineralizāciju. Mineralizācijas režīms mikroviļņu enerģijas krāsnī identisks ogu paraugu sagatavošanā (skatīt Melleņu ogu (*Vaccinium myrtillus L.*) mineralizācija). Pēc mineralizācijas šķīdumus kvantitatīvi pārnesa graduētās PP mēģenēs un atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja 0,055 μS·cm⁻¹) līdz 25 mL. Šādā veidā tika pagatavoti 2 paralēlie paraugi.

Melleņu stublāju (*Vaccinium myrtillus L.*) mineralizācija. Melleņu stublājus ar šķērēm sadalīja mazākās daļās un žāvēja 70 °C temperatūrā 2 dienas līdz konstantai masai. Ķīmiskai analīzei ņēma iesvaru ~0,2-0,3(±0,0001) g, pievienoja 6,00 mL koncentrētas HNO₃ un 2,00 mL koncentrētās H₂O₂ šķīduma un veica mineralizāciju. Mineralizācijas režīms mikroviļņu enerģijas krāsnī identisks kā ogu paraugu sagatavošanā. Pēc mineralizācijas šķīdumus kvantitatīvi pārnesa graduētās PP mēģenēs un atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja 0,055 μS·cm⁻¹) līdz 25 mL. Šādā veidā tika pagatavoti 2 paralēlie paraugi.

Melleņu stādu sakņu (*Vaccinium myrtillus L.*) mineralizācija. Saknes kārtīgi mazgāja ar dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja 0,055 μS·cm⁻¹), lai atbrīvotos no svešķermeņiem (augšnes, akmeņiem, u.c.). Paraugus ievietoja žāvēties žāvējamā skapī 50 °C temperatūrā 4 dienas līdz konstantai masai. Pēc žāvēšanas no saknēm ar šķēru palīdzību atdalīja sīksaknes, kuras izmantoja mineralizācijai. Ķīmiskai analīzei ņēma iesvaru ~0,2-0,3(±0,0001) g, kur tālāk veica mineralizācijas procesu, kura režīms, izmantotās skābes un to tilpums ir identisks kā ogu paraugu sagatavošanā.

Augsnes paraugu mineralizācija. Gaissausus augsnes paraugus sijāja ar sietu (sietas acs diametrs 2 mm). Parauga mineralizācijai ņēma iesvaru ~0,1-0,2(±0,0001) g, pievienoja 6,00 mL HNO₃, 3,00 mL HCl un 0,50 mL H₂O₂ koncentrētu skābju šķīduma un veica mineralizāciju. Mineralizācijas režīms mikroviļņu enerģijas krāsnī bija sekojošs – pie jaudas 850 W, 25 minūšu laikā pakāpeniski paaugstināja šķīduma temperatūru līdz 150 °C, pie dotās temperatūras izturēja 30 minūtes un tad pakāpeniski atdzesēja. Pēc mineralizācijas šķīdumus kvantitatīvi pārnesa graduētās PP mēģenēs, filtrējot (Whatman Grade 541 90 mm), un atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja 0,055 μS·cm⁻¹) līdz 25 mL. Šādā veidā tika pagatavoti 2 paralēlie paraugi.

2.6. Ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšana mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*) un meža augsnē, izmantojot ICP-MS.

Pagatavotajos šķīdumos ar ICP-MS analīzes metodi noteica makro, mikro- un retzemju elementu masas koncentrācijas. Lai noteiktu elementu saturu šķīdumos, mērījumus veica duālā kvadrupola režīmā (MS/MS), He plūsmas ātrums 5 mL·min⁻¹ un radio frekvences jauda 1550 W.

Kalibrēšanas taišņu iegūšana un ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšana paraugos. Ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšanai pagatavotajos šķīdumos, tika konstruēts kalibrēšanas grafiks, izmantojot daudzelementu standartšķīdumu ar koncentrāciju 10 mg·L⁻¹. Standartšķīdumu atšķaidīja 10 reizes, iegūstot izejas standartšķīdumu ar koncentrāciju 1 mg·L⁻¹, no kura gatavoja standartšķīdumu kalibrēšanas sēriju masas

koncentrāciju intervālā $0,5-100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Kā salīdzināšanas šķīdumu izmantoja dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja $0,055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Izmantojot iegūtos rezultātus, tika konstruēti kalibrēšanas grafiki $\text{CPS}=f(\gamma)$ (skatīt 9.pielikuma 1.attēlu).

Ķīmisko elementu saturu mellenēs un meža augsnē izskaitļoja pēc sekojošas formulas:

$$W = \frac{\gamma \cdot \text{atšķaidījums}}{m_{\text{iesvars}}}$$

Aprēķinu laikā tika ņemts vērā tukšais paraugs, kurš tika gatavots katras mineralizācijas procedūras laikā. Iegūtie rezultāti ir apkopoti pielikumā (skatīt 10-14.pielikumu).

2.7. Augsnes reakcijas pH noteikšana

Šķīdumu pagatavošana:

1 mol·L⁻¹ KCl: 74,55 g KCl šķīdināja dejonizētā ūdenī un atšķaidīja līdz 1 L.

Augsnes reakcijas pH noteikšana KCl šķīdumā (apmaiņas skābums). Uz laboratorijas svāriem nosvēra 10,00 g augsnes parauga, pārnesa koniskajā kolbā un pievienoja 50,00 mL $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KCl šķīduma. Paraugu kratīja ar kratītāju 30 minūtes un izturēja 2 stundas. Iegūto augsnes izvilkumu filtrēja caur kroku filtru un mērīja pH, pirms tam kalibrējot pH metru ar standartbuferšķīdumiem pH 4,00 un pH 7,00. Iegūtie rezultāti ir apkopoti pielikumā (skatīt 15.pielikumu 1.tabulu).

3.REZULTĀTI UN IZVERTĒJUMS

3.1. Koksnes pelnu ietekme uz meža augsnes pH reakcijas izmaiņām

Augsnes reakcijas pH meža augsnē tika noteikts 1 mol·L⁻¹ KCl šķīdumā (apmaiņas skābums) 2019.gadā t.i., trešajā gadā pēc koksnes pelnu izkliedes mežā. Iegūtie rezultāti tika salīdzināti LMVI “Silava” datiem (2016. gads, pirms pētījuma uzsākšanas). 3.1. tabulā apkopoti pH dati augsnes virskārtas (profila dziļums 0-10 cm) raksturošanai.

3.1.tabula

**Augsnes reakcijas pH vērtības divās dažādās teritorijās
pirms un pēc koksnes pelnu izkliedes (pH±Sn)**

Teritorija	2016.gads	2019.gads
	pH _{KCl}	pH _{KCl}
405-421-3 (SP)	3,02±0,11	3,2±0,2
608-19-21 (VP)	2,93±0,16	2,89±0,14

Augsnes reakcijas pH ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas var izmainīties pēc augsnes apstrādes ar koksnes pelniem, augsnes reakcijai kļūstot bāziskākai. Pētījumā tika noskaidrots, ka neatkarīgi no augsnes tipa, izvēlētās koksnes pelnu frakcijas piedevas un parauglaukumu veida (mēslošana/kontrole), meža augsnes reakcijas pH vērtības izmaiņas nav būtiskas ilgstošākā laika periodā.

M. Hasen u.c. [20] pētījumā konstatēja, ka vislielākās pH reakcijas izmaiņas ir novērojamas augsnes profila dziļumā no 0-1,5 cm pirmajā gadā pēc pelnu izkliedes mežā (skatīt 1.4.attēlu). Pētnieku grupa novēroja, ka augsnes reakcija virskārtas slānī (profila dziļums 0-1,5 cm) pēc mēslošanas kļuva bāziskāka, sasniedzot pH līmeni no 5 līdz 8, bet pēc 12 mēnešiem, augsne paskābinājās līdz sākotnējam skābumam (pH ~3,0-3,5). Svarīgi atzīmēt, ka dotajā pētījumā koksnes pelnu mēslošanas daudzums bija 3 t·ha⁻¹, līdzīgi kā mūsu gadījumā.

Pamatojoties uz iepriekš minētā pētījuma datiem, var spriest, kāpēc netika konstatēts augsnes bāziskums trešajā gadā pēc koksnes pelnu izkliedes mežā.

3.2. Koksnes pelnu ietekme uz ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*)

Ievāktie melleņu paraugi – stādu stublājs, lapas un ogas bija veselas, netika novērotas nekādas toksicitātes pazīmes. Ķīmisko elementu saturs meža augsnē un mellenēs tika noteikts ar ICP-MS analīzes metodi. Iegūtie dati raksturo ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs trešajā gadā pēc koksnes pelnu izkliedes meža teritorijās (skatīt 3.2., 3.4. un 3.7. tabulas).

Makroelementi. 3.2.tabulā ir apkopoti rezultāti par makroelementu saturu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*).

3.2.tabula

Makroelementu saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*) ($W_{\text{vid}}\pm\text{Sn}$)

Teritorija	405-421-3 (SP)					608-19-21 (VP)				
	Paraugs	Augsne	Saknes	Stublājs	Lapas	Ogas	Augsne	Saknes	Stublājs	Lapas
P	126	607	823	868	1213	98±13 (M) ^a	646	856	1230	1502
	±31	±98	±78	±142	±162	49±9 (K) ^b	±135	±51	±55	±317
K	162	1688	4495	9385	7215	127±6 (M) ^a	1702	4558	9345	8892
	±45	±369	±787	±2400	±639	60±28 (K) ^b	±201	±478	±1885	±906
Ca	2110	485	11725	19445	264	1066±50 (M) ^a	497	14619	18563	278
	±531	±95	±2123	±3764	±39	615±210 (K) ^b	±225	±4014	±3010	±31

^aMēslojie parauglaukumi

^bKontroles parauglaukumi

Ir novērojama tendence, ka vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijā, meža augsnē makroelementu saturs mēslos parauglaukumos ir ~2 reizes lielāks nekā kontroles parauglaukumos, taču smago koksnes pelnu izkliedes teritorijā šāda tendence nav novērojama. Smago koksnes pelnu frakcijas dati ir apkopoti vienā kopā.

Apkopojot datus no zinātniskiem rakstiem [84, 85], tika noskaidrots, ka makroelementu saturs koksnes pelnos ir ļoti mainīgs, tomēr ir novērojama sekojoša tendence, ka to saturs samazinās sekojošā secībā: Ca > K > P. Līdzīgu tendenci, var novērot arī mūsu pētījuma meža augsnē.

Izvērtējot makroelementu saturu melleņu stublājos, lapās un ogās, rezultāti parāda, ka abās teritorijās nav novērojamas atšķirības starp mēslojiem un kontroles parauglaukumiem, tāpēc dati tika apvienoti vienā kopā. Salīdzinot ķīmisko elementu saturu melleņu stublājos, lapās un ogās, kas ievāktas gan vieglo, gan smago koksnes pelnu izkliedes teritorijās, var novērot, ka iegūtie dati ir vienas kārtas robežās.

Izanalizējot makroelementu saturu dažādās melleņu augu daļās neatkarīgi no meža teritorijas un izmantotā koksnes pelnu veida, to saturs samazinās sekojošā secībā:

- **Fosfors (P):** Ogas \geq Lapas \geq Stublājs $>$ Saknes;
- **Kālijs (K):** Lapas \geq Ogas $>$ Stublājs $>$ Saknes;
- **Kalcijs (Ca):** Lapas \geq Stublājs $>$ Saknes $>$ Ogas.

No iepriekšminētā var secināt, ka P un K visvairāk uzkrājas tieši melleņu ogās un lapās, taču Ca – lapās un stublājos, savukārt ogās tā saturs ir ievērojami mazāks.

Vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijās ir novērojamas makroelementu satura atšķirības meža augsnē starp mēslojiem un kontroles parauglaukumiem, savukārt melleņu stādos šādas atšķirības nav novērojamas. To varētu izskaidrot tā, ka melleņu stādi makroelementus dažādu savienojumu veidā, uzņem tik, cik nepieciešams pilnvērtīgai attīstībai un augšanai.

Zinātniskajā literatūrā tika atrasta informācija makroelementu ķīmisko sastāvu kultivētās melleņu un krūmmelleņu lapās, kuras tika ievāktas dažādās Latvijas teritorijās [86]. 3.3.tabulā ir apkopoti mūsu un J. Pormales u.c. pētījuma dati.

3.3.tabula

Makroelementu saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) lapās salīdzinājums ar literatūras datiem uz sauso masu ($W_{\text{vid}}\pm\text{Sn}$)

Elements	Meža teritorijas, kurā izkliedēti koksnes pelni (mūsu pētījuma dati)		Dažādas Latvijas vietas (Alūksne, Jelgava, Cēsis, Valka u.c.) [86]	
	SP	VP	Mellenes	Krūmmelenes
P	868 \pm 142	1230 \pm 55	1200 \pm 100	1600 \pm 100
K	9385 \pm 2400	9345 \pm 1885	7700 \pm 300	6200 \pm 400
Ca	19445 \pm 3764	18563 \pm 3010	8400 \pm 500	4000 \pm 200

J. Pormales u.c. pētnieku veiktajā pētījumā tika noskaidrots, ka neatkarīgi no paraugu ievākšanas vietas, kultivētās melleņu un krūmmelleņu lapās makroelementu saturs ir līdzīgs. No 3.3.tabulas datiem redzams, ka P un K saturs melleņu lapās ir līdzīgs un ir vienas kārtas robežās abos pētījumos. Savukārt Ca saturs (mūsu pētījuma dati) mežā augušās mellenēs ir ~5 reizes lielāks nekā kultivētās mellenēs. Abos pētījumos augsnes reakcijas pH ir robežu diapazonā no 3,0-5,5, kas ir labvēlīgi apstākļi melleņu augšanai, līdz ar to vienīgais mainīgais faktors varētu būt dažāda Ca koncentrācija augsnē.

Mikroelementi. 3.4.tabulā ir apkopoti rezultāti par mikroelementu saturu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*).

3.4.tabula

Mikroelementu saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*) ($W_{\text{vid}}\pm S_n$)

Teritorija	405-421-3 (SP)					608-19-21 (VP)				
	Augsne	Saknes	Stublājs	Lapas	Ogas	Augsne	Saknes	Stublājs	Lapas	Ogas
Fe	1005 ± 456	151 ± 35	38 ± 9	89 ± 23	22 ± 3	576 ± 100	216 ± 117	54 ± 10	141 ± 25	23 ± 3
Mn	13 ± 8	669 ± 270	1047 ± 557	1456 ± 723	123 ± 39	8 ± 4	367 ± 157	203 ± 21	286 ± 108	34 ± 4
B	- ^a	7,7 $\pm 0,6$	- ^a	73 ± 24	10,4 $\pm 1,0$	- ^a	5,4 $\pm 0,9$	- ^a	29 ± 11	8,0 $\pm 0,8$
Cu	2,7 $\pm 0,4$	10 ± 2	7,6 $\pm 1,0$	7,7 $\pm 1,1$	4,9 $\pm 0,6$	1,3 $\pm 0,3$	7,4 $\pm 1,6$	4,4 $\pm 1,7$	5,6 $\pm 1,6$	4,6 $\pm 1,8$
Zn	22 ± 7	64 ± 15	69 ± 3	15 ± 3	13,9 $\pm 1,8$	12 ± 5	42 ± 9	65 ± 13	12,4 $\pm 1,8$	13,8 $\pm 1,5$
Ni	1,9 $\pm 0,8$	0,8 $\pm 0,2$	0,16 $\pm 0,09$	0,42 $\pm 0,13$	0,37 $\pm 0,14$	1,07 $\pm 0,16$	0,77 $\pm 0,13$	0,02- 0,20	0,23 $\pm 0,03$	0,30 $\pm 0,11$
Al	428 ± 155	205 ± 38	118 ± 54	216 ± 67	25 ± 5	265 ± 51	258 ± 94	207 ± 74	353 ± 9	41 ± 6
Bi	0,11- 0,42	0,53 $\pm 0,18$	0,003- 0,091	0,064 $\pm 0,016$	0,010- 0,063	0,109 $\pm 0,013$	0,2- 1,1	0,002- 0,039	0,06- 0,84	0,005- 0,015
Ba	20 ± 7	32 ± 7	153 ± 35	130 ± 32	11,9 $\pm 1,6$	17 ± 7	24 ± 8	172 ± 47	117 ± 35	10,1 $\pm 0,8$
Cd	0,30 $\pm 0,10$	0,9 $\pm 0,3$	0,09- 0,74	- ^a	- ^a	0,12 $\pm 0,04$	0,5 $\pm 0,3$	0,16 $\pm 0,07$	- ^a	- ^a
Co	0,31 $\pm 0,07$	0,23 $\pm 0,06$	0,040 $\pm 0,011$	0,051 $\pm 0,012$	0,010 $\pm 0,002$	0,22 $\pm 0,04$	0,26 $\pm 0,05$	0,040 $\pm 0,008$	0,068 $\pm 0,009$	0,012 $\pm 0,005$
Cr	1,8 $\pm 0,5$	0,7 $\pm 0,2$	0,027 $\pm 0,006$	0,42 $\pm 0,19$	0,10 $\pm 0,02$	1,1 $\pm 0,2$	0,6 $\pm 0,2$	0,03- 0,18	0,6 $\pm 0,3$	0,09 $\pm 0,02$
Ga	0,46 $\pm 0,13$	0,08 $\pm 0,03$	0,0098 $\pm 0,0015$	0,018 $\pm 0,004$	0,0010 $\pm 0,0003$	0,29 $\pm 0,10$	0,10 $\pm 0,04$	0,011 $\pm 0,003$	0,032 $\pm 0,010$	0,0025 $\pm 0,0010$
Pb	49 ± 15	5 ± 2	0,04- 0,32	0,07- 0,48	0,17- 3	30 ± 3	2,6 $\pm 0,6$	0,04- 0,24	0,12 $\pm 0,03$	0,13 $\pm 0,24$
Sr	7 ± 2	4,0 $\pm 0,7$	10 ± 4	10 ± 5	0,91 $\pm 0,16$	10 ± 4 (M) ^b	6,7 $\pm 0,7$	14 ± 3	16 ± 8	2,5 $\pm 1,0$
						3,2 $\pm 0,9$ (K) ^c				
Rb	1,0 $\pm 0,2$	8 ± 2	19 ± 5	27 ± 7	32 ± 3	0,6 $\pm 0,3$	7,6 $\pm 1,1$	15 ± 5	22 ± 8	28,6 $\pm 1,6$
V	3,0 $\pm 1,0$	0,7 $\pm 0,2$	0,005- 0,035	0,036 $\pm 0,011$	- ^a	1,7 $\pm 0,3$	0,7 $\pm 0,2$	0,012- 0,040	0,11 $\pm 0,04$	- ^a

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bMēslojuma parauglaukumi

^cKontroles parauglaukumi

Mikroelementu satura ziņā meža augsnē un mellenēs nav novērojamas būtiskas atšķirības starp dažādiem parauglaukumu veidiem (mēslojums/kontrole), tāpēc dati tika apvienoti vienā kopā. Bi un Pb gadījumā melleņu stādos tika novērota rezultātu izkliede, kas nav atkarīga no parauglaukumu veidiem.

Savstarpēji salīdzinot mikroelementu satura sadalījumu melleņu augu daļās, ir vērojama tendence, ka tādi elementi kā Fe, Mn (VP), Co, Ga, V, Cd, Bi, Ni, Pb, dažādu savienojumu veidā visvairāk uzkrājas tieši melleņu stādu saknēs (sīksaknēs).

Izvērtējot mikroelementu saturu melleņu stādos tika novērotas tendences sekojošiem elementiem: Mn, B, Sr, Al un Rb.

Mangāns (Mn): Mangāns ir būtisks mikroelements, kurš ir svarīgs augu augšanai, nodrošinot fotosintēzes procesu un lipīdu biosintēzi, kas notiek augu lapās un stublājos [87]. Smago koksnes pelnu izkliedes teritorijā Mn visvairāk ir uzkrājies lapās un stublājos, savukārt vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijā, saknēs. Savstarpēji salīdzinot dažādas meža teritorijās, var novērot, ka melleņu stādos Mn saturs ir par ~2-5 reizēm lielāks tieši smago koksnes pelnu izkliedes teritorijā. Būtiski atzīmēt, ka Mn saturs augsnē abās meža teritorijās ir līdzīgs. Šādu tendenci varētu izskaidrot ar atšķirīgu augsnes veidu katrā meža teritorijā, kas varēja ietekmēt Mn uzņemšanu melleņu stādos.

Bors (B): Rezultāti parādīja, ka B visvairāk uzkrājās melleņu lapās, kur to saturs ir ~3-9 reizēm lielāks nekā ogās un stādu saknēs, taču stublājos, tas ir niecīgs. Bors ir viens no svarīgākajiem mikroelementiem augu attīstībā, tas ir nepieciešams augu šūnu sienu veidošanai, membrānu struktūru attīstībai, kā arī cukuru un citu barības vielu pārvietošanai uz citām augu daļām. Bora savienojumiem piemīt arī augsta mobilitāte, gan augsnē, gan augos, tāpēc saknēs un ogās šī elementa koncentrācijas ir lielas [88].

Alumīnijs (Al): Neatkarīgi no meža teritorijas, Al saturs melleņu stādu saknēs, stublājos un lapās ir vienas kārtas robežās, taču ogās to saturs ir par ~5-9 reizēm mazāks. Alumīnijs tiek uzskatīts par toksisko elementu, kas var izraisīt visdažādākās augu slimības, taču nelielās koncentrācijās tas ir svarīgs mikroelements augu attīstībā, nodrošinot sakņu, lapu, stublāju augšanu. Ogās un augļos Al uzkrājās mazākas koncentrācijās, nekā citos augu dzinumos, jo tas tiek aizturēts, lai neizraisītu tā toksicitāti [89]. Alumīnija savienojumu uzņemšanu augos ietekmē augsnes reakcijas pH. Pie skābākas augsnes (pH<4,5) Al savienojumu veidā tiek uzņemts lielākas koncentrācijas devās [90].

Stroncijs (Sr): Vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijā Sr saturs augsnē ~2 reizes lielāks nekā kontroles parauglaukumos. Savukārt, melleņu stādos Sr saturs ir vienas kārtas robežās visās pētītajās teritorijās. Balstoties uz zinātnisko literatūru, Sr savienojumu uzņemšana augos ir atkarīga no augsnes reakcijas pH un Ca savienojumu pieejamības augsnē. Ca savienojumu deficīta gadījumā, augi no augsnes sāk uzņemt Sr savienojumu. Sr uzņemšana augos ir vairāk izteiktāka skābākā augsnes reakcijā (pH<5,0) nekā bāziskā [91]. Pēc koksnes pelnu izkliedes, meža augsnē ir pietiekams Ca saturs augsnē un Sr savienojumu uzņemšana mellenēs nenotiek intensīvi. 3.3.tabulā iegūtie rezultāti apliecina, ka Ca saturs melleņu stādos ir liels.

Rubīdijs (Rb): Rubīdija saturs melleņu stādos ir līdzīgs un tas nav atkarīgs no parauglaukumu veida. Ir novērojama tendence, ka Rb saturs ogās ir ~4 reizes lielāks nekā saknēs. Rubīdija bioloģiskā loma augos nav zināma, taču tas nav toksisks. Pēc ķīmiskām īpašībām, tas ir līdzīgs kālijam un skaitās tā satelītelements. Rubīdija savienojumu uzņemšanas

mehānisms augos ir līdzīgs kā K gadījumā, tāpēc Rb savienojumu uzņemšanu augā ietekmē K saturs augsnē, augsnes pH un auga vitalitāte [92]. Pie tam Rb savienojumi augos vairāk tiek uzņemti augsnēs ar lielāku skābumu [93].

Kālija un rubīdija satura attiecība (K/Rb) parāda, cik efektīvi tiek uzņemts kāds no šiem savienojumiem. Ja K/Rb masas daļas attiecība <1 nozīmē, ka augos ir novērojams K deficīts, tādējādi tiek uzņemts Rb dažādu savienojumu veidā [94].

Izvērtējot mūsu pētījuma rezultātus var secināt, ka neatkarīgi no parauglaukumu veida melleņu stādos nav novērojams K deficīts (K/Rb>1).

Pētījuma ietvaros bija svarīgi arī izvērtēt potenciāli toksisko elementu (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb) saturu melleņu stādos. Izskatot literatūru, A.S. Sebič u.c. pētījumā par mikroelementu saturu ārstniecības augos uzrādīja vērtības no vairākām zinātniskām literatūrām, kuras var būt toksiskas augam. Tika apkopota informācija par potenciāli toksisko elementu optimālām vērtībām un to toksiskumu. 3.5.tabulā ir apkopots potenciāli toksisko elementu saturs melleņu stādos salīdzinājumā ar robežvērtībām, kuras augam varētu būt toksiskas [95]. Melleņu stādos (saknēs, stublājos un lapās) nav novērojama toksisko elementu palielināta koncentrācija, tā ir normas robežās.

3.5.tabula

Potenciāli toksisko elementu saturs (mg·kg⁻¹) melleņu stādos (*Vaccinium myrtillus L.*) salīdzinājuma ar to normām uz sauso masu (W_{vid}±Sn)

Teritorija	405-421-3 (SP)			608-19-21 (VP)			Optimālā robeža	Toksiskums
	Paraugs	Saknes	Stublājs	Lapas	Saknes	Stublājs		
Cu	10 ±2	7,6 ±1,0	7,7 ±1,1	7,4 ±1,6	4,4 ±1,7	5,6 ±1,6	3-15	>20
Zn	64 ±15	69 ±3	15 ±3	42 ±9	65 ±13	12,4 ±1,8	15-150	>200
Ni	0,8 ±0,2	0,16 ±0,09	0,42 ±0,13	0,77 ±0,13	0,02- 0,20	0,23 ±0,03	0,1-5	>30
Cd	0,9 ±0,3	0,09- 0,74	- ^a	0,5 ±0,3	0,16 ±0,07	- ^a	<0,1-1	>10
Cr	0,7 ±0,2	0,027 ±0,006	0,42 ±0,19	0,6 ±0,2	0,03- 0,18	0,6 ±0,3	0,1-1	>2
Pb	5 ±2	0,04- 0,32	0,07- 0,48	2,6 ±0,6	0,04- 0,24	0,12 ±0,03	1-5	>20

^aZem metodes noteikšanas robežas

Pētījumā iegūtie rezultāti tika salīdzināti arī ar datiem, kuri iegūti Polijā veiktajā pētījumā par smago metālisko elementu bioakumulāciju melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) saknēs, stublājos un lapās, kuras ievāktas no dabas rezervāta “Pazurek” un 1 km attālumā no cinka kausējuma rūpnīcas “Miasteczko Śląskie” [26] (skatīt 3.6. tabulu).

Dažu metālisko elementu saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu stādos salīdzinājumā ar citiem pētījuma rezultātiem uz sauso masu ($W_{\text{vid}\pm\text{Sn}}$)

Vieta		Meža teritorijas, kurā izkliedēti koksnes pelni (mūsu pētījuma dati)		Dabas rezervāts "Pazurek"	Cinka sakausējuma rūpnīca "Miasteczko Śląskie"
Elements	Augu daļa	SP	VP		
Cd	Saknes	0,9±0,3	0,5±0,3	1,71±0,04	23±2
	Stublājs	0,09-0,74	0,16±0,07	0,24±0,05	15±3
	Lapas	- ^a	- ^a	0,32±0,15	8±2
Pb	Saknes	5±2	2,6±0,6	99±38	838±33
	Stublājs	0,04-0,32	0,04-0,24	27±4	217±43
	Lapas	0,07-0,48	0,12±0,03	201±99	222±62
Zn	Saknes	64±15	42±9	209±3	309±63
	Stublājs	69±3	65±13	191±12	640±20
	Lapas	15±3	12,4±1,8	70,3±1,4	887±3
Fe	Saknes	151±35	216±117	139±5	149±12
	Stublājs	38±9	54±10	117±15	92±18
	Lapas	89±23	141±25	121±32	121±11
Mn	Saknes	669±270	367±157	451±16	154±3
	Stublājs	1047±557	203±21	584±71	133±28
	Lapas	1456±723	286±108	556±57	133±12

Izvērtējot iegūtos rezultātus var novērot, ka Cd, Pb un Zn saturs mūsu pētītajās melleņu stādos, ir par vairākām kārtām mazāks nekā cinka sakausējuma rūpnīcas tuvumā. Kā raksta šī pētījuma autori (Ciupa, M. K., u.c.), tad melleņu stādos ir ievērojami palielinātas šo elementu koncentrācijas netālu no cinka sakausējuma rūpnīcas teritorijā.

Salīdzinot mūsu pētījuma datus ar dabas rezervātu var novērot, ka Pb saturs rezervāta teritorijā melleņu stādos ir par vairākām kārtām lielāks nekā mūsu pētījumā, kur tika veikta koksnes pelnu izkliede. Šī raksta autori, kā iemeslu min netālu no rezervāta esošo dzelzceļu, kur tā darbības rezultātā varēja rasties Pb piesārņojums.

Izvērtējot Mn saturu melleņu stādos var novērot, ka mūsu analizētajās melleņu stādos, it īpaši no smago koksnes pelnu izkliedes teritorijas, Mn saturs ir lielāks nekā rezervātā un netālu no cinka sakausējuma rūpnīcas ievāktajos paraugos. Pētnieki secināja, ka Mn savienojumu uzņemšanu melleņu stādos var stipri ierobežot smagie metāliskie elementi.

3.7.tabulā ir apkopots mikroelementu saturs melleņu ogās (*Vaccinium myrtillus L.*) salīdzinājumā ar Polijā veiktu pētījumu, kurā tika analizēts savvaļas un kultivētu melleņu ogās [96].

3.7.tabula

Mikroelementu saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) ogās salīdzinājums ar literatūras datiem uz sauso masu ($W_{\text{vid}}\pm\text{Sn}$)

Elements	Meža teritorijas, kurā izkliedēti koksnes pelni (mūsu pētījuma dati)		Polija [96]	
	SP	VP	Savvaļas	Kultivētas
Fe	22±3	23±3	5,3-12,7	5,4-10,7
Mn	123±39	34±4	5,8-29,0	2,9-4,5
Cu	4,9±0,6	4,6±1,8	0,24-0,31	0,28-0,32
Zn	13,9±1,8	14±2	3,83-6,07	2,95-3,79
Ni	0,37±0,14	0,30±0,11	0,252-0,312	0,170-0,299
Al	25±5	41±6	12,4-16,3	13,3-17,9
Cr	0,10±0,02	0,09±0,02	0,023-0,174	0,014-0,033
Pb	0,17-3	0,13-0,24	0,266-0,556	0,276-0,315

Salīdzinot mūsu pētījuma rezultātus ar Polijas datiem, var secināt, ka mūsu pētītajās melleņu ogās Fe, Mn, Cu, Zn un Al saturs ir lielāks. Taču Ni, Cr un Pb saturs ir vienas kārtas robežās. Kā raksta pētījuma autori (Drozd, P., u.c.), tad mikroelementu saturs melleņu ogās var būt atkarīgs no augsnes tipa un reakcijas.

Mūsu mežos augošās ogas ir bagātākas ar mikroelementu saturu salīdzinājumā ar Polijā savvaļā augušām ogām.

Retzemju elementi. 3.8.tabulā ir apkopoti rezultāti par retzemju elementu saturu ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*).

3.8.tabula

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*) ($W_{\text{vid}}\pm S_n$)

Teritorija	405-421-3 (SP)					608-19-21 (VP)				
Paraugs	Augsne	Saknes	Stublājs	Lapas	Ogas	Augsne	Saknes	Stublājs	Lapas	Ogas
<i>RE (retzemju elementi)</i>										
Y	548 ±151	85 ±22	12 ±7	20 ±3	0,7 ±0,2	621 ±173 (M) ^b	230 ±31 (M) ^b	24 ±6	67 ±16	6 ±3
						288 ±89 (K) ^c	74 ±12 (K) ^c			
La	1246 ±318	179 ±43	26 ±8	43 ±23	5,0 ±1,2	3283 ±2132(M) ^b	386 ±89 (M) ^b	59 ±27	97 ±24	9 ±3
						864 ±336 (K) ^c	169 ±58 (K) ^c			
<i>VRE (vieglie retzemju elementi)</i>										
Ce	2785 ±602	318 ±85	47 ±18	82 ±48	2,7 ±0,4	5987 ±3473 (M) ^b	792 ±186 (M) ^b	115 ±49	190 ±56	13 ±6
						2001 ±602 (K) ^c	297 ±99 (K) ^c			
Pr	317 ±67	35 ±11	5 ±2	9 ±5	0,34 ±0,04	692 ±185 (M) ^b	86 ±20 (M) ^b	13 ±6	21 ±6	1,5 ±0,7
						229 ±61 (K) ^c	31 ±10 (K) ^c			
Nd	1043 ±264	136 ±36	- ^a	- ^a	1,4 ±0,3	2039 ±1146 (M) ^b	331 ±78 (M) ^b	33 ±9	83 ±32	2-7
						668 ±239 (K) ^c	117 ±33 (K) ^c			
Sm	125 ±51	25 ±8	3,8 ±1,5	7 ±4	0,25 ±0,10	254 ±174 (M) ^b	64 ±11 (M) ^b	10 ±4	16 ±5	1,0 ±0,5
						122 ±11 (K) ^c	20 ±4 (K) ^c			
Eu	44 ±9	4,8 ±1,5	5,9 ±1,5	5,7 ±1,6	0,17 ±0,02	90 ±48 (M) ^b	9,6 ±1,1 (M) ^b	6,7 ±1,0	6,8 ±1,7	0,24 ±0,13
						35 ±10 (K) ^c	3,3 ±1,4 (K) ^c			
<i>SRE (smagie retzemju elementi)</i>										
Gd	50 ±37	20 ±7	3,2 ±1,6	6 ±4	0,19 ±0,04	272 ±42 (M) ^b	54 ±10 (M) ^b	9 ±4	14 ±4	0,9 ±0,4
						175 ±20 (K) ^c	18 ±3 (K) ^c			
Tb	32 ±6	2-4	0,29 ±0,10	0,51 ±0,08	0,025 ±0,009	47 ±17 (M) ^b	7 ±4 (M) ^b	1,3 ±0,6	2,0 ±0,5	0,06- 0,23
						25 ±6 (K) ^c	1,6 ±0,2 (K) ^c			
Dy	186 ±32	17 ±5	2,4 ±1,2	3,5 ±0,5	0,15 ±0,03	259 ±77 (M) ^b	43 ±10 (M) ^b	7,5 ±3,3	12 ±3	0,7 ±0,4
						144 ±34 (K) ^c	13 ±2 (K) ^c			
Ho	36 ±6	2,7 ±1,4	0,2-0,8	0,63 ±0,09	0,031 ±0,008	47 ±12 (M) ^b	6,3 ±1,3 (M) ^b	1,3 ±0,6	2,2 ±0,6	0,011- 0,03
						28 ±6 (K) ^c	1,5 ±0,6 (K) ^c			
Er	100 ±16	7 ±3	1,3 ±0,6	1,8 ±0,3	0,02-0,09	129 ±27 (M) ^b	20 ±3 (M) ^b	4,0 ±1,8	6,3 ±1,6	0,42 ±0,18
						79 ±18 (K) ^c	6,3 ±1,3 (K) ^c			
Yb	88 ±16	6 ±3	0,5-2,0	1,4 ±0,2	0,07-0,2	107 ±6 (M) ^b	15,5 ±1,5 (M) ^b	3,1 ±1,5	5,0 ±1,2	0,4 ±0,2
						60 ±3 (K) ^c	4,0 ±0,6 (K) ^c			

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bMēslojiet parauglūkumi

^cKontroles parauglūkumi

Smago koksnes pelnu izkliedes teritorijā nav novērojamas atšķirības retzemju elementu saturā meža augsnē un melleņu stādos augušos kontroles un mēsłotos parauglaukumos.

Vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijā retzemju elementu saturs meža augsnē un melleņu stādu saknēs mēsłotos parauglaukumos ir lielāks nekā kontrolē par ~2-4 reizēm. Melleņu stublājos, lapās un ogās šāda tendence nav novērojama un retzemju elementu saturs neatkarīgi no parauglaukumu veida ir līdzīgs vai arī mainās plašā masas koncentrāciju diapazonā.

Izpētot vairākas zinātniskās publikācijas [58, 59], par retzemju elementu saturu augsnē, tad retzemju elementu savienojumiem piemīt augstāka mobilitāte skābākā augsnes reakcijā, tādējādi nodrošinot efektīvāku uzsūkšanos augos. Iespējams, pēc vieglo koksnes pelnu izkliedes meža teritorijā, meža augsnes pH kļūstot bāziskākam, augiem nebija izteikta retzemju elementu uzņemšana. Taču augsnes reakcijas pH kļūstot atpakaļ skābai, veicināja retzemju elementu savienojumu uzņemšanu.

Savstarpēji izvērtējot retzemju elementu saturu meža augsnē un mellenēs abās pelnu izkliedes teritorijās, ir novērojama tendence, ka to saturs samazinās sekojošā secībā: augsne > saknes > lapas > stublājs > ogas.

Retzemju elementu saturs melleņu augu daļās (ogās, lapās, stublājos) vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijas augsnē ir lielāks nekā smago koksnes pelnu teritorijā.

Izvērtējot retzemju elementu saturu var novērot sekojošu tendenci, VRE elementu saturs meža augsnē un mellenēs ir lielāks nekā SRE saturs. VRE ir raksturīga laba šķīdība un augstāka mobilitāte augsnē, tādējādi šie ķīmisko elementu savienojumi tiek uzņemti daudz lielākās koncentrācijās augos nekā SRE. Taču SRE augsnes šķīdumā veido daudz stabilākus kompleksos savienojumus, apgrūtinot šo savienojumu uzsūkšanos augos. Pie tam šis saturs ir atkarīgs arī no augsne veida, piemēram, SRE elementu saturs ir lielāks tieši smilšmālainā augsnē, taču mālainākā augsnē tieši otrādi VRE elementu ir vairāk [97].

Izpētot zinātnisko literatūru par retzemju elementu saturu un to uzņemšanu augos, vienā no pētījumiem, tika secināts, ka šie elementi neatkarīgi no augu sugas samazinās sekojošā secībā: saknes > lapas > stublājs > zieds > auglis [98]. Līdzīgu tendenci var novērot arī mūsu pētījuma iegūtajos datos.

Vienā no pētījumiem tika skatītas kopsakarības par retzemju elementu saturu graudaugu produktos, kuri tika mēsłoti ar mēsłojumu, kas saturēja retzemju elementus šķīstošā formā (nitrātu un hlorīdu veidā). Mēsłošana tika veikta pavasara mēnešos un paraugi tika ievākti un analizēti vasaras sezonā. Tika analizēta gan augsne, gan arī graudaugu augu daļas [99]. Iegūtie pētījuma rezultāti ir apkopoti un salīdzināti ar mūsu pētījuma rezultātiem 3.9. un 3.10. tabulās.

Retzemju elementu saturs augsnē ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) salīdzinājumā ar citiem pētījumu datiem

Elements	Meža teritorijas, kurā izklīdēti koksnes pelni (mūsu pētījuma dati)		Ķīnas provinces lauksaimniecības zemes	
	SP	VP	Pekina	Heilundzjana
Y	548±151	621±173(M) ^b	12450	10230
		288±89(K) ^c		
La	1246±318	3283±2132(M) ^b	29790	19640
		864±336 (K) ^c		
Ce	2785±602	5987±3473 (M) ^b	62120	35390
		2001±602 (K) ^c		
Sm	125±51	254±174 (M) ^b	4880	3410
		122±11 (K) ^c		
Gd	50±37	272±42 (M) ^b	5170	2990
		175±20 (K) ^c		
Er	100±16	129±27 (M) ^b	2090	1600
		79±18 (K) ^c		

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) salīdzinājumā ar citiem pētījuma datiem

Elements	Paraugs	Meža teritorijas, kurā izklīdēti koksnes pelni (mūsu pētījuma dati)		Ķīnas provinces lauksaimniecības zemes	
		Mellenes (SP)	Mellenes (VP)	Rīsi (Pekina)	Kvieši (Heilundzjana)
Y	Saknes	85±22	230±30 (M) ^b	849,9	7774
			74±12 (K) ^c		
	Stublājs	12±7	24±6	14,48	70,18
	Lapas	20±3	67±16	35,18	175,6
La	Saknes	179±43	386±89 (M) ^b	1621	17060
			169±58 (K) ^c		
	Stublājs	26±8	59±27	27,28	67,70
	Lapas	43±23	97±24	85,36	430,7
Ce	Saknes	318±85	792±186 (M) ^b	3218	32945
			297±99 (K) ^c		
	Stublājs	47±18	115±49	39,36	116,69
	Lapas	82±48	190±56	93,73	70,57
Sm	Saknes	25±8	64±11 (M) ^b	252,0	2651
			20±4 (K) ^c		
	Stublājs	3,3±1,5	10±4	297,4	3,33
	Lapas	7±4	16±5	6,15	56,61
Gd	Saknes	20±7	54±10 (M) ^b	240,1	2359
			18±3 (K) ^c		
	Stublājs	3,2±1,6	9±4	488,74	3,31
	Lapas	6±4	14±4	15,62	50,36
Er	Saknes	7±3	20±3 (M) ^b	105,8	888,6
			6,3±1,3 (K) ^c		
	Stublājs	1,3±0,6	4,0±1,8	172,3	0,90
	Lapas	1,8±0,3	6,3±1,6	4,53	20,33

Salīdzinot mūsu pētījuma rezultātus ar Ķīnā veiktajiem pētījuma rezultātiem, var secināt, ka retzemju elementu saturs augsnē un augos variē plašā koncentrāciju intervālā. Gan Ķīnas, gan mūsu pētījuma rezultātos ir novērojama tendence, ka retzemju elementu saturs augsnē un augos samazinās sekojošā secībā: augsne > saknes > lapas > stublājs. Var novērot, ka RE visvairāk uzkrājas tieši saknēs, taču lapās un stublājos to saturs ir mazāks. Kā secināja Ķīnas pētnieki, tad RE mēslojums ietekmē strauju augu augšanu, taču, lai izvērtētu RE toksisko ietekmi ir nepieciešams veikt daudz vairāk pētījumu.

3.11.tabulā ir apkopots retzemju elementu saturs melleņu ogās salīdzinājumā ar literatūras datiem. Izpētot zinātnisko rakstu datubāzi, diemžēl par melleņu (*Vaccinium*) ģints pētījumiem retzemju elementu aspektā nav datu, tāpēc tika izlemts novērot likumsakarības ar āboliem (*Malus domestica*) un zemenēm (*Fragaria*), kuri analizēti Ķīnā [100].

3.11.tabula

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) ogās izvērtējums ar literatūras datiem

Elements	SP	VP	Āboli	Zemenes
<i>RE (retzemju elementi)</i>				
Y	0,7±0,2	6±3	-	50±20
<i>VRE (vieglie retzemju elementi)</i>				
La	5,0±1,2	9±3	326±4	165±80
Ce	2,7±0,4	13±6	811±50	103±20
Pr	0,34±0,04	1,5±0,7	31±10	-
Nd	1,4±0,3	2-7	311±100	-
Sm	0,25±0,10	1,0±0,5	69±10	-
<i>SRE (smagie retzemju elementi)</i>				
Tb	0,025±0,009	0,06-0,23	-	56±24
Ho	0,31±0,09	0,11-0,3	-	24±12
Er	0,02-0,09	0,42±0,18	404±40	156±20
Yb	0,07-0,2	0,4±0,2	-	17±10

Retzemju elementu saturs augļos un ogās var variēt plašā koncentrāciju diapazonā. Ir novērojama tendence, ka neatkarīgi no paraugu veida La, Ce, Nd (VRE) masas koncentrācija augļos uzkrājas lielākā daudzumā, savukārt Yb, Ho, Tb, Y (SRE) mazākā. Šo sakarību var izskaidrot ar elementu savienojumu dažādo mobilitāti augsnē.

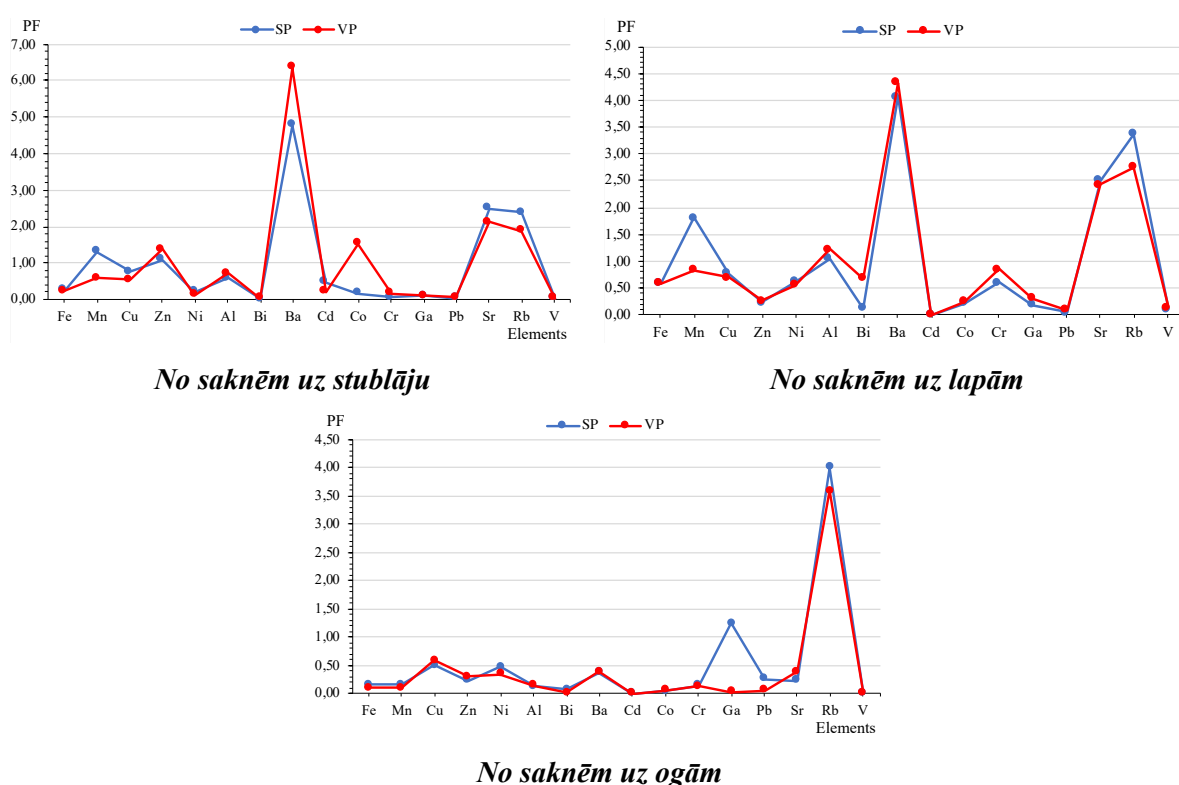
Ķīnā pētījumi retzemju elementu aspektā vairāk veikti gan agronomijas, gan industrijas nozarēs. Ķīnā augsne ir bagāta ar retzemju elementu saturu [101]. Tāpēc arī salīdzinot mūsu

pētījuma rezultātus ar Ķīnā veiktajiem pētījumiem, mēs varam saskatīt tikai likumsakarības, dēļ lielām atšķirības starp literatūras un mūsu pētījuma datiem. Latvijā un Eiropa būtiski pētījumi par retzemju elementu saturu augos un augsne nav veikti. Kā arī nav veikti pētījumi par koksnes pelnu ietekmi uz retzemju elementu saturu meža ekosistēmā.

3.3. Mikro- un retzemju elementu pārneses faktoru (PF) vērtības mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*)

Viens no veidiem kā veiksmīgi vizualizēt ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs ir izskaitļot pārneses faktoru vērtības (PF) mikro- un retzemju elementiem. Mikroelementiem pārneses faktoru vērtības tika iegūtas rēķinot masas daļas attiecību starp melleņu saknēm un dzinumam (stublājs, lapas, ogas). Taču retzemju elementiem, tika rēķināta arī attiecība masas daļas attiecība starp augsni un saknēm, lai varētu izprast, cik daudz retzemju elementu savienojumu veidā nokļūst mellenēs.

Mikroelementu pārneses faktoru vērtības. 3.1.attēlā ir grafiski attēlots mikroelementu pārneses faktoru vērtības melleņu stādos.



3.1.att. Mikroelementu pārneses faktoru vērtības

Izvērtējot mikroelementu pārneses faktoru vērtības no melleņu stādu saknēm uz dzinumiem (stublāju, lapām, ogām), var novērot sekojošās tendences.

Abās koksnes pelnu izklidētās teritorijās mikroelementu pārneses faktoru vērtībās no saknēm uz pārējām augu daļām pozitīvi korelē – neatkarīgi no meža teritorijas, pārneses faktoru vērtības ir līdzīgas.

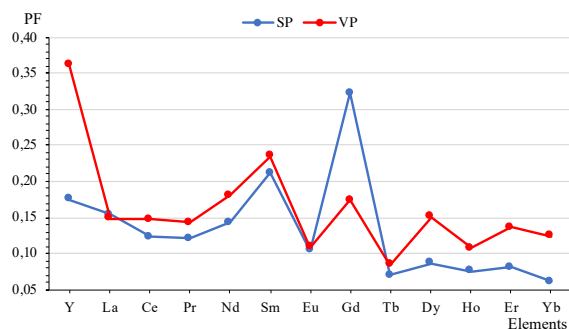
Vislielākās pārneses faktoru vērtības ($PF > 1$) ir novērojamas sekojošiem mikroelementiem:

- **Saknes/stublājs:** Mn, Zn, Ba, Co, Sr, Rb;
- **Saknes/lapas:** Mn, Al, Ba, Sr, Rb;
- **Saknes/ogas:** Ga (SP), Rb.

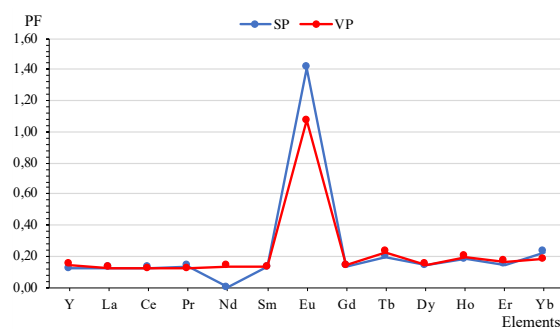
Var secināt, ka šie mikroelementi ir svarīgi augu attīstībai un augšanai, tāpēc tie tiek uzņemti lielos daudzumos melleņu dzinumos.

Vismazāk mikroelementu no melleņu stādu saknēm nokļūst ogās uz ko norāda zemās pārneses faktoru vērtības, variējot diapazonā no 0,1 līdz 0,6 (izņēmums Ga (SP) un Rb). Iegūtās vērtības norāda, ka šie elementi plūstot uz ogām tiek uzkrāti augu stublājos vai lapās, tādējādi neizraisot ogu toksicitāti. Var novērot tendenci, ka Ba un Sr visvairāk uzkrājas stublājos un lapās ($PF > 1$), taču ogās krietni mazāk ($\sim 0,2-0,4$). Rubīdija lielās pārneses faktoru vērtības ($PF > 1$) norāda uz lielu uzņemšanu visās augu stādu daļās.

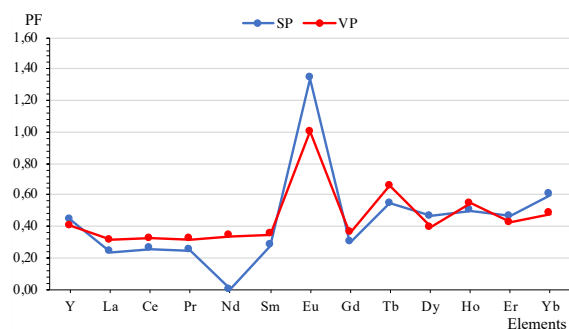
Retzemju elementu pārneses faktoru vērtības. 3.2.attēlā ir grafiski attēlots retzemju elementu pārneses faktoru vērtības gan no augsnes uz saknēm, gan no saknēm uz dzinumiem.



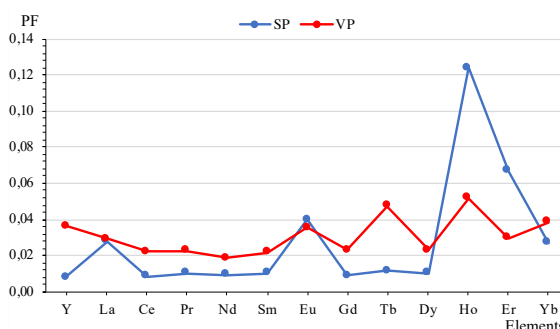
No augsnes uz saknēm



No saknēm uz stublāju



No saknēm uz lapām



No saknēm uz ogām

3.2.att. Retzemju elementu pārneses faktoru vērtības

Izvērtējot retzemju elementu pārnese faktoru vērtības no augsnes uz saknēm un no saknēm uz pārejām augu daļām ir novērojamas sekojošas tendences.

Neatkarīgi no koksnes pelnu veida, kas tika izmantots mēslošanā, retzemju elementu saturs abās teritorijās pozitīvi korelē, it sevišķi, tas ir novērojams no saknēm uz stublāju. Ir novērojama tendence, ka retzemju pārnese faktoru vērtības no melleņu saknēm uz pārejām augu daļām samazinās sekojošā secībā: Lapas > Stublājs > Ogas. Vislielākās pārnesanas faktoru vērtības ($PF > 1$) ir novērojams Eu, kur no melleņu stādu saknēm uzkrājas tieši lapās un stublājos, taču ogās to saturs ir mazāks. Ir novērojams, ka vieglo koksnes pelnu izkliedes teritorijā pārnese faktoru vērtības ir lielākas nekā smago koksnes pelnu izkliedes teritorijā, kas ir izskaidrojams ar to, ka šajā teritorijā augsnē un melleņu stādu saknēs ir novērojama atšķirība starp mēslojumiem un kontroles parauglaukumiem.

Izpētot zinātnisko literatūru, Kubā tika veikts pētījums par retzemju elementu pārnese faktoru vērtībām no augsnes uz rīsiem (*Oryza sativa L.*) (saknēm, stublāju, lapām un graudiem). Pētījuma rezultāti parādīja, ka retzemju elementu pārnese faktoru vērtības variē robežās 0,4-1,3. Tika secināts, Eu, Ho un Yb visvairāk uzkrājas rīsu lapās un stublājos ($PF > 1$). La, Ce, Pr un Sm ir izteikti zemas pārnese faktoru vērtības, rīsu dzinumos, tādējādi pētnieki secināja, ka šie elementi saknēs tiek aizturēti [102]. Salīdzinot ar mūsu pētījuma datiem, līdzīgu tendenci var novērt Eu gadījumā.

Izvērtējot iegūtos rezultātus par koksnes pelnu ietekmi makro-, mikro- un retzemju elementu saturu meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*), ir novērojamas būtiskas atšķirības retzemju elementu aspektā. Sadarbojoties ar LVMI "Silava" var turpināt attīstīt doto pētījumu, lai iegūtu lielāku informāciju par koksnes pelnu ietekmi tieši uz retzemju elementu saturu meža ekosistēma (augos, augsnē un koksnes pelnos).

SECINĀJUMI

1. Meža augsnes apmaiņas skābuma izmaiņas nepārsniedz $\sim 0,2$ pH vērtības, var secināt, ka augsnes pH nav svarīgs faktors ķīmisko elementu pārnēsē no augsnes uz augu daļām.
2. Koksnes pelnu izkliede ($3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) mežā trīs gadu garumā nav nozīmīgi izmainījusi makro- un mikroelementu saturu melleņu stādos (*Vaccinium myrtillus L.*).
3. Vieglo koksnes pelnu izkliede mežā trīs gadu gaitā ir palielinājusi makroelementu koncentrāciju augsnē ~ 2 reizes.
4. Vieglo koksnes pelnu izkliede mežā ir palielinājusi retzemju elementu koncentrāciju par $\sim 2-4$ reizēm kā augsnes tā arī melleņu stādu saknēs, kas iespējams saistīts ar palielinātu šo elementu saturu vieglajos koksnes pelnos.
5. Mikro- un retzemju elementu koncentrācija ir lielāka lapās un saknēs, salīdzinājumā ar stublāju un ogām, kas saskan ar literatūras datiem.
6. Elementu pārvešanas faktoru (PF) vērtības no melleņu saknēm uz dzinumiem mikro- un retzemju elementi pozitīvi korelē, neatkarīgi no pētītās meža teritorijas un augsnes tipa.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Okmanis, M.; Skranda, I.; Lazdiņš, A.; Lazdiņa, D. Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil. *Research for rural development*. **2016**, 2, 62-68.
2. Okmanis, M.; Petaja, G.; Lupiķis, A. Productivity of mechanized wood ash application in forest. *Research for rural development*. **2017**, 1, 62-68.
3. Teixeira, E. R.; Camoes, A.; Branco, F. G. Valorisation of wood fly ash on concrete. *Resources, Conservation & Recycling*. **2019**, 145, 292-310.
4. Carpenter, D.; Boutin, C.; Allison, J. E.; Parsons, J. L.; Ellis, D. M. Uptake and Effects of Six Rare Earth Elements (REEs) on Selected Native and Crop Species Growing in Contaminated Soils. *Plos One*. **2015**, 10, 1-21.
5. Siddique, R. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. *Resources, Conservation & Recycling*. **2012**, 67, 27-33.
6. Petrovský, E.; Remeš, J.; Kapička, A.; Podrázský, V.; Grison, H.; Borůvka, L. Magnetic mapping of distribution of wood ash used for fertilization of forest soil. *Science of the Total Environment*. **2018**, 626, 228-234.
7. Pogulis, A.; *Wood ash and vermicompost effect on peas cv. Lāsma seed yield and quality*. Zinātniskā praktiskā conference “Līdzsvarota lauksaimniecība”, 23.02.2017., LLU, Jelgava, Latvija.
8. Andreasen, T. B.; Nielsen, J. T.; Voriskova, J.; Heise, J.; Rønn, R.; Kjøller, R.; Hansen, H. C. B., Jacobsen, C. S. Wood ash induced pH changes strongly affect soil bacterial numbers and community composition. *Original research*. **2017**, 8, 1-14.
9. Pasanen, J.; Louekari, K.; Malm, J. *Cadmium in wood ash used as fertilizer in forestry: risks to the environment and human health*; Ministry of Agriculture and Forestry, 2001; pp 10-11.
10. Goswami, G.; Purohit, B.; Arona, J. *Fly ash waste management – a congenial approach*; 2nd International conference on “Innovative Trends in Science, Engineering and Management”, 2016; pp 181-183.
11. Agrela, F.; Cabrera, M.; Morales M. M.; Zamorano, M.; Alshaaer, M. Biomass fly ash and biomass bottom ash. *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*. **2019**, 5, 23-58.
12. Modolo, R. C. E.; Silva, T.; Senff, L.; Tarelho, L. A. C. Bottom ash from biomass combustion in BFB and its use in adhesive-mortars. *Fuel Proc. Technol*. **2015**, 129, 192-202.
13. Alberto, M. *Characterization of wood combustion ashes*; DTU, 2017; pp 9-15.

14. Vassilev, S. V.; Baxter, D.; Andersen, L. K.; Vassileva, C. G. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel*. **2013**, *105*, 40-76.
15. Huseien, G. F.; Mirza, J.; Ismail, M.; Hussin, M. W. Influence of different curing temperatures and alkali activators on properties of GBFS geopolymer mortars containing fly ash and palm-oil fuel ash. *Constr. Build. Mater.* **2016**, *125*, 1229-1240.
16. Lucas, S. J.; Martian, T. O.; Liam, B. H.; Frank, N. A. M. P.; John, O.; Marcel, A. K. J. Wood ash residue causes a mixture of growth promotion and toxicity in *Lemna minor*. *Science of the Total Environment*. **2018**, *625*, 667-676.
17. Gemelli, E.; Cruz, A. A. D. F.; Camargo, N. H. A. A study of the application of residue from burned biomass in mortars. *Mater. Res.* **2004**, *7*, 545-556.
18. Fuller, A.; Stegmaier, M.; Schulz, N.; Menke, M.; Schellhorn, H.; Knödler, F.; Maier, J.; Scheffknecht. Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering. *Construction and Building Materials*. **2018**, *189*, 825-848.
19. Soil pH and the availability of plant nutrients. [tiešsaiste] <https://www.nutrientstewardship.com/implementation/soil-ph-and-the-availability-of-plant-nutrients/> (skatīts 22.03.2019).
20. Hansen, M.; Andreassen, T. K.; Sørensen, H.; Ingerslev, M. Micro vertical changes in soil pH and base cations over time after application of wood ash on forest soil. *Forest Ecology and Management*. **2017**, *406*, 274-280.
21. Ocheцова, P.; Tlustos, P.; Szakova, J. Wheat and Soil Response to Wood Fly Ash Application in Contaminated Soils. *Agronomy, Soils & Environmental Quality*. **2014**, *3*, 995-1002.
22. Addis, W.; Abebaw, A. Determination of heavy metal concentration in soils used for cultivation of *Allium sativum L.* (garlic) in East Gojjam Zone, Amhara Region, Ethiopia. *Cogent Chemistry*. **2017**, *3*, 1-12.
23. Hartemink, A. E.; Zhang, Y.; Bockheim, J. G.; Curi, N.; Silva, S. H. G.; Grauer-Gray, J.; Lowe, D. J.; Krasilnikov, P. Soil horizon variation: A review. *Advances in Agronomy*. **2020**, *160*, 125-178.
24. Colombi, T.; Walder, F.; Buchi, L.; Sommer, M.; Liu, K.; Six, J.; Heijden, M. G. A.; Charles, L.; Keller, T. On-farm study reveals positive relationship between gas transport capacity and organic carbon content in arable soil. *Soil*. **2019**, *5*, 91-105.
25. Saxton, D. I. Ethnographic movement methods: anthropology takes on the pesticide industry. *Journal of Political Ecology*. **2015**, *22*, 368-388.

26. McGrath, J. M.; Spargo, J.; Penn, C. J. Soil Fertility and Plant Nutrition. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. **2014**, 5, 166-184.
27. Baxter, N.; Williamson, J. *Know your soils. Introduction to Soil. Part 1*; Centre for Land Protection Research, 2001; pp 3-6.
28. Kavel, S. D.; Gural, S. T. *The Composition of Soils and Sediments*; Green Chemistry, 2018; pp 339-357.
29. Kasparinskis, R. *Latvijas meža augšņu daudzveidība un to ietekmējošie faktori*; Promocijas darbs, Latvijas Universitāte, 2012; 12-13 lpp.
30. Meža iedalījums. [tiešsaiste] <http://biodiv.daba.gov.lv/cooperation/mezi/fo1720519> (skatīts 21.06.2019).
31. Schoonover, J. E.; Crim, J. F. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*. **2015**, 154, 21-47.
32. Balasubramanian, A. *Chemical properties of soils*; University of Mysore, 2017; pp 4-6.
33. Neina, D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. **2019**, 1, 1-9.
34. Zoratti, L.; Klemetilä, H.; Jaakola, L. *Bilberry (Vaccinium myrtillus L.) Ecotypes*; National Composition of Fruit Cultivars, 2016; pp 83-86.
35. Nebst, R.; Percival, D.; Martinussen, I.; Opstad, N.; Rohloff, J. The European blueberry (*Vaccinium myrtillus L.*) and the potential for cultivation. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. **2011**, 5, 5-16.
36. Läuchli, A.; Grattan, S. R. *Soil pH Extremes – Plant Stress Physiology*; CAB, 2012; pp 194-196.
37. Hart, J.; Horneck, R. S.; Bell, N.; Cogger, C. *Acidifying Soil for Blueberries and Ornamental Plants in the Yard and Garden*; Oregon State University Extension Service, 2003; pp 1-5.
38. Kandziora, C. N.; Socha, N. A.; Barczyk, G.; Ciepal, R. Bioaccumulation of heavy metals and ecophysiological responses to heavy metal stress in selected populations of *Vaccinium myrtillus L.* and *Vaccinium vitis-idaea L.* *Ecotoxicology*. **2017**, 7, 966-980.
39. Rodushkin, I.; Odman, F.; Holmstrom, H.; Multi-element analysis of wild berries from northern Sweden by ICP techniques. *The Science of the Environment*. **1999**, 231, 53-65.
40. Naeem, M.; Ansari, A. A.; Gill, S. S. *Essential Plant Nutrients Uptake, Use Efficiency, and Management*; Springer, 2017; pp 3-5.

41. Vojjant, B.; Abdullah, S. R. S.; Basri, H.; Idris, M.; Anuar, N.; Mukhlisin, M. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. **2011**, *1*, 1-31.
42. Shukla, R.; Sharma, Y. K.; Shukla, A. K. Molecular mechanism of nutrient uptake in plants. *International Journal of Current Research and Academic Review*. **2014**, *2*, 142-154.
43. Fageria, N. K.; Moreira, A.; Moraes, L. A. C.; Moraes, M. F. Root Growth, Nutrient Uptake, and Nutrient-Use Efficiency by Roots of Tropical Legume Cover Crops as Influenced by Phosphorus Fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **2014**, *5*, 555-569.
44. Kottke, I.; Nebel, M. The evolution of mycorrhiza-like associations in liverworts. *New Phytologist*. **2005**, *2*, 330-334.
45. Bucking, H.; Liepold, E.; Ambilwade, P. *The Role of the Mycorrhizal Symbiosis in Nutrient Uptake of Plants and the Regulatory Mechanisms Underlying These Transport Processes*; Plant Science, 2012; pp 108-112.
46. Mycorrhizal Fungi Trials. [tiešsaiste] https://environmentcelebration.com/success_story/mycorrhizal-fungal-trials/ (skatīts 04.04.2020).
47. Santner, J.; Smolders, E.; Wenzel, W. W.; Degryse, F. First observation of diffusion-limited plant root phosphorus uptake from nutrient solution. *Plant, Cell & Environment*. **2012**, *9*, 1558-1566.
48. Greger, M. *Uptake of nuclides by plants*; Swedish Nuclear Fuel, 2004; pp 13-18.
49. Adler, P. R.; Cumming, J. R.; Arora, R. Nature of Mineral Nutrient Uptake by Plants. *Agricultural Sciences*. **2009**, *1*, 355-387.
50. Bitterli, C.; Banuelos, G. S.; Schulin, R. Use of transfer factors to characterize uptake of selenium by plants. *Journal of Geochemical Exploration*. **2010**, *2*, 206-216.
51. Centofanti, T.; Penfield, R.; Albrecht, A.; Pellerin, S.; Fluhler, H.; Frossard, E. Is the Transfer Factor a Relevant Tool to Assess the Soil-to-Plant Transfer of Radionuclides under Field Conditions?. *Journal of Environmental Quality*. **2005**, *6*, 1972-1979.
52. Melo, L. C. A., Alleoni, E. B. S.; Alleoni, L. R. F. Transfer of Cadmium and Barium from soil to crops grown in tropical soil. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*. **2014**, *6*, 1939-1949.
53. Mirecki, N.; Agic, R.; Sunic, L.; Milenkovic, L.; Ilic, Z. S. Transfer Factor as Indicator of Heavy Metals Content in Plants. *Fresenius Environmental Bulletin*. **2015**, *24*, 4212-4219.

54. Tripathi, D. K.; Singh, V. P.; Chauhan, D. K.; Prasad, S. M.; Dubey, N. K. Role of Macronutrients in Plant Growth and Acclimation: Recent Advances and Future Prospective. *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes*. **2014**, 2, 197-216.
55. Vatansever, R.; Ozyigit, I. I.; Filiz, E. Essential and Beneficial Trace Elements in Plants, and Their Transport in Roots: a Review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. **2017**, 181, 464-482.
56. Lobato, A. K. S., Lima, E. J. A., Lobato, E. M. S. G.; Maciel, G. M., Marques, D. J. *Tolerance of Plants of Toxicity Inducted by Micronutrients; Abiotic and Biotic Stress in Plants – Recent Advances and Future Perspectives*, 2016; pp 229-246.
57. Haes, H. A. U.; Voortman, R. L.; Bastein, T.; Bussink, D. W.W.; Rougoor, C. W.; Weijden, W. J. *Scarcity of micronutrients in soil, feed, food, and mineral reserves; Platform Agriculture, Innovative & Society*, 2012, pp 10-20.
58. Brioschi, L.; Steinmann, M.; Lucot, E.; Pierret, M. C.; Stille, P.; Prunier, J.; Badot, P. M. Transfer of rare earth elements (REE) from natural soil to plant systems: implications for the environmental availability of anthropogenic REE. *Plant Soil*. **2013**, 366, 143-163.
59. Tyler, G. Rare earth elements in soil and plant systems – A review. *Plant and soil*. **2004**, 267, 191-206.
60. Tao, L.; Shiming D.; Wenchong, S.; Zhongyi, C.; Chaosheng, Z.; Haitao, L. A review of fractions of rare earth elements in plants. *Journal of rare elements*. **2008**, 26, 7-15.
61. Khan, A. M.; Yusoff, I.; Barak, A. N. K.; Barak, A. A. F.; Alias, Y.; Mispan, M. S. Accumulation, uptake and bioavailability of rare earth elements (REES) in soil grown plants from ex-mining area in Perak, Malaysia. *Applied ecology and environmental research*. **2016**, 15, 117-133.
62. Mahmood, T.; Anwar, F.; Iqbal, T.; Ahmad, I. B.; Ashraf, M. Mineral composition of strawberry, mulberry and cherry fruits at different ripening stages as analysed by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy. *Journal of Plant Nutrition*. **2011**, 35, 111-122.
63. Pauline, L. H.; Säumel, I. Orchards for edible cities: Cadmium and lead content in nuts, berries, pome and stone fruits harvested within the inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **2014**, 101, 233-239.
64. Martínez, E. J. L.; Spínola, V.; Castihlo, P. C. Evaluation of the inorganic content of six underused wild berries from Portugal: Potential new sources of essential minerals. *Journal of Food Composition and Analysis*. **2017**, 59, 153-160.
65. Zeiner, M.; Cindrič, I. V. Harmful Elements (Al, Cd, Cr, Ni, and Pb) in Wild Berries and Fruits Collected in Croatia. *Toxics*. **2018**, 6, 2-10.

66. Pavlović, J. L.; Mitić, S. M.; Mitić, M. N.; Pavlović, A. N.; Micić, R. J.; Stojković, M. B. Multielement Analysis of South Serbian Strawberry Cultivars by Inductively Coupled Plasma—Optical Emission Spectrometry. *Analytical letters*. **2017**, *5*, 162-183.
67. Zeiner, M.; Cindric, J.; Konanov, D. M.; Stingeder, G. Determination of selected toxic elements in leaves of White Hawthorn grown in a remote area. *Web of Conferences*. **2013**, *1*, 1-3.
68. Bhat, R.; Kiran, K.; Arun, A. B.; Karim, A. A. Determination of Mineral Composition and Heavy Metal Content of Some Nutraceutically Valued Plant Products. *Food Analytical Methods*. **2010**, *3*, 181-187.
69. Лакиза, Н. В.; Неудачина, Л. К. *Анализ пищевых продуктов*; Издательство уральского университета, 2015; с 9-10.
70. Maurya, A.; Kesharwani, L.; Mishra, M. K. Analysis of Heavy Metal in Soil through Atomic Absorption Spectroscopy for Forensic Consideration. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*. **2018**, *6*, 1188-1192.
71. Sabudak, T.; Seren, G.; Kaykioglu, G.; Dincer, A. R. Determination of trace elements in soil and sunflower (*Helianthus annuus L.*) plant parts. *Fresenius Environmental Bulletin*. **2007**, *16*, 1274-1278.
72. Addis, W.; Abebaw, A. Determination of heavy metal concentration in soils used for cultivation of *Allium sativum L.* (garlic) in East Gojjam Zone, Amhara Region, Ethiopia. *Cogent Chemistry*. **2017**, *3*, 1-12.
73. Gaudino, S.; Galas, C.; Belli, M.; Barbizzi, S.; Zorri, P.; Jacimovic, R.; Jeran, Z.; Pati, A.; Sansone, U. The role of different soil sample digestion methods on trace elements analysis: a comparison of ICP-MS and INAA measurement results. *Accreditation and Quality Assurance*. **2007**, *12*, 84-93.
74. Gałazka, R. *Modern analytical methods in environmental analysis – ICP-MS technique*; Institute of Soil Science and Plant Cultivation, 2011; pp 1-2.
75. Bazilio, A.; Weinrich, J. *Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry (ICP-MS)*; Hartford, 2012; pp 2-3.
76. Elements Measurable by ICP-MS. [tiešsaiste] <https://cais.uga.edu/facilities/plasma-chemistry-facility/guide-selecting-the-most-suitable-technique/> (skatīts 04.05.2019).
77. Profrock, D.; Prange, A. Inductively Coupled Plasma– Mass Spectrometry (ICP-MS) for Quantitative Analysis in Environmental and Life Sciences: A Review of Challenges, Solutions, and Trends. *Applied Spectroscopy*. **2012**, *66*, 843-868.
78. Thomas, R. *Practical Guide to ICP-MS*; Marcel Dekker Inc, 2013; pp 23-26.

79. Elemental analysis & Trace metals by ICP-MS. [tiešsaiste] <https://www.slideshare.net/KarumazziLohitha/elemental-analysis-trace-metals-by-icpms> (skatīts 22.05.2019).
80. Liu, Y. S.; Hu, Z. C.; Li, M.; Gao, S. Applications of LA-ICP-MS in the elemental analyses of geological samples. *Chinese Science Bulletin*. **2013**, *58*, 3863-3878.
81. General Atomic Spectroscopy Energy Levels, Absorption, Emission, Atomization Atomic Absorption: Flame, Furnace, HYDR [tiešsaiste] <https://www.slideserve.com/hester/general-atomic-spectroscopy-energy-levels-absorption-emission-atomization-atomic-absorption-flame-furnace-hy> (skatīts 30.03.2020).
82. Agilent 7500 Series ICP-MS An Introduction. [tiešsaiste] <https://slideplayer.com/slide/4949682/> (skatīts 30.03.2020).
83. Okmanis, M.; Polmanis, A.; Lazdiņš, A. *Koksnes pelnu izkļiedšana un izmaksu darba ražīguma novērtējums*; LVMI "Silava", 2016; 2 lpp.
84. Symanowicz, B.; Becher, M.; Jaremko, D.; Skwarek, K. Possibilities for the Use of Wood Ashes in Agriculture. *Journal of Ecological Engineering*. **2018**, *19*, 191-196.
85. Rysen, J. B. J.; Ndlovu, H. Wood ash in livestock nutrition: 1. Factors affecting the mineral composition of wood ash. *Applied Animal Husbandry & Rural Development*. **2018**, *11*, 53-51.
86. Pormale, J.; Osvalde, A.; Nollendorfs, V. Comparison study of cultivated highbush and wild blueberry nutrient status in producing plantings and woodlands, Latvia. *Latvian Journal of Agronomy*. **2009**, *12*, 80-87.
87. Socha, A. L.; Guerinto, M. L. Mn-coupling manganese: the role of transporter gene family members in manganese uptake and mobilization in plants. *Frontiers in Plant Science*. **2014**, *5*, 1-16.
88. Importance of Boron in Plant Growth. [tiešsaiste] <https://www.cropnutrition.com/importance-of-boron-in-plant-growth> (skatīts 16.01.2020).
89. Quintal, B. E.; Magana, C. E.; Machado, I. E.; Estevez, M. M. Aluminium, a Friend of Foe Higher Plants in Acid Soils. *Frontiers in Plant Science*. **2017**, *8*, 1-18.
90. Rout, G.; Samantaray, S.; Das, P. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*. **2001**, *21*, 3-21.
91. Burger, A.; Lichtscheidl, I. Strontium in the environment: Review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes. *Science of the Total Environment*. **2019**, *653*, 1458-1512.

92. Gjengedal, E.; Steinnes, E. The mobility of metals in the soil-plant system in manipulated catchments: Plant species suitable for biomonitoring of Cd, Pb, Zn, and Rb. *Ecological Engineering*. **1994**, *3*, 267-278.
93. Tyler, G. Influence of acidity and potassium saturation on plant uptake of indigenous soil rubidium. *Environmental and Experimental Botany*. **1997**, *2*, 181-186.
94. Love, D.; Romney, R. B.; Burch, G. E. A Comparison of the Distribution of Potassium and Exchangeable Rubidium in the Organs of Dog, Using Rubidium. *Circulation Research*. **1954**, *2*, 112-122.
95. Sebič, A. S.; Maksimovič, J.; Dinič, Z.; Poštič, D.; Iličič, R.; Stanojkovič, A.; Pivič, R. Microelements and Heavy Metals Content in Frequently Utilized Medical Plants Collected from the Power Plant Area. *Natural Product Communications*. **2017**, *12*, 185-188.
96. Drozd, P.; Seziene, V.; Pyrzyńska, K. Mineral Composition of Wild and Cultivated Blueberries. *Biol. Trace Elem. Res.* **2018**, *1*, 173-177.
97. Karadas, C.; Kara, D. Preconcentration of Rare Earth Elements Using Amberlite XAD-4 Modified With 2,6-Pyridinedicarboxaldehyde and Their Determination by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Water, Air, & Soil Pollution*. **2014**, *225*, 1-10.
98. El-Ramady, H. R. Ecotoxicology of rare earth elements: *Ecotoxicology of rare earth elements within soil and plant environments*; Faculty of Agriculture, Kafr EL-Sheikh University, 2010, pp 19-22.
99. Wen, B.; Yuan, D.; Shan, X.; Li, F.; Zhang, S. The influence of rare earth element fertilizer application on the distribution and bioaccumulation of rare earth elements in plants under field conditions. *Chemical Speciation & Bioavailability*. **2001**, *13*, 39-48.
100. Li, F. K.; Gong, A. J.; Qiu, L. N.; Zhang, W. W.; Li, J. R.; Liu, Y.; Li, J. D.; Gao, G.; Yuan, X. T. Determination of trace rare earth elements in fruits by microwave digestion coupled with inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Microchemical Journal*. **2019**, *147*, 93-101.
101. Ramos, S. J.; Dinali, G. S.; Oliveira, C.; Martins, G. C.; Moreira, C. G.; Siqueira, J. O.; Guilherme, L. R. G. Rare Earth Elements in the Soil Environment. *Current Pollution Reports*. **2016**, *2*, 28-50.
102. Perez, M. A. M.; Rizo, O. D.; Tavella, M. J.; Bague, D.; Perez, J. M. S. Soil-to-Plant Transfer Factors of Rare Earth Elements in Rice (*Oryza sativa L.*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. **2018**, *27*, 1-8.

PIELIKUMI

1. **Pielikums.** LU 77. starptautiskās zinātniskās konferences, ķīmijas sekcijas tēzes

THE EFFECT OF THE USE OF WOOD ASH ON METALLIC ELEMENTS CONTENT IN THE FOREST FLOOR, SOIL, AND BLUEBERRIES (*VACCINIUM MYRTILLUS*)

Vitālijs Lazarenko¹, Vita Rudoviča¹, Zaiga Anna Zvaigzne²,
Modris Okmanis², Māris Bērtiņš¹

¹ University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgavas iela 1, Rīga, Latvia

² Latvian State Forest Research Institute "Silava", Rīgas iela 111, Salaspils, Latvia

E-mail: vitalijs.lazarenko@lu.lv

The aim of our research was to analyze the influence of wood ash on metallic elements content in the forest floor, soil and blueberries.

Samples of blueberries, soil and forest floor for quantifying the chemical content of metallic elements were collected from three different sampling plots. The first sampling plot was fertilized with bottom ash in February 2018, but the second and third plots were fertilized with fly ash in February 2017. Three tons of wood ash were used for the area of one hectare.

Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) samples were collected at the end of August and in early September 2018. The samples of soil and forest ground were collected at the end of October 2018. Soil samples were collected in two depth layers: 0–10 cm and 10–20 cm. After collecting, the samples of soil and forest floor were air-dried.

The unwashed blueberries were dried at 50 °C and mineralized in the mixture HNO₃:H₂O₂ (6:2) using the closed microwave digestion system. The concentration of the elements in the sample solutions was determined by ICP-MS.

The air-dried and sieved soil samples were extracted in 1M HNO₃ solution. The concentration of metallic elements was determined by TXRF and as the internal standard was used gallium standard solution. The ash was dissolved in conc. HNO₃ and the forest floor samples were ashed in muffle at 550 °C. The concentration of metallic elements was determined by TXRF.

The results show that the cadmium content in the first sampling plot fertilized with bottom ash is about 1.5 times higher values than in the second and third sampling plot cases fertilized with fly ash. The content of other metallic elements in blueberries from controlled and fertilized plots is similar.

The content of determined elements in the soil samples has no noticeable differences between the controlled and fertilized sampling plots. It was found that the concentration of metallic elements determined in the soil samples doesn't exceed the maximum permissible limits, defined by the Regulations No 804 of the Government of the Republic of Latvia.

In the first plot, the concentration of manganese in blueberries and soil samples was higher than in other sampling plots. The peaty soil collected in the first plot had similar content of nickel, zinc, strontium and lead in different depth levels. The content of copper was higher in the layer of depth 10–20 cm. In the second sapling plot, it was determined that the content of manganese, nickel, and lead is higher on all levels of depth in comparison with other plots.

Acknowledgement: This work was supported by Short term scientific mission organized in scope of project "Research program on improvement of forest growth conditions 2016–2021" No 5-5.5_000z_101_16_31

THE EFFECT OF THE USE OF WOOD ASH ON METALLIC ELEMENTS CONTENT IN THE FOREST FLOOR, SOIL AND BLUEBERRIES (*VACCINIUM MYRTILLUS*)

Vitālijs Lazarenko¹, Vita Rudoviča¹, Arturs Vīksna¹, Zaiga Anna Zvaigzne², Modris Okmanis²

¹University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgavas iela 1, Riga, Latvia

²Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Rīgas iela 111, Salaspils, Latvia
vitalijs.lazarenko@lu.lv

The aim of our research was to analyze the influence of wood ash on metallic elements content in the forest floor, soil and blueberries.

Samples of blueberries, soil and forest floor for quantifying the chemical content of metallic elements were collected from three different sampling plots. The first sampling plot was fertilized with bottom ash in February 2018, but the second and third plots were fertilized with fly ash in February 2017. Three tons of wood ash were used for the area of one hectare.

Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) samples were collected at the end of August and in early September 2018. The samples of soil and forest ground were collected at the end of October 2018. Soil samples were collected in two depth layers: 0-10 cm and 10-20 cm. After collecting, the samples of soil and forest floor were air-dried.

The unwashed blueberries were dried at 50°C and mineralized in the mixture HNO₃:H₂O₂ (6:2) using the closed microwave digestion system. The concentration of the elements in the sample solutions was determined by ICP-MS.

The air-dried and sieved soil samples were extracted in 1M HNO₃ solution. The concentration of metallic elements was determined by TXRF and as the internal standard was used gallium standard solution. The ash was dissolved in conc. HNO₃ and the forest floor samples were ashed in muffle at 550°C. The concentration of metallic elements was determined by TXRF.

The results show that the cadmium content in the first sampling plot fertilized with bottom ash is about 1.5 times higher values than in the second and third sampling plot cases fertilized with fly ash. The content of other metallic elements in blueberries from controlled and fertilized plots is similar.

The content of determined elements in the soil samples has no noticeable differences between the controlled and fertilized sampling plots.

In the first plot, the concentration of manganese in blueberries and soil samples was higher than in other sampling plots. The peaty soil collected in the first plot had similar content of nickel, zinc, strontium and lead in different depth levels. The content of copper was higher in the layer of depth 10-20 cm. In the second sapling plot, it was determined that the content of manganese, nickel, and lead is higher on all levels of depth in comparison with other plots.

This work was supported by Short term scientific mission organized in scope of project “Research program on improve of forest growth conditions 2016-2021”.

Use of wood ash in the forest and its effect on the concentration of metallic elements in soil and blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.)

Vitālijs Lazarenko¹, Vita Rudoviča¹, Arturs Vīksna¹,
Zaiga Anna Zvaigzne², Modris Okmanis²

¹Faculty of Chemistry, University of Latvia, Latvia

²Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Latvia
e-mail: vitalijs.lazarenko@lu.lv

One of the main goals of the forest policy in Latvia is to preserve and increase the amount of the forest land areas. After deforestation soil nutrient reserves and the buffer capacity reduces, resulting soil acidification and deterioration of growing conditions. Acidification process increases the solubility of toxic elements, resulting leaching of these compounds to the deepest soil layers and water reservoirs. To prevent these processes and to improve forest growth condition, wood ash is used as a fertilizer¹. Wood ash is a biological residue produced by the combustion of wood or their products (chips, sawdust, etc). They are rich with macro- and micro- nutrients but have relatively low nitrogen content.

The use wood ash as a fertilizer allows to solve two important problems: ensures efficient utilization and disposal of wood ash from industrial areas, improves tree growth conditions in the forests².

The aim of this research is to evaluate the influence of wood ash in the forest and its impact on the metallic elements content of the soil and blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.).

For the metallic element analysis, we have chosen two different types of samples: blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and soil at two depth levels (0-10 cm, 10-20 cm) which was collected in early autumn 2018.

For sampling sites, we have chosen two forest areas which were fertilized with wood ash: Skultes parish (bottom ash) and Valgundes parish (fly ash) in Latvia. The amount of wood ash for fertilization was approximately 3 tons per one hectare. For each area two different types of sampling plots were selected: fertilized and control.

Significant differences were observed between fertilized and control plots for K and Ca content. The results have shown that regardless of the soil depth, elemental content in the fertilized plots are ~2-2.5 times higher than in the control plots. Similar tendency can be observed for the content of Ni and Cu (~2 times). The results show that the content of metallic elements in blueberries in every area are similar and does not depend on the type of sampling plot.

Acknowledgments

This work was supported by Short term scientific mission organized in scope of project “research program on improvement of forest growth conditions 2016–2021” no 5-5.5_000z_101_16_31.

References

1. Okmanis, M.; Skranda, I.; Lazdiņš, A.; Lazdiņa, D. Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil. *Research for rural development* **2016**, *2*, 62-68.
2. Siddique, R. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. Resources, *Conservation & Recycling* **2012**, *67*, 27-33.

USE OF WOOD ASH IN THE FOREST AND ITS EFFECT ON THE MICRO- AND RARE EARTH ELEMENT FLOW IN BLUEBERRIES (*VACCINIUM MYRTILLUS* L.)

Vitālijs Lazarenko¹, Vita Rudoviča¹, Arturs Viksna¹, Māris Bērtiņš¹,
Zaiga Anna Zvaigzne², Modris Okmanis²

¹ University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgavas iela 1, Rīga, Latvia

² Latvian State Forest Research Institute "Silava", Rīgas iela 111, Salaspils, Latvia

E-mail: vitalijs.lazarenko@lu.lv

Wood ash is a biological residue produced by the combustion of wood or their products (chips, sawdust, etc). They are rich in macro- and trace elements but have relatively low nitrogen content. During combustion processes, two different ash fractions are produced: fly ash and bottom ash. Using wood ash as a fertilizer allows to solve three important problems: ensures efficient utilization and disposal of wood ash from industrial areas, improves tree growth conditions in the forests and prevents valuable nutrients from being wasted.

Some studies have showed that wood ash affects only the topsoil. Wood ash contains not only macro nutrients, but also heavy metallic elements which can cause poisoning of a plant. For example, wood ash may contain increased amounts of Cd or As.

The wild-growing blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) is one of most popular berries which are common throughout Europe. They are deciduous species as they shed leaves during fall seasons preparing for winter. Blueberries can serve as a model species in the forest due to their place in the ecological system. That's why it is important to study blueberries and they response to any changes (including fertilization), especially in terms of macro- and trace element content.

The aim of our research was to analyse the flow of micro- and rare earth elements in blueberries (berries and roots) in the forest areas which was fertilized with wood ash.

For this research were selected two forests areas which was fertilized with wood ash approximately 3 tons per hectare. Forests are dominated by pine species (*Pinus sylvestris* L.). Two different types of sampling plots were set up in each area – fertilized plots and control plots.

Blueberry samples were collected in August 2019, for analysis were sampled roots and berries. During sample preparation the berries was unwashed, but the roots were washed with deionized water. Samples were dried at 50 °C temperature and digested in the mixture HNO₃:H₂O₂ (6:2) using the closed microwave digestion system. Micro – and rare earth element concentration was determined by ICP-MS.

The research results show that in the area which was fertilized with fly ash are observable trend that in fertilized sampling plots rare earth element content are 2 times higher than in the plant root system of control plots.

This work was supported by Short term scientific mission organized in scope of project "research program on improvement of forest growth conditions 2016–2021" No 5–5.5_000z_101_16_31.

5.Pielikums. 64. starptautiskās studentu konferences fizikā un dabaszinātnē “Open Readings 2020” tēzes

USE OF WOOD ASH IN THE FOREST AND ITS EFFECT ON THE CHEMICAL ELEMENT FLOW IN BLUEBERRIES (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*)

Vitālijs Lazarenko¹, Vita Rudoviča¹, Arturs Vīksna¹, Māris Bērtiņš¹, Zaiga Anna Zvaigzne², Modris Okmanis²

¹University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgavas iela 1, Rīga, Latvia

²Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Rīgas iela 111, Salaspils, Latvia
vitalijs.lazarenko@lu.lv

Wood ash is a biological residue produced by the combustion of wood or their products (chips, sawdust, etc.). Fertilizing is one of the main ways for using wood ash because it contains high amount of nutrients that are necessary for the development of plants and trees. Using wood ash as a fertilizer allows to solve following problems – ensures efficient utilization and disposal of wood ash from industrial areas and prevents valuable nutrients from being wasted.

Several studies have proved that fertilization with wood ash affects only topsoil. Also, wood ash can contain high amount of heavy metallic elements and metalloids such as Cd, As and Pb which can cause poisoning of a plant.

One of the main goals of the policy in Latvia is to preserve and increase the amount of forest land areas. After deforestation processes soil buffer capacity and nutrient reserves reduces what causes soil acidification and deterioration of growing conditions. To avoid these adverse processes and improve forest growth condition, wood ash is used as a fertilizer.

The wild-growing blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*) is one of the most popular berries which are located in Europe, North America and Asia. They are deciduous species as they shed leaves during fall seasons preparing for winter. In some studies blueberries are used as a model species for forest ecosystem monitoring as they are sensitive to environmental changes (temperature, humidity, soil chemical composition, etc.).

The aim of our research was to analyse the flow of chemical elements in blueberries in the forest areas which was fertilized with wood ash.

For research were chosen two pine forest areas which was fertilized with fly and bottom wood ash. Approximately 3 tons per hectare. In order to evaluate the impact of wood ash on the forest, two different types of plots were selected in each area – fertilized and control.

Blueberry samples were dried till air-dry condition and digested in the mixture of HNO₃:H₂O₂ (6:2) using the closed microwave digestion system. The chemical element concentration was determined by ICP-MS.

The distribution of wood ash in the forest area did not change the macro and micro element content of blueberry berries.

The research results show that in the area which was fertilized with fly wood ash there is observable trend that in the fertilized sampling plots rare earth element content in blueberry roots are ~2-5 times higher than in the plant root system of control plots.

Calculated transfer factor values indicate that content of micro and rare earth elements accumulates in the root system of blueberry plants.

This work was supported by Short term scientific mission organized in scope of project “Research program on improve of forest growth conditions 2016-2021”.

Use of Wood Ash in the Forest and Its Effect on the Concentration of Essential and Heavy Metallic Elements in Soil and Blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*)

Vitālijs Lazarenko^{1,a*}, Vita Rudoviča^{1,b}, Arturs Vīksna^{1,c},
Zaiga Anna Zvaigzne^{2,d} and Modris Okmanis^{2,e}

¹Faculty of Chemistry, University of Latvia, Jelgavas 1, Riga, Latvia

²Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Rigas 111, Salaspils, Latvia

^avitalijs.lazarenko@lu.lv, ^bvita.rudovica@lu.lv, ^carturs.viksna@lu.lv, ^dzaiga.zvaigzne@silava.lv,
^emodris.okmanis@silava.lv

Keywords: wood ash – fly ash and bottom ash fractions, blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*), forest soil, essential and heavy metals, inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), total reflection X-ray fluorescence (TXRF).

Abstract. The aim of this research is to evaluate the influence of wood ash as an additive fertilizer for forest soil and the growth of blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*) in terms of metallic element content. To evaluate the effect of wood ash on the forest ecosystem, two forest areas were selected. These areas were fertilized with wood ash (bottom ash and fly ash). The selected forest areas were divided into two types of sampling plots (fertilized with ash and control). Obtained results showed that in the area where bottom ash was dispersed the concentration of Ca, K, Ni, and Cu is almost twice as high as in the control plots. Metallic element content in blueberries is similar in all cases and does not depend on the type of sampling plot.

Introduction

One of the main goals of the forestry policy in Latvia is to preserve and increase the amount of forests. After final felling, soil nutrient reserves and the buffer capacity is reduced, resulting in soil acidification and deterioration of growing conditions [1]. Acidification process increases the solubility of toxic elements, and as a result the compounds of these elements are leached into the deepest soil layers and the nearest water reservoirs. To prevent these processes and to improve forest growth conditions, wood ash is used as a fertilizer.

Wood ash is produced by the combustion of wood or wood products (chips, sawdust, etc). Wood ash is rich in macro- and micro- nutrients, but has relatively low nitrogen content. 6 % to 10 % of the total wood weight is left over as ash after the combustion. Chemical composition of wood ash can vary substantially, and it depends on the type of wood product that is burnt and the combustion process itself [2].

During combustion, two different ash fractions are produced: fly ash and bottom ash [3]. Bottom ash is a coarse fraction with the particle size ranging from 0.3 mm to 4 mm; it also contains foreign bodies (rocks, sand, etc.) [10]. Fly ash is a finer ash fraction; its particle size is only a few micrometres (12–250 µm). This fraction contains inorganic compounds and a small amount of organic compounds (as unburned carbon) [4].

Using wood ash as a fertilizer allows to solve three important problems: it ensures efficient utilization and disposal of wood ash from industrial areas; it improves tree growth conditions in the forests and prevents valuable nutrients from being wasted [5]. With the development of intensive forestry, the importance of wood ash increases, and it receives a huge attention as a source of nutrients [6].

Application of wood ash to soil changes several chemical and physical properties: soil pH, conductivity of water, and bioavailability of chemical elements, such as K, S, B, Na, Ca, Mg, Si, Fe, and P [7]. Some studies have shown that wood ash may contain an elevated amount of heavy metallic elements such as Cd which may cause plant toxicity [8]. Chemical composition of wood

ash depends on several factors: type of wood ash, combustion process and storage conditions [9]. After wood ash is added to the soil, pH changes to optimal level (pH = 5.0–7.5), thus, increasing nutrient availability in soil and reducing the risk by limiting mobility of toxic compounds [10].

Blueberries can serve as a model species in the forest due to their place in the ecological system. They are deciduous species as they shed leaves during fall. It is important to study blueberries and how they respond to any changes (including fertilization), especially in terms of macro- and micro-nutrient content [11].

Materials and Methods

Sample Collection. For the analysis metallic element content, two different types of samples were chosen: blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*) and soil at two depth levels (0–10 cm and 10–20 cm). Samples were collected in early autumn of 2018. 10 blueberry and 20 soil samples from both depth levels were collected. To collect soil samples, PVC tubes were used. PVC tubes were cleaned with ethanol before each sampling to reduce artificial contamination.

Two forest areas were chosen as sampling sites. They were fertilized with approximately 3 tons per hectare of wood ash. Information about sampling sites is shown in Table 1.

Forests are dominated by pine species (*Pinus sylvestris L.*). Two different types of sampling plots were set up in each area – fertilized plots and control plots (Fig. 1).

Table 1. Information about sampling sites

Area	Type of wood ash	Coordinates	Date of fertilization
Skultes parish, Latvia	Bottom ash	57°23'55.3"N 24°35'36.7"E	February 2018
Valgundes parish, Latvia	Fly ash	56°48'14.6"N 23°28'57.4"E	February 2017

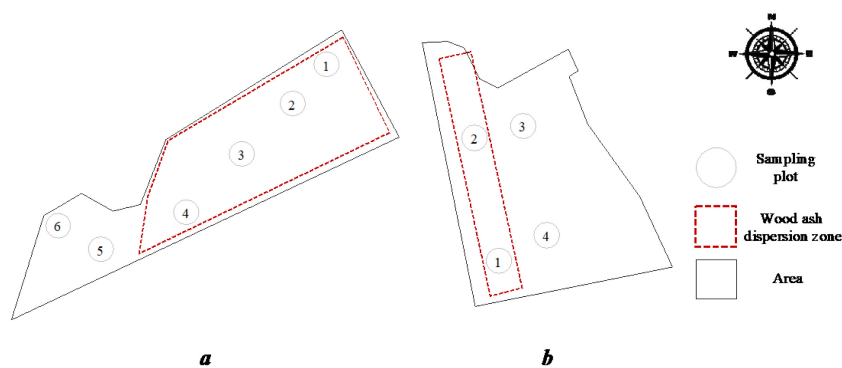


Fig.1. Sampling sites: a – bottom ash dispersion area, b – fly ash dispersion area.

Analysis of Blueberries (*Vaccinium myrtillus L.*) Unwashed blueberries were dried at 50 °C for 4 days. For the analysis, we took 0.3–0.4 (± 0.0001) g of dried sample, added 6.00 mL HNO₃ (metal trace grade quality), performed ultrasonification, and after that added 2.00 mL H₂O₂. Digestion procedure was performed in a microwave oven with the following program: using 800 W temperature was raised to 125 °C in 20 min; 125 °C temperature was maintained for 25 min; then the sample was gradually cooled. After digestion, the samples were diluted with deionized water ($0.055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) till 20 mL in graduated PP tubes.

Metallic element concentration was determined by ICP-MS. Standard solution (*ICP-MS-68A-A High Purity Standards, 10 mg·L⁻¹, 2 % HNO₃*) was used for the calibration.

Analysis of Soil. Air-dried soil samples were sieved with a sieve (diameter 2 mm). For the analysis, we took 5–10 (± 0.0001) g soil sample, added 25–50 mL of 1 mol·L⁻¹ HNO₃, kept it for

20 h and after that shook for 1 h at 190 rpm. The extracted samples were filtered (*Whatman 541*) and transferred to graduated PP tubes.

Concentration of metallic elements was determined by TXRF. To 990 μL of soil extract, 10 μL Ga standard solution (*Merck*, $1.0000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ HNO}_3$, internal standard) was added. Then 5 μL of prepared solution was transferred to a quartz sample holder to perform element quantification by TXRF.

Gallium could be present in the soil samples, therefore the XRF (X-ray fluorescence) was used to determine if this element is present. The results showed that the content of gallium in the soil is very low (0.01–0.05 %).

Determination of Soil pH. $\sim 10 (\pm 0.01)$ g of air-dried and sieved soil sample was weighed. Then added 50 mL of $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KCl or CaCl_2 was added. Sample was shaken for 5 min and then kept for 2 h. The mixture was filtered (*Whatman 541*) to the extract of soil.

It is important to note that the fertilized areas are located far from intensive traffic and populated areas.

Results and Discussion

pH of Forest Soil. pH is one of the main factors that changes after fertilization with ashes. In this case, such trend is not observed, because measurements were made two years after fertilization. The results show that regardless of the sampling plots (fertilized/control) and soil depth (0–10 cm, 10–20 cm) pH values in two different time periods are similar:

- Bottom ash area: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 2.96 \pm 0.11$, $\text{pH}_{\text{KCl}} = 3.2 \pm 0.4$;
- Fly ash area: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 2.87 \pm 0.19$, $\text{pH}_{\text{KCl}} = 2.89 \pm 0.15$.

Based on obtained results, we concluded that the effect of wood ash on soil pH after two years is not large enough to be observed. It seems that soil pH changes are little or none as the amount of ash is too small to provide significant influence.

Content of Metallic Elements in Soil Samples. The concentration of Cr and As was below the detection limit of TXRF. Results show that metallic element content may vary in the wide ranges or be similar and depends on the soil depth or type of sampling plot. Metallic element content in the forest soil is shown in Table 2 (average from two different depths).

Table 2. Metallic elements concentration [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$] in the forest soil

Element	Bottom ash dispersion area		Fly ash dispersion area	
	Fertilized	Control	Fertilized	Control
K	158 ± 11	98 ± 13	111 ± 13	138 ± 29
Ca	4801 ± 550	2121 ± 810	1384 ± 132	1684 ± 188
Mn	7.6–21.0	3.6–11.0	3.9 ± 0.8	3.8 ± 0.7
Ni	1.15 ± 0.34	0.62 ± 0.16	0.90 ± 0.15	1.1 ± 0.2
Cu	4.1 ± 1.6	2.4 ± 0.8	1.7 ± 0.5	4.4 ± 1.2
Zn	25 ± 4	22 ± 4	16 ± 4	15 ± 3
Sr	14 ± 2	18 ± 7	14 ± 3	11–38
Cd	167 ± 38	172 ± 42	26–51	30–61

Bottom Ash Dispersion Area. Significant differences of K and Ca content were observed between fertilized and control plots. The results show that regardless of the soil depth K and Ca content in the fertilized plots is 2–2.5 times higher than in the control plots. A similar tendency can be observed for the content of Ni and Cu – approximately two times higher in fertilized plots. Irrespective of the type of sampling plot, determined Zn, Sr, and Cd contents are similar. Mn content varies widely, and the result depends on the sampling plot and the sampling depth.

Comparing the obtained results with the published data in the literature sources about chemical composition of wood ash [12], it was found that in the bottom ash K, Ca, Ni, and Cu contents are

higher than in fly ash and that their content increases in the following order: Ni < Cu < K < Ca. Similar tendency is observed for the analysed soil samples in fertilized plots.

Fly Ash Dispersion Area. During two years, the differences between fertilized and control plots were not observed. Results show that Sr and Cd content can vary substantially, and it depends on the sampling plot and the sampling depth. From obtained results, it can be concluded that two years after fertilization no effect from fly ash in this area is observed.

Content of Metallic Elements in Blueberries. Blueberry plants and berries in the selected sampling sites were visually healthy and undamaged. The results show that the content of metallic elements in blueberries in every area is similar and does not depend on the type of the sampling plot. The exception is Pb content – its concentration varies and does not depend on the type of sampling plot. Concentration of metallic elements in blueberries is shown in Table 3.

Table 3. Concentration of metallic elements [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] in blueberries

Element	Poland [13]	Bottom ash dispersion area	Fly ash dispersion area
Cr	0.023–0.174	0.04 ± 0.02	0.06 ± 0.03
Mn	5.82–29.00	209 ± 54	37 ± 18
Ni	0.252–0.312	0.42 ± 0.14	0.29 ± 0.06
Cu	0.24–0.41	5.9 ± 0.3	4.5 ± 1.0
Zn	3.83–6.07	11.0 ± 1.5	7.8 ± 1.7
As	–	0.006 ± 0.002	0.017 ± 0.009
Sr	–	0.8 ± 0.3	2.5 ± 1.3
Cd	0.001–0.004	0.079 ± 0.009	0.008 ± 0.004
Pb	0.266–0.556	0.0002–0.003	0.0023–0.012

The results show that the bottom ash dispersion area has relatively high content of Mn (~ 5 times) and Cd (~ 10 times) in comparison with the fly ash dispersion area. Otherwise, the fly ash dispersion area has a high amount of As and Sr (~ 3 times higher). Content of other metallic elements in these two areas is similar.

Comparing the obtained results with data found in literature [12], it was found that As and Sr content is higher in fly ash than in bottom ash. It can be concluded that these elements could accumulate in blueberries. A similar tendency is observed in the bottom ash with Cd content. It is reported that As, Sr, and Cd in large quantities are toxic and slowly excreted from plants.

Comparing metallic element content in blueberries with results obtained in Poland, it is clear that analysed samples have a relatively high amount of Cu and Zn. It is important to note that in Poland wild blueberries were analysed, and the wild blueberries were collected from non-fertilized areas. Cr, Ni, and Zn content in both analysed areas is similar to the results obtained in Poland. Pb content in the analysed areas is significantly lower than in Polish wild blueberries.

Conclusions

Wood ash as an additive for fertilization has changed the element content of the forest soil. Larger variations were observed in the bottom ash dispersion area. One year after fertilization, content of Ca, K, Ni, and Cu in the fertilized sampling plots is higher than in the control plots, and the difference is about 2 times. This is not observed in the blueberry samples – the metallic element content is similar and does not depend on whether the sampling plot was fertilized or not. Future research is planned on a larger geographical scope and will be focussed on studies of various parts of the plant.

Acknowledgment

This work was supported by Short term scientific mission organized in scope of project “Research program on improvement of forest growth conditions 2016–2021”, № 5-5.5_000z_101_16_31.

References

- [1] M. Okmanis, I. Skranda, A. Lazdiņš, D. Lazdiņa, Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil, *Research for rural development*. 2 (2016) 62-68.
- [2] R. Siddique, Utilization of wood ash in concrete manufacturing, *Resources, Conservation & Recycling*. 67 (2012) 27-33.
- [3] G. Goswami, B. Purohit, J. Arona, Fly ash waste management – a congenial approach, 2nd International conference on “Innovative Trends in Science, Engineering and Management”. (2016) 181-183.
- [4] F. Agrela, M. Cabrera, M.M. Morales, M. Zamorano, M. Alshaaer, Biomass fly ash and biomass bottom ash, *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*. 5 (2019) 23-58.
- [5] M. Okmanis, G. Petaja, A. Lupiķis, Productivity of mechanized wood ash application in forest, *Research for rural development*. 1 (2017) 62-68.
- [6] T.B. Andreasen, J. T. Nielsen, J. Voriskova, J. Heise, R. Rønn, R. Kjøller, H.C.B. Hansen, C.S. Jacobsen, Wood ash induced pH changes strongly affect soil bacterial numbers and community composition, *Original research*. 8 (2017) 1-14.
- [7] J. Pasanen, K. Louekari, J. Malm, Cadmium in wood ash used as fertilizer in forestry: risks to the environment and human health, *Ministry of Agriculture and Forestry*. (2001) 10-11.
- [8] R.C.E. Modolo, T. Silva, L. Senff, L.A.C. Tarelho, Bottom ash from biomass combustion in BFB and its use in adhesive-mortars, *Fuel Proc. Technol.* 129 (2015) 192-202.
- [9] P. Ocheцова, P. Tlustos, J. Szakova, Wheat and Soil Response to Wood Fly Ash Application in Contaminated Soils, *Agronomy, Soils & Environmental Quality*. 3 (2014) 995-1002.
- [10] A. Fuller, M. Stegmaier, N. Schulz, M. Menke, H. Schellhorn, F. Knödler, J.S. Maier, Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering, *Construction and Building Materials*. 189 (2018) 825-848.
- [11] M. Kandziora-Ciupa, A. Nadgorska-Socha, G. Barczyk, R. Ciepál, Bioaccumulation of heavy metals and ecophysiological responses to heavy metal stress in selected populations of *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium vitis-idaea* L., *Ecotoxicology*. 7 (2017) 966-980.
- [12] M. Alberto, Characterization of wood combustion ashes, *DTU*. (2017) 9-15.
- [13] P. Drózdź, V. Šežienė, K. Pyrzynska, Mineral Composition of Wild and Cultivated Blueberries, *Biol. Trace Elem. Res.* 1 (2018) 173-177.

7.Pielikums. Ziņojums LMVI “Silava”

*Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījuma programmas 2016. – 2021. gadam 3. zinātniskās izpētes misijas
“Koksnes pelnu izmantošanas ietekme uz smago metālu koncentrāciju zemsegā, augsnē un mellenēs” ziņojums*

**Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījuma programmas
2016. – 2021. gadam
3. zinātniskās izpētes misijas
“Koksnes pelnu izmantošanas ietekme uz smago metālu
koncentrāciju zemsegā,
augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus*)”
ziņojums**

autori: Vitālijs Lazarenko, Vita Rudoviča, LU Ķīmijas fakultāte



Pētījums veikts a/s “Latvijas valsts meži” un LVMI Silava
2011. gada 11. oktobra memoranda
“Par sadarbību zinātniskajā izpētē” ietvaros



Silava, 2018

Īstermiņā zinātniskā misija “Koksnes pelnu izmantošanas ietekme uz smago metālu koncentrāciju zemsegā, augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus*)” tika īstenota apsekojot LVMI Silava ierīkotos ilgtermiņa izpētes objektus.

Pētījuma objekta un parauga apraksts

Melleņu, augsnes un zemsegas paraugi elementu ķīmiskā satura kvantificēšanai tika ievākti no 3 parauglaukumiem – 405-421-3; 608-19-21; 608-29-4.

Melleņu (*Vaccinium myrtillus*) paraugi tika ievākti 2018.gada augusta beigās, septembra sākumā. 15 melleņu paraugus ievāca plastmasas trauciņos un uzglabāja saldētavā līdz ķīmisko elementu koncentrācijas noteikšanai.

Augsnes un zemsegas paraugi tika ievākti 2018.gada oktobra beigās. Kopā tika ievākti 36 augsnes un 14 zemsegas paraugi. Augsne tika ievākta divos dziļumos: 0-10 cm (melleņu sakņu zonā) un 10-20 cm (zem sakņu zonas). Pēc ievākšanas, augsnes un zemsegas paraugi tika gaissausi žāvēti.

Nemazgātas mellenes tika atkausētas un žāvētas žāvējamā skapī 50°C temperatūrā līdz konstantai masai (~24 h). Paraugu mineralizācija tika veikta izmantojot mikroviļņu iekārtu. Ņēma ~0,3-0,4(±0,0001) g iesvara, kuru šķīdināja HNO₃:H₂O₂ (6:2) maisījumā (reaģentu tīrība – *TraceMetal Grade*). Mineralizācijas režīms mikroviļņu krāsnī bija sekojošs - 125°C temperatūrā (800W) 25 minūtes. Pēc mineralizācijas šķīdumus kvantitatīvi pārnesa graduētās PP mēģenēs un atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni (elektrovadītspēja 0,055 μS/cm) līdz 20 mL. Šādā veidā tika pagatavoti 2 paralēlie paraugi. Iegūto paraugu šķīdumos elementu koncentrāciju noteica ar ICP-MS analīzes metodi (*8900 Triple Quadrupole ICP-MS*. Ražotājs: Agilent).

Gaissausus augsnes paraugus sijāja ar sietu (poru diametrs 2 mm). Augsni ar iesvaru. 5-10(±0,0001)g pārnesa koniskajās kolbās un pievienoja 1M HNO₃ šķīdumu. Augsnes paraugus šajā skābē izturēja 20 h. Paraugus kratīja 1 h ar ātrumu 190 rpm. Ekstrahētos paraugus nofiltrēja. 990 μL ekstrakta šķīduma pievienoja 10 μL Ga standartšķīduma ar masas koncentrāciju 1,000 g/L. 5 μL pagatavotā šķīduma uznesa uz kvarca stikla pamatnes, izžāvēja un veica elementu kvantificēšanu ar pilnīgās atstarošanās rentgenfluorescences spektroskopijas metodi (*S2 Picofox TXRF*. Ražotājs: Bruker).

Sausā paraugu mineralizācija tika pielietota zemsegas gadījumā. 2(±0,0001)g parauga pārpelnoja mufelī 450 °C temperatūrā 3 stundas. Iegūtos pelnus šķīdināja koncentrētā HNO₃,

kvantitatīvi pārnesa graduētās PP mēģenēs un atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni līdz 50 mL. Metālisko elementu koncentrācija zemsegas paraugos tika noteikta izmantojot TXRF analīzes metodi (sagatavošanas princips tāds pats kā augsnes gadījumā).

Iegūtie rezultāti parāda, ka mellenēs, kuras ievāktas no kontroles un mēslootiem parauglaurumiem, metālisko elementu saturs ir līdzīgs. Pēc MK Nr.334 noteikumiem, tika konstatēts, ka svina saturs mellenēs nepārsniedz maksimāli pieļaujamo robežu (<0,2 mg/kg). Savukārt, kadmija gadījumā, mellenēs, kuras ievāktas parauglaurumā “405-421-3”, maksimāli pieļaujamā robeža ir pārsniegta (>0,05 mg/kg), aptuveni par 1,5 reizēm.

Elementu saturs augsnē neuzrāda krasas atšķirības starp kontroles un mēslootiem parauglaurumiem. Pēc MK Nr.804 noteikumiem, tika konstatēts, ka augsnē noteiktās metālisko elementu koncentrācijas nepārsniedz maksimāli pieļaujamās robežas.

Parauglaurumā “405-421-3” gan mellenēs, gan augsnē ir novērojams lielāks mangāna saturs nekā pārējos parauglaurumos. 405-421-3, kur tika ievākta kūdraina augsne, ir novērojama tendence, ka neatkarīgi no augsnes dziļuma niķeļa, cinka, stroncija un svina saturs ir līdzīgs, taču vara gadījumā - dziļākajos slāņos doto elementu saturs ir lielāks. Parauglaurumā “608-19-21” ir novērojama tendence, ka mangāna, niķeļa un svina saturs ir lielāks 0-10 cm augsnes dziļumā nekā 10 – 20 cm slānī.

Īstermiņa zinātniskās misijas laikā ievāktos paraugus ir plānots pētīt padziļināti 2019.g. laikā, izmantojot vēl citas paraugu sagatavošanas un analīzes metodes (FAAS, ET-AAS), lai novērstu dažu iepriekš lietoto metožu nepilnības konkrētu elementu noteikšanā (piemēram, ar TXRF nav iespējams kvantificēt kadmiju traucējošo spektrālo efektu dēļ).

Misijas rezultātus izmantos maģistra darba izstrādei un ziņos LU Zinātniskajā konferencē.

1.tabula Metālisko elementu saturs (mg/kg) mellenēs

Vieta	PL*	Piezīmes	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Sn	Hg	Pb
405-421-3	1.	Mēslogs	0,04 ±0,02	244 ±94	0,32 ±0,02	5,7 ±0,7	13,2 ±0,4	0,0046 ±0,0016	0,70 ±0,04	0,069 ±0,010	0,005 ±0,002	0,015 ±0,004	0,0006 ±0,0002
	2.	Mēslogs	0,068 ±0,011	123 ±21	0,61 ±0,14	6,0 ±1,2	10,4 ±1,7	0,009 ±0,005	0,51 ±0,12	0,084 ±0,008	0,0008 ±0,0007	0,015 ±0,008	0,0029 ±0,0010
	3.	Mēslogs	0,0244 ±0,005	236 ±46	0,51 ±0,18	5,8 ±1,3	9,9 ±0,6	0,008 ±0,005	0,90 ±0,06	0,077 ±0,003	0,0119 ±0,0006	0,028 ±0,014	0,0012 ±0,0004
	4.	Mēslogs	0,031 ±0,011	252 ±32	0,253 ±0,007	5,80 ±0,09	11,8 ±1,2	0,005 ±0,002	0,7 ±0,4	0,074 ±0,006	0,005 ±0,002	0,0204 ±0,0009	0,0046 ±0,0003
	6.	Kontrole	0,0387 ±0,0002	188 ±74	0,38 ±0,02	6,4 ±0,7	9,77 ±0,11	0,005 ±0,003	1,42 ±0,04	0,092 ±0,014	0,0046 ±0,0010	0,0198 ±0,0004	0,00031 ±0,00011
608-19-21	1.	Mēslogs I	0,076 ±0,002	14 ±3	0,26 ±0,04	3,6 ±0,7	7,8 ±1,1	0,0146 ±0,0009	2,48 ±0,03	0,004 ±0,002	0,0029 ±0,0012	0,0152 ±0,005	0,009 ±0,002
	1.	Mēslogs II	0,06 ±0,02	52 ±5	0,22 ±0,02	4,81 ±0,04	7,6 ±0,6	0,0093 ±0,0009	1,14 ±0,18	0,008 ±0,004	0,0015 ±0,0011	0,022 ±0,006	0,009 ±0,003
	2.	Mēslogs	0,120 ±0,005	25,2 ±1,2	0,399 ±0,019	6,3 ±0,2	10,5 ±0,4	0,033 ±0,007	4,06 ±0,05	0,0049 ±0,0004	0,00683 ±0,00016	0,022 ±0,006	0,0071 ±0,0016
	3.	Kontrole	0,05 ±0,03	47 ±21	0,27 ±0,06	4,7 ±0,5	8,4 ±0,3	0,0160 ±0,0010	4,0 ±0,5	0,010 ±0,003	0,0020 ±0,0003	0,0188 ±0,0006	0,0023 ±0,0011
	4.	Kontrole I	0,035 ±0,004	57 ±5	0,29 ±0,02	4,1 ±0,4	6,80 ±0,09	0,019 ±0,003	1,5 ±0,4	0,014 ±0,003	0,0010 ±0,0006	0,012 ±0,003	0,0025 ±0,0011
	4.	Kontrole II	0,0280 ±0,0006	25 ±10	0,28 ±0,03	3,7 ±0,5	5,5 ±1,0	0,010 ±0,003	1,76 ±0,11	0,005 ±0,003	0,07 ±0,05	0,021 ±0,003	0,006 ±0,002
608-29-4	1.2.	Mēslogs	0,3 ±0,2	113 ±19	0,28 ±0,03	4,2 ±0,6	9,0 ±1,8	0,0106 ±0,0008	0,9 ±0,4	0,0175 ±0,0016	0,0042 ±0,0012	0,0250 ±0,0002	0,0024 ±0,0005
	3.6.	Mēslogs	0,033 ±0,017	75 ±4	0,207 ±0,015	3,0 ±0,6	10,0 ±0,4	0,026 ±0,019	1,3 ±0,5	0,022 ±0,012	0,0040 ±0,0008	0,022 ±0,008	0,005 ±0,002
	4.5.	Kontrole	0,025 ±0,003	83 ±10	0,30 ±0,03	5,5 ±0,2	8,3 ±0,6	0,0081 ±0,0017	2,1 ±0,6	0,017 ±0,011	0,019 ±0,004	0,0201 ±0,0010	0,00081 ±0,00009
	7.8.	Kontrole	0,03 ±0,02	150 ±46	0,6 ±0,6	4,3 ±0,8	8,5 ±1,6	0,0113 ±0,0012	0,74 ±0,04	0,014 ±0,008	0,003 ±0,001	0,022 ±0,006	0,031 ±0,011

*Parauglaukums

2.tabula Metālisko elementu saturs (mg/kg) augsnē uz zemsegā teritorijā "405-421-3"

PL*	Piezīmes	Dziļums, cm	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
1.	Mēslois	Zemsega	107,833	0,000	2,718	56,785	0,948	4,539	1,970
		0-10	10,636	0,847	1,739	25,085	1,640	12,364	29,580
		10-20	18,041	0,809	4,635	25,424	0,000	14,072	29,124
2.	Mēslois	Zemsega	95,189	0,000	3,133	72,001	0,428	3,026	0,750
		0-10	20,967	1,469	3,639	22,263	0,701	13,655	46,880
		10-20	8,671	1,052	2,273	18,071	2,114	10,144	51,269
3.	Mēslois	Zemsega	71,510	0,000	2,977	55,422	0,000	3,542	2,091
		0-10	8,188	1,566	5,791	24,077	0,000	15,765	79,259
		10-20	10,887	0,718	6,088	25,206	0,194	16,736	47,192
4.	Mēslois	Zemsega	100,270	1,004	3,613	76,518	0,624	3,992	5,063
		0-10	8,976	1,461	3,988	33,152	1,629	14,263	46,841
		10-20	7,604	1,310	5,006	28,527	0,000	15,166	49,231
5.	Mēslois	0-10	6,462	0,651	1,897	24,196	0,000	9,372	22,521
		10-20	6,826	0,541	3,331	24,242	0,000	22,106	25,104
		0-10	3,626	0,831	1,544	16,525	0,000	15,229	16,354
6.	Kontrolē	10-20	11,023	0,469	2,887	22,386	0,000	24,301	27,493

*Parauglaukums

3.tabula **Metālisko elementu saturs (mg/kg) augsnē un zemsegā teritorijā “608-19-21”**








PL	Piezīmes	Dziļums, cm	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
1.	Mēslois	Zemsega	70,667	0,000	3,413	52,555	0,000	9,848	7,093
		0-10	3,884	0,890	1,654	17,702	0,000	16,314	17,518
		10-20	0,000	0,000	0,474	1,018	0,000	0,878	1,145
2.	Mēslois	0-10	7,908	0,868	2,003	20,035	0,000	15,760	23,760
		10-20	2,905	0,752	2,188	15,771	0,000	16,076	19,937
3.	Kontrolē	0-10	15,138	1,425	4,624	36,483	0,000	25,046	30,237
		10-20	0,000	0,000	0,973	0,949	0,000	1,172	1,147
4.	Kontrolē	Zemsega	35,461	0,000	2,224	40,036	0,000	9,933	7,583
		0-10	3,591	0,996	5,911	17,216	0,000	49,712	34,267
		10-20	3,651	1,058	3,992	15,299	1,812	37,777	20,898

*Parauglūkums

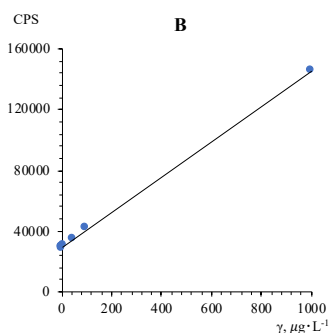
4.tabula Metālisko elementu saturs (mg/kg) augsnē un zemsegā teritorijā "608-29-4"

PL*	Piezīmes	Dziļums, cm	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
1.	Mēslois	0-10	0,000	0,000	0,489	2,192	0,000	1,703	2,965
		10-20	0,000	0,000	0,368	3,361	0,000	2,192	3,294
2.	Mēslois	Zemsega	38,707	0,000	2,335	30,032	0,000	9,657	11,859
		0-10	0,357	0,000	0,470	0,915	0,000	0,568	1,096
		10-20	0,000	0,000	0,300	0,489	0,000	0,223	0,387
3.	Mēslois	Zemsega	53,062	2,281	2,306	49,641	0,000	8,083	8,844
		0-10	1,944	0,546	1,658	13,469	0,000	16,155	18,453
		10-20	0,000	0,000	0,450	0,590	0,169	3,185	3,161
4.	Kontrole	Zemsega	89,039	0,000	4,430	65,132	0,289	6,567	1,247
		0-10	12,223	1,534	4,252	24,045	0,000	15,452	40,891
		10-20	0,618	0,193	0,750	2,843	0,000	4,034	6,482
5.	Kontrole	Zemsega	66,650	0,941	2,060	38,958	0,000	4,577	3,611
		0-10	0,623	0,201	0,497	1,340	0,000	0,698	1,737
		10-20	0,000	0,000	0,357	0,563	0,080	0,311	0,828
6.	Mēslois	Zemsega	49,307	0,000	1,896	51,553	0,000	9,782	0,000
		0-10	0,555	0,122	0,443	3,221	0,000	2,665	3,847
		10-20	0,478	0,095	1,482	4,093	0,418	2,077	3,124
7.	Kontrole	Zemsega	65,340	0,608	2,734	28,075	0,000	5,975	5,063
		0-10	0,000	0,000	0,000	3,059	0,000	2,131	5,537
		10-20	0,000	0,207	0,489	0,686	0,474	2,102	5,525
8.	Kontrole	Zemsega	135,383	3,822	1,885	26,547	0,000	15,515	12,382
		0-10	0,000	0,000	0,393	2,156	0,377	3,485	4,519
		10-20	0,000	0,000	0,448	1,202	0,256	1,818	2,394

8. Pielikums. Reaģentu drošības dati

Reaģenta nosaukums	Bīstamība	
30-32 % H_2O_2	H318, H302, H332, H335, H315, H270, P271, P261, P280, P210, P221, P220, P305+P351+P338, P310, P302+P352, P332+P313, P362+P364, P304+P340, P312, P301+P312, P330, P370+P378	
67-69 % HNO_3	H290, H314, H318, P234, P260, P264, P280, P301+P330+P331, P303+P361+P353, P304+P340, P305+P351+P338, P310, P363, P390, P405, P406, P501	
39 % HCl	H290, H314, H335, P280, P303+P361+P353, P304+P340, P305+P351+P338, P310	
KCl		
ICP-MS-68A-A High Purity Standards	H290, H314, H318, H290, H314	
Hēlijs (He)	H280, OSHA-H01, P202, P271, P403, CGA-PG05, CGA-PG10, CGA-PG06, CGA-PG02	
Argons (Ar)	H280, OSHA-H01, P202, P271+P403, CGA-PG05, CGA-PG10, CGA-PG06, CGA-PG02	

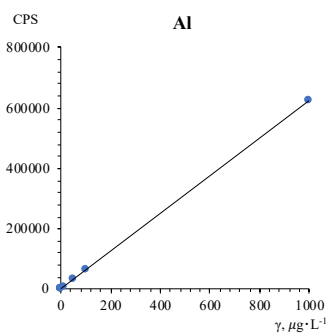
9. Pielikums. Kalibrēšanas grafiki ķīmisko elementu noteikšanai ar ICP-MS analīzes metodi



B

$$y=(116,3\pm 0,5)x+(29129\pm 195)$$

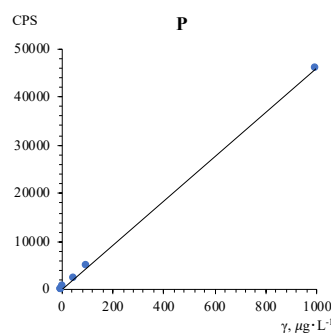
$$R^2=0,99990$$



Al

$$y=(622,4\pm 1,4)x+(1847\pm 525)$$

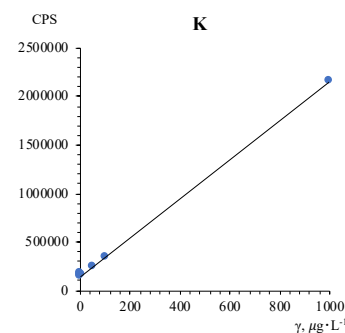
$$R^2=0,99998$$



P

$$y=(45,83\pm 0,13)x+(189\pm 48)$$

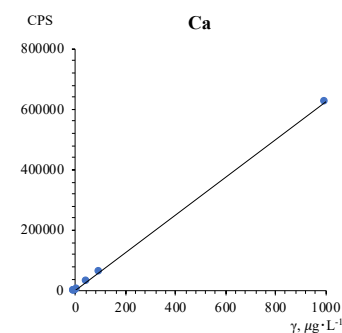
$$R^2=0,99996$$



K

$$y=(2014\pm 12)x+(145405\pm 4727)$$

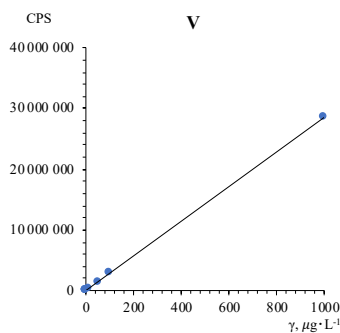
$$R^2=0,99998$$



Ca

$$y=(621,5\pm 1,7)x+(1541\pm 653)$$

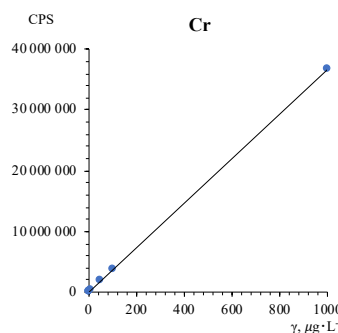
$$R^2=0,99996$$



V

$$y=(28650\pm 30)x+(12490\pm 11498)$$

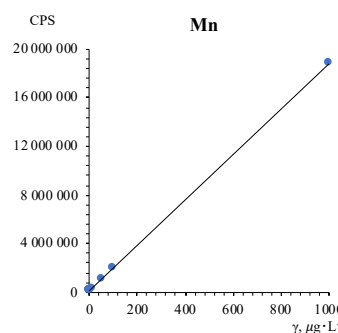
$$R^2=0,999994$$



Cr

$$y=(36526\pm 51)x+(24782\pm 19303)$$

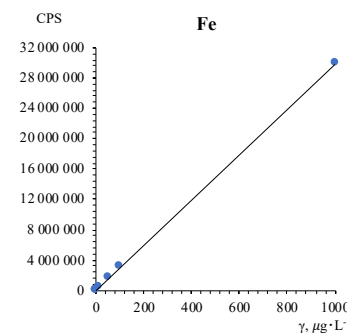
$$R^2=0,999990$$



Mn

$$y=(18785\pm 34)x+(48139\pm 12760)$$

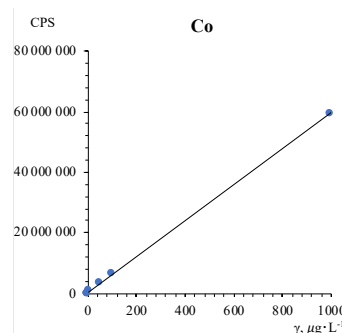
$$R^2=0,99998$$



Fe

$$y=(29836\pm 18)x+(35311\pm 6701)$$

$$R^2=0,999998$$

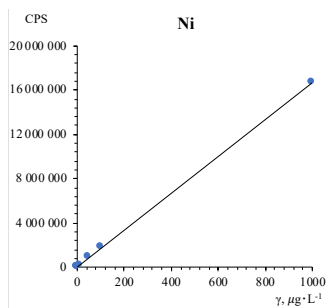


Co

$$y=(59441\pm 157)x+(97992\pm 59801)$$

$$R^2=0,999994$$

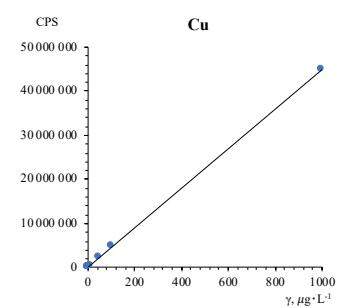
1.att. Kalibrēšanas grafiki ķīmisko elementu noteikšanai



Ni

$$y=(16670\pm 57)x+(29254\pm 21645)$$

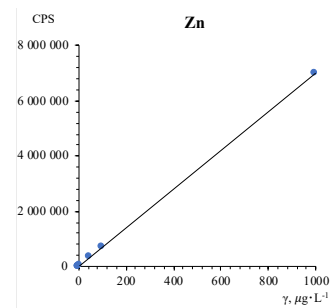
$$R^2=0,99994$$



Cu

$$y=(44911\pm 152)x+(112331\pm 57982)$$

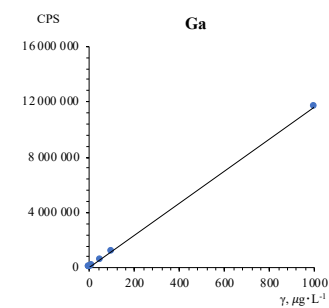
$$R^2=0,99994$$



Zn

$$y=(7003\pm 11)x+(9412\pm 4109)$$

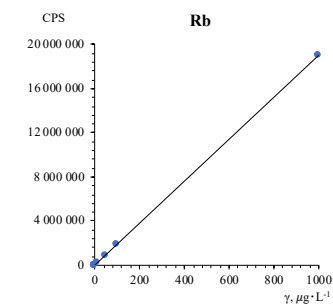
$$R^2=0,99998$$



Ga

$$y=(11573\pm 18)x-(7986\pm 6843)$$

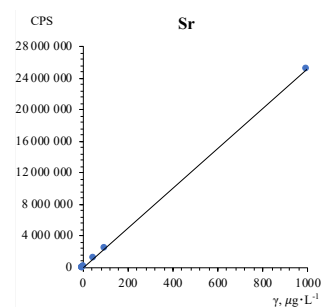
$$R^2=0,99998$$



Rb

$$y=(18987\pm 17)x$$

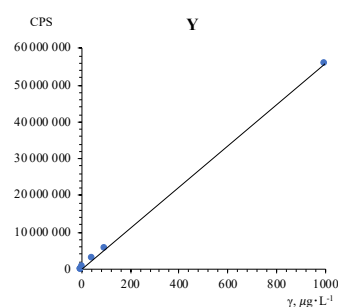
$$R^2=0,999996$$



Sr

$$y=(25179\pm 35)x$$

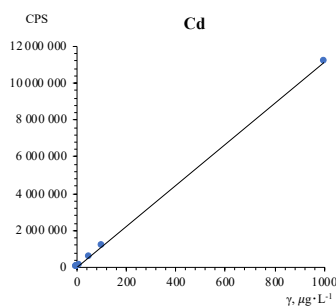
$$R^2=0,999990$$



Y

$$y=(55930\pm 92)x+(52242\pm 34970)$$

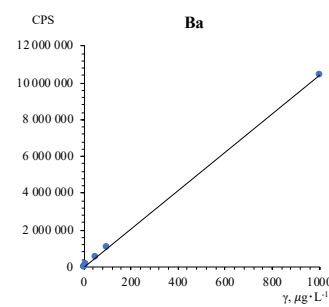
$$R^2=0,99998$$



Cd

$$y=(11163\pm 12)x+(8594\pm 4711)$$

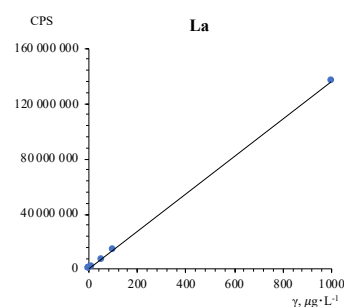
$$R^2=0,99994$$



Ba

$$y=(10451,5\pm 1,6)x+(1105\pm 607)$$

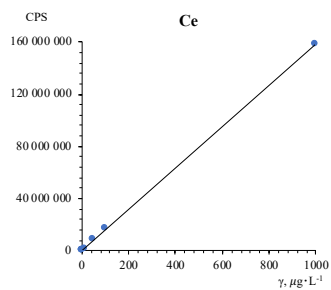
$$R^2=0,9999998$$



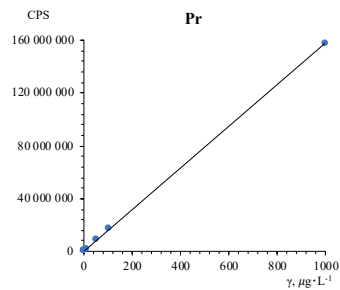
La

$$y=(135473\pm 334)x$$

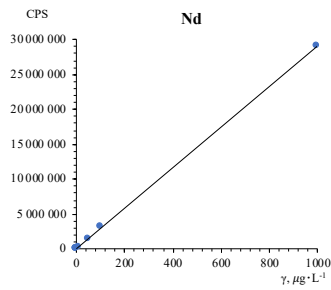
$$R^2=0,99997$$



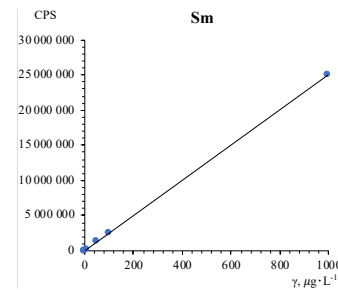
Ce
 $y=(157805\pm568)x$
 $R^2=0,99994$



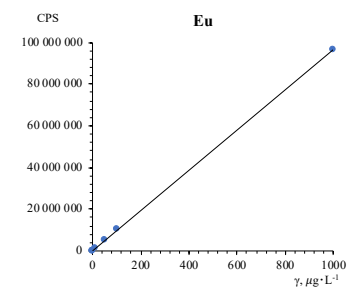
Pr
 $y=(157208\pm666)x$
 $R^2=0,99991$



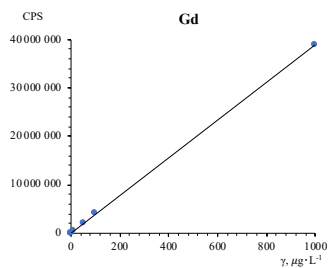
Nd
 $y=(29074\pm102)x$
 $R^2=0,99994$



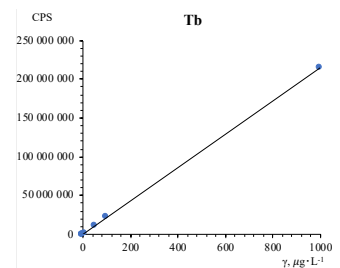
Sm
 $y=(25014\pm38)x$
 $R^2=0,99998$



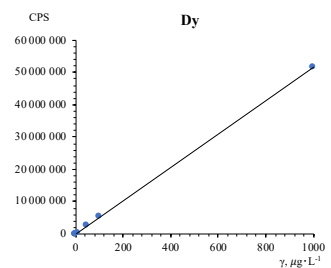
Eu
 $y=(96444\pm207)x$
 $R^2=0,99998$



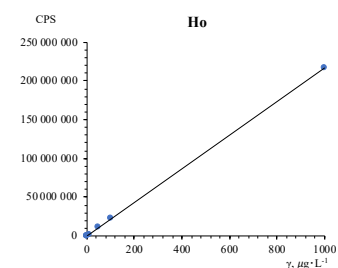
Gd
 $y=(38798\pm89)x$
 $R^2=0,99997$



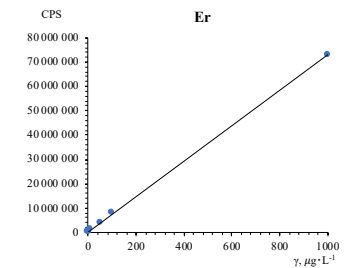
Tb
 $y=(215097\pm555)x$
 $R^2=0,99997$



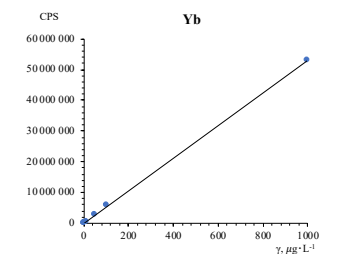
Dy
 $y=(51713\pm174)x$
 $R^2=0,99994$



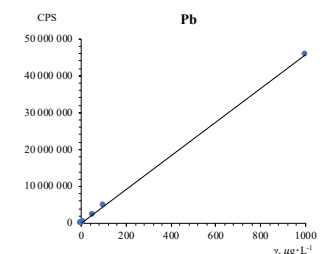
Ho
 $y=(216532\pm589)x$
 $R^2=0,99996$



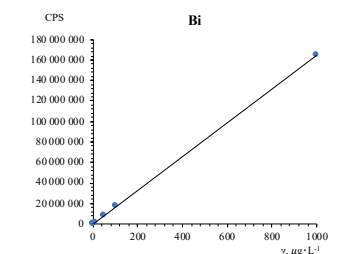
Er
 $y=(72777\pm164)x$
 $R^2=0,99997$



Yb
 $y=(52719\pm215)x$
 $R^2=0,99992$



Pb
 $y=(45837\pm73)x$
 $R^2=0,99998$



Bi
 $y=(163900\pm303)x$
 $R^2=0,99998$

10.Pielikums. Makro-, mirko- un retzemju elementu saturs meža augsnē

1.tabula

Makro- un mikroelementu saturs (mg·kg⁻¹) meža augsnē

Terit.	PL	m _(desv.) g	B			Al			P			K			Ca			V		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,1604	- ^a	- ^a	- ^a	4632,128	722	649 ±104	1319,074	206	183 ±31	1839,988	287	242 ±63	30954,611	4825	4479 ±488 ^b	32,938	5,1	4,8 ±0,5
		0,2165	- ^a	- ^a		4982,263	575		1396,514	161		1708,188	197		35798,547	4134		38,861	4,5	
	2.	0,1422	- ^a	- ^a	- ^a	3542,340	623	605 ±25	812,606	143	137 ±9	1095,776	193	184 ±12	16880,720	2968	2785 ±258	20,199	3,55	3,53 ±0,03
		0,1398	- ^a	- ^a		3281,380	587		728,534	130		982,213	176		14556,011	2603		19,647	3,51	
	3.	0,1239	- ^a	- ^a	- ^a	1721,731	347	337 ±14	541,369	109	105 ±5	791,757	160	142 ±26	9667,004	1951	1864 ±122	11,946	2,41	2,37 ±0,06
		0,1459	- ^a	- ^a		1908,723	327		592,157	101		720,804	124		10375,545	1778		13,599	2,33	
	4.	0,1692	- ^a	- ^a	- ^a	2299,604	340	345 ±7	823,905	122	119 ±3	954,474	141	143 ±3	17145,402	2533	2551 ±25	15,979	2,361	2,363 ±0,003
		0,1700	- ^a	- ^a		2382,476	350		796,924	117		983,825	145		17465,450	2568		16,081	2,365	
	5.	0,1587	- ^a	- ^a	- ^a	2006,672	316	325 ±13	640,111	101	102 ±2	849,581	134	132 ±2	11335,377	1786	1818 ±46	15,305	2,411	2,407 ±0,006
		0,1647	- ^a	- ^a		2201,763	334		682,752	104		862,606	131		12189,763	1850		15,825	2,402	
	6.	0,1973	- ^a	- ^a	- ^a	2387,076	302	308 ±8	853,518	108,1	107,0 ±1,6	965,243	122,3	123,3 ±1,4	12472,736	1580	1533 ±67	19,612	2,49	2,52 ±0,04
		0,1981	- ^a	- ^a		2481,378	313		838,929	105,9		985,064	124,3		11769,905	1485		20,167	2,55	
608-19-21 (VP)	1.	0,1495	- ^a	- ^a	- ^a	1480,632	248	303 ±78	490,596	82	89 ±10	588,823	98	122 ±34	5653,866	945	1031 ±121	9,638	1,6	1,9 ±0,4
		0,1536	- ^a	- ^a		2200,748	358		588,735	96		900,090	146		6861,271	1117		13,685	2,2	
	2.	0,1184	- ^a	- ^a	- ^a	1288,159	272	312 ±57	529,504	112	108 ±6	493,264	104	131 ±38	4303,057	909	1102 ±273	9,527	2,01	2,10 ±0,13
		0,1733	- ^a	- ^a		2445,433	353		720,730	104		1092,596	158		8976,333	1295		15,195	2,19	
	3.	0,1586	- ^a	- ^a	- ^a	1295,093	204	240 ±51	272,791	43	55 ±17	453,250	71	80 ±12	3657,229	576	764 ±265	8,240	1,3	1,5 ±0,3
		0,1482	- ^a	- ^a		1637,188	276		401,596	68		524,332	88		5636,224	951		10,248	1,7	
	4.	0,1460	- ^a	- ^a	- ^a	1234,402	211	205 ±10	251,391	43,0	42,7 ±0,6	242,629	42	40 ±3	2619,757	449	466 ±25	8,211	1,41	1,35 ±0,08
		0,1282	- ^a	- ^a		1013,738	198		216,745	42,3		193,942	38		2483,156	484		6,631	1,29	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Cr			Mn			Fe			Co			Ni			Cu			Zn		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,1604	20,125	3,1	2,8 ±0,5	553,356	86	80 ±9 ^b	12897,385	2010	1894 ±165	2,919	0,45	0,43 ±0,04	26,261	4,1	3,4 ±1,0	22,278	3,5	3,1 ±0,6	243,106	38	35 ±4
		0,2165	20,998	2,4		631,949	73		15392,896	1777		3,508	0,41		23,247	2,7		23,153	2,7		276,704	32	
	2.	0,1422	11,624	2,04	1,95 ±0,14	37,442	6,6	6,3 ±0,4	6356,849	1118	1093 ±34	1,994	0,351	0,342 ±0,013	13,124	2,3	2,2 ±0,2	16,778	2,95	2,86 ±0,13	96,542	17,0	16,4 ±0,8
		0,1398	10,332	1,85		33,467	6,0		5978,410	1069		1,859	0,332		11,283	2,0		15,452	2,76		88,649	15,9	
	3.	0,1239	8,723	1,760	1,751 ±0,013	49,736	10,0	9,8 ±0,4	3817,892	770	765 ±7	1,316	0,266	0,262 ±0,004	8,282	1,67	1,59 ±0,11	12,670	2,56	2,47 ±0,13	128,260	26	24 ±3
		0,1459	10,163	1,741		55,423	9,5		4434,509	760		1,514	0,259		8,839	1,51		13,869	2,38		129,908	22	
	4.	0,1692	9,531	1,41	1,50 ±0,13	104,586	15,5	15,3 ±0,2	4862,594	718	734 ±22	2,040	0,3014	0,3018 ±0,0006	8,198	1,21	1,27 ±0,08	18,769	2,773	2,777 ±0,006	117,136	17,3	17,5 ±0,3
		0,1700	10,835	1,59		103,433	15,2		5092,345	749		2,055	0,3022		8,975	1,32		18,915	2,782		120,281	17,7	
	5.	0,1587	8,799	1,39	1,49 ±0,14	168,613	26,6	25,6 ±1,3	5116,912	806	800 ±9	1,712	0,2697	0,2691 ±0,0008	8,008	1,26	1,36 ±0,13	12,630	1,99	1,97 ±0,03	119,186	18,8	19,0 ±0,4
		0,1647	10,472	1,59		162,784	24,7		5224,043	793		1,769	0,2685		9,547	1,45		12,844	1,95		127,067	19,3	
	6.	0,1973	9,568	1,21	1,31 ±0,14	52,722	6,68	6,62 ±0,08	5857,012	742	746 ±6	2,032	0,257	0,261 ±0,005	10,79	1,37	1,41 ±0,07	21,827	2,766	2,776 ±0,015	171,645	21,7	21,3 ±0,7
		0,1981	11,137	1,41		52,029	6,57		5947,514	751		2,092	0,264		11,58	1,46		22,079	2,786		164,613	20,8	
608-19-21 (VP)	1.	0,1495	7,033	1,176	1,175 ±0,002	20,450	3,4	4,2 ±1,1	3243,342	542	638 ±136	1,311	0,22	0,25 ±0,04	6,94	1,16	1,22 ±0,09	6,043	1,0	1,2 ±0,3	41,686	7,0	7,7 ±1,0
		0,1536	7,209	1,173		30,754	5,0		4513,399	735		1,723	0,28		7,88	1,28		8,478	1,4		51,473	8,4	
	2.	0,1184	6,501	1,37	1,40 ±0,04	46,494	10	13 ±4	2911,447	615	667 ±74	1,125	0,24	0,25 ±0,02	5,37	1,13	1,21 ±0,10	6,413	1,4	1,7 ±0,5	79,616	17	18 ±2
		0,1733	9,871	1,42		106,171	15		4991,078	720		1,867	0,27		8,86	1,28		14,177	2,0		139,414	20	
	3.	0,1586	5,088	0,8	1,0 ±0,3	28,065	4,4	5,4 ±1,4	2994,598	472	556 ±119	1,238	0,20	0,21 ±0,03	4,935	0,8	0,9 ±0,2	5,733	0,90	1,01 ±0,15	60,747	10	11 ±3
		0,1482	7,026	1,2		37,675	6,4		3793,257	640		1,383	0,23		6,643	1,1		6,613	1,12		78,648	13	
	4.	0,1460	4,803	0,82	0,85 ±0,04	31,914	5	8 ±4	2600,509	445,3	444,1 ±1,7	1,023	0,1752	0,1746 ±0,0009	5,181	0,89	0,91 ±0,03	7,140	1,22	1,18 ±0,06	54,901	9,40	9,36 ±0,06
		0,1282	4,477	0,87		55,984	11		2271,275	442,9		0,892	0,1739		4,783	0,93		5,836	1,14		47,792	9,32	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

$$\text{Aprēķina piemērs Cr (SP) 1. PL: } W_{Cr} = \frac{(\gamma_{Cr}) \cdot V}{m_{iesvars}} = \frac{20,125 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,0250 \text{ L}}{0,1604 \text{ g}} = 3,1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} = 3,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Terit.	PL	m(iesv.), g	Ga			Rb			Sr			Cd			Ba			Pb			Bi		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
405-421-3 (SP)	1.	0,1604	4,317	0,67	0,64 $\pm 0,04$	8,933	1,39	1,32 $\pm 0,10$	61,697	9,6	9,3 $\pm 0,5$	1,797	0,2800	0,2791 $\pm 0,0013$	202,261	31,5	30,4 $\pm 1,6$	293,630	45,77	45,85 $\pm 0,12$	2,050	0,32	0,26 $\pm 0,09$
		0,2165	5,279	0,61		10,814	1,25		77,741	9,0		2,409	0,2782		253,405	29,3		397,798	45,94		1,686	0,19	
	2.	0,1422	3,603	0,633	0,627 $\pm 0,010$	5,941	1,04	1,06 $\pm 0,02$	51,660	9,1	8,9 $\pm 0,3$	2,916	0,51	0,49 $\pm 0,03$	147,851	26,0	25,5 $\pm 0,8$	456,099	80,2	79,0 $\pm 1,7$	2,395	0,421	0,425 $\pm 0,005^b$
		0,1398	3,466	0,620		6,005	1,07		48,341	8,6		2,664	0,48		139,353	24,9		435,212	77,8		2,394	0,428	
	3.	0,1239	1,927	0,389	0,379 $\pm 0,013$	5,275	1,06	1,00 $\pm 0,10$	26,470	5,3	5,1 $\pm 0,3$	1,084	0,2188	0,2192 $\pm 0,0006$	55,444	11,2	10,8 $\pm 0,5$	187,410	37,8	37,2 $\pm 0,9$	1,557	0,31	0,35 $\pm 0,05$
		0,1459	2,160	0,370		5,406	0,93		28,732	4,9		1,281	0,2195		61,126	10,5		213,004	36,5		2,255	0,39	
	4.	0,1692	2,575	0,3805	0,3801 $\pm 0,0007$	5,306	0,78	0,80 $\pm 0,02$	46,786	6,91	6,89 $\pm 0,03$	2,160	0,3191	0,3179 $\pm 0,0017$	126,156	18,6	18,8 $\pm 0,3$	291,582	43,1	44,1 $\pm 1,4$	0,716	0,11	0,13 $\pm 0,03$
		0,1700	2,581	0,3796		5,496	0,81		46,752	6,88		2,154	0,3167		129,349	19,0		306,616	45,1		1,039	0,15	
	5.	0,1587	2,472	0,3893	0,3884 $\pm 0,0014$	5,110	0,80	0,82 $\pm 0,02$	34,812	5,48	5,52 $\pm 0,04$	1,317	0,207	0,213 $\pm 0,008$	125,204	19,72	19,71 $\pm 0,02$	257,869	40,62	40,56 $\pm 0,08$	1,436	0,23	0,26 $\pm 0,05$
		0,1647	2,552	0,3874		5,493	0,83		36,546	5,55		1,440	0,219		129,789	19,70		266,862	40,51		1,953	0,30	
	6.	0,1973	2,923	0,370	0,372 $\pm 0,002$	5,551	0,70	0,73 $\pm 0,03$	33,630	4,261	4,271 $\pm 0,013$	2,261	0,2865	0,2855 $\pm 0,0013$	121,398	15,38	15,35 $\pm 0,05$	369,217	46,78	46,88 $\pm 0,14$	0,811	0,103	0,111 $\pm 0,012$
		0,1981	2,960	0,374		5,929	0,75		33,914	4,280		2,255	0,2846		121,354	15,31		372,308	46,98		0,947	0,120	
608-19-21 (VP)	1.	0,1495	2,062	0,34	0,41 $\pm 0,09$	3,313	0,55	0,66 $\pm 0,15$	62,350	10	4,3 $\pm 3^b$	0,448	0,07	0,09 $\pm 0,02$	120,533	20	25 ± 6	182,505	31	34 ± 5	0,718	0,1201	0,1195 $\pm 0,0007$
		0,1536	2,859	0,47		4,737	0,77		93,375	15		0,675	0,11		177,711	29		232,426	38		0,731	0,1190	
	2.	0,1184	1,449	0,31	0,34 $\pm 0,05$	3,849	0,8	1,0 $\pm 0,2$	26,001	5	7 ± 2	0,347	0,07	0,13 $\pm 0,09$	69,164	15	19 ± 7	137,541	29	31 ± 3	0,821	0,1734	0,14 $\pm 0,05$
		0,1733	2,586	0,37		7,638	1,1		60,167	9		1,355	0,20		166,506	24		225,987	33		0,720	0,1039	
	3.	0,1586	1,252	0,20	0,24 $\pm 0,06$	2,065	0,33	0,46 $\pm 0,19$	19,101	3,0	3,9 $\pm 1,2$	0,851	0,13	0,17 $\pm 0,05$	74,019	12	15 ± 4	176,212	28	29 ± 2	0,671	0,1058	0,116 $\pm 0,014$
		0,1482	1,678	0,28		3,543	0,60		27,983	4,7		1,191	0,20		103,830	18		184,673	31		0,745	0,1257	
	4.	0,1460	1,107	0,190	0,183 $\pm 0,009$	2,185	0,374	0,367 $\pm 0,010$	15,031	2,574	2,584 $\pm 0,014$	0,521	0,089	0,080 $\pm 0,012$	45,146	7,7	8,0 $\pm 0,4$	154,892	26,5	25,8 $\pm 1,2$	0,508	0,0870	0,11 $\pm 0,03$
		0,1282	0,909	0,177		1,848	0,360		13,299	2,593		0,367	0,072		42,383	8,3		128,291	25,0		0,668	0,1302	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) meža augsnē

Terit.	PL	$m_{(\text{res.})} \text{ g}$	Y			La			Ce			Pr			Nd			Sm		
			$\gamma, \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\gamma, \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\gamma, \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\gamma, \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\gamma, \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
405-421-3 (SP)	1.	0,1604	4,922	767	737 ± 42	11,149	1738	1784 ± 66	23,234	3621	3675 ± 76	2,692	419,6	418,4 $\pm 1,6$	9,221	1437	1465 ± 39	1,246	194	207 ± 18
		0,2165	6,130	708		15,856	1831		32,291	3729		3,614	417,3		12,927	1493		1,897	219	
	2.	0,1422	4,283	753	746 ± 9	8,458	1487,0	1487,7 $\pm 1,0$	19,665	3457	3431 ± 37	2,185	384	386 ± 3	7,160	1259	1276 ± 24	0,939	165	161 ± 6
		0,1398	4,138	740		8,323	1488,4		19,041	3405		2,170	388		7,232	1293		0,879	157	
	3.	0,1239	2,261	456	438 ± 26	4,899	989	998 ± 13	10,733	2166	2325 ± 225	1,324	267	270 ± 4	3,771	761	796 ± 50	0,281	57	65 ± 12
		0,1459	2,445	419		5,876	1007		14,495	2484		1,595	273		4,849	831		0,433	74	
	4.	0,1692	2,966	438	444 ± 9	7,149	1056	1070 ± 20	16,087	2377	2390 ± 19	1,862	275,1	276,5 $\pm 1,9$	5,835	862	883 ± 29	0,661	98	102 ± 7
		0,1700	3,064	451		7,376	1085		16,343	2403		1,889	277,8		6,142	903		0,728	107	
	5.	0,1587	3,055	481	474 ± 10	6,792	1070	1061 ± 13	16,064	2530	2479 ± 73	1,771	279	277 ± 3	5,772	909	919 ± 14	0,641	101	98 ± 4
		0,1647	3,076	467		6,932	1052		15,987	2427		1,807	274		6,124	930		0,626	95	
	6.	0,1973	3,352	425	448 ± 33	8,485	1075	1073 ± 3	18,697	2369	2409 ± 56	2,137	270,8	271,8 $\pm 1,5$	7,227	916	921 ± 7	0,880	112	117 ± 8
		0,1981	3,736	471		8,483	1071		19,398	2448		2,162	272,8		7,338	926		0,972	123	
608-19-21 (VP)	1.	0,1495	3,624	606	743 ± 194	23,728	3968	4790 ± 1163	41,255	6899	8443 ± 2184	4,120	689	823 ± 189	14,144	2365	2849 ± 685	1,824	305	377 ± 102
		0,1536	5,408	880		34,484	5613		61,364	9988		5,875	956		20,482	3334		2,762	450	
	2.	0,1184	2,147	453	498 ± 64	8,343	1762	1776 ± 20	17,300	3653	3532 ± 171	2,871	606	562 ± 63	5,784	1221	1229 ± 10	0,534	113	131 ± 26
		0,1733	3,768	544		12,405	1790		23,642	3411		3,583	517		8,567	1236		1,035	149	
	3.	0,1586	1,786	282	351 ± 98	5,884	927	1102 ± 246	13,314	2099	2427 ± 464	1,467	231	272 ± 58	4,503	710	837 ± 179	0,888	112	114 ± 3
		0,1482	2,489	420		7,562	1276		16,333	2755		1,853	313		5,711	963		0,861	116	
	4.	0,1460	1,293	221	225 ± 5	3,776	647	627 ± 28	10,066	1724	1576 ± 209	1,079	184,8	185,5 $\pm 1,0$	2,949	505	499 ± 8	0,887	122	130 ± 12
		0,1282	1,173	229		3,110	607		7,320	1428		0,955	186,2		2,528	493		0,884	138	

^aZem metodes noteikšanas robežas^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Eu			Gd			Tb			Dv			Ho			Er			Yb		
			γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,1604	0,349	54,4	54,1 ±0,4	0,640	400	124 ±24 ^b	0,251	39,12	39,08 ±0,06	1,400	218,2	218,6 ±0,6	0,259	40,4	40,9 ±0,7	0,715	111	113 ±3	0,600	94	96 ±3
		0,2165	0,466	53,8		1,284	148		0,338	39,03		1,897	219,1		0,358	41,3		0,997	115		0,846	98	
	2.	0,1422	0,312	54,9	55,7 ±1,2	0,416	73	77 ±5	0,227	39,9	40,3 ±0,5	1,304	229	232 ±4	0,251	44,1	45,2 ±1,5	0,695	122	125 ±5	0,677	119	116 ±4
		0,1398	0,316	56,5		0,451	81		0,227	40,6		1,315	235		0,259	46,3		0,719	129		0,635	114	
	3.	0,1239	0,176	35,5	35,8 ±0,5	- ^a	- ^a	- ^a	0,133	26,8	26,4 ±0,7	0,766	155	153 ±3	0,148	29,9	29,2 ±1,0	0,423	85	82 ±5	0,368	74	72 ±3
		0,1459	0,211	36,2		- ^a	- ^a		0,151	25,9		0,879	151		0,166	28,4		0,460	79		0,406	70	
	4.	0,1692	0,248	36,6	37,6 ±1,3	0,152	22	25 ±4	0,184	27,2	27,7 ±0,7	1,102	163	166 ±4	0,203	30,0	31,0 ±1,5	0,580	86	88 ±4	0,514	76	78 ±3
		0,1700	0,262	38,5		0,192	28		0,192	28,2		1,149	169		0,218	32,1		0,617	91		0,548	81	
	5.	0,1587	0,255	40,2	40,3 ±0,3	0,179	28,2	29,3 ±1,5	0,192	30,2	29,8 ±0,7	1,113	175,3	174,1 ±1,7	0,215	33,9	33,5 ±0,6	0,634	100	98 ±3	0,558	88	86 ±3
		0,1647	0,267	40,5		0,200	30,3		0,193	29,3		1,139	172,9		0,218	33,1		0,631	96		0,548	83	
	6.	0,1973	0,297	37,6	38,9 ±1,8	0,505	64	67 ±4	0,227	28,8	29,7 ±1,3	1,303	165	174 ±13	0,252	32	34 ±2	0,701	89	94 ±7	0,620	79	83 ±6
		0,1981	0,318	40,1		0,552	70		0,243	30,7		1,454	183		0,280	35		0,784	99		0,693	87	
608-19-21 (VP)	1.	0,1495	0,629	105	123 ±26	1,379	231	302 ±100	0,307	51	60 ±12	1,628	272	313 ±58	0,285	48	56 ±12	0,734	123	148 ±36	0,624	104	112 ±10
		0,1536	0,868	141		2,289	373		0,416	68		2,177	354		0,394	64		1,063	173		0,731	119	
	2.	0,1184	0,263	55,5	56,0 ±0,6	1,288	272	242 ±43	0,169	35,7	35,4 ±0,4	0,963	203,3	204,7 ±1,9	0,178	37,6	38,9 ±1,9	0,497	105	110 ±6	0,508	107	103 ±6
		0,1733	0,391	56,4		1,466	211		0,243	35,1		1,428	206,0		0,279	40,2		0,791	114		0,680	98	
	3.	0,1586	0,237	37	42 ±7	0,986	155	161 ±8	0,166	26	29 ±5	0,934	147	168 ±30	0,177	28	32 ±6	0,522	82	92 ±14	0,347	55	62 ±10
		0,1482	0,281	47		0,989	167		0,193	33		1,122	189		0,215	36		0,605	102		0,412	70	
	4.	0,1460	0,166	28,4	28,5 ±0,2	1,233	211	189 ±31	0,120	20,55	20,61 ±0,09	0,684	117	120 ±4	0,131	22,4	22,9 ±0,7	0,383	65,6	66,2 ±0,9	0,328	56	58 ±2
		0,1282	0,147	28,7		0,855	167		0,106	20,67		0,629	123		0,120	23,4		0,343	66,9		0,303	59	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

$$\text{Aprēķina piemērs Eu (SP) 1. PL: } W_{Cr} = \frac{(\gamma_{Cr}) \cdot V}{m_{iesvars}} = \frac{0,349 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,0250 \text{ L}}{0,1604 \text{ g}} \cdot 1000 = 54,4 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$$

11.Pielikums. Makro-, mirko- un retzemju elementu saturs (*Vaccinium myrtillus L.*) saknēs

1.tabula

Makro un mikroelementu saturs (mg·kg⁻¹) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) saknēs

Terit.	PL	m _(dew.) g	B			Al			P			K			Ca			V		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,1028	48,211	9,4	8,7 ±0,9	1176,040	229	206 ±32	4832,646	940	793 ±208	10546,148	2052	1769 ±400	4060,209	790	658 ±187	5,348	1,04	0,95 ±0,13
		0,1295	52,368	8,1		1189,250	184		4179,605	645		9622,817	1486		3405,946	526		5,517	0,85	
	2.	0,1024	35,410	6,9	8,2 ±1,9	936,413	183	171 ±17	2328,345	455	537 ±116	7428,440	1451	1524 ±104	1867,034	365	402 ±53	2,851	0,56	0,51 ±0,07
		0,1325	63,341	9,6		1051,652	159		4096,943	618		10583,645	1598		2913,511	440		3,007	0,45	
	3.	0,0946	43,889	9	8 ±2	1081,241	229	224 ±7	2782,837	588	618 ±41	8103,941	1713	2392 ±960	1968,057	416	411 ±7	2,503	0,53	0,50 ±0,04
		0,1514	44,388	6		1656,780	219		4896,018	647		23250,862	3071		3073,695	406		3,534	0,47	
	4.	0,1011	33,914	6,7	7,4 ±1,0	1600,498	317	231 ±121	3157,478	625	611 ±19	6837,110	1353	1366 ±19	2561,129	506,65	506,63 ±0,03	5,367	1,1	0,8 ±0,3
		0,0751	30,256	8,1		545,291	145		2242,965	597		5177,629	1379		1902,321	506,61		2,328	0,6	
	5.	0,1832	59,516	6,5	7,0 ±0,7	701,475	77	150 ±103	3723,631	407	532 ±177	11767,888	1285	1525 ±339	2905,259	317	435 ±166	3,620	0,4	0,6 ±0,3
		0,1123	42,060	7,5		1250,581	223		3686,434	657		9906,945	1764		3101,405	552		4,971	0,9	
	6.	0,0670	28,428	8,5	7,4 ±1,6	767,066	229	247 ±26	2306,317	688	551 ±194	5898,648	1761	1550 ±297	1637,249	489	497 ±12	2,598	0,78	0,86 ±0,12
		0,1175	36,906	6,3		1560,210	266		2431,653	414		7873,332	1340		2973,434	506		5,529	0,94	
608-19-21 (VP)	1.	0,0827	27,264	6,6	6,3 ±0,5	1486,677	360	350 ±14	3512,845	850	831 ±27	9758,410	2360	2001 ±507	2821,740	682	800 ±166	3,004	0,73	0,86 ±0,18
		0,1000	29,592	5,9		1701,536	340		4059,741	812		8214,904	1643		4585,422	917		4,929	0,99	
	2.	0,1003	28,428	5,67	5,79 ±0,17	1710,581	341	323 ±26	3128,561	624	616 ±11	9330,718	1861	1584 ±391	2568,327	512	536 ±34	3,886	0,77	0,88 ±0,15
		0,1734	51,204	5,91		2635,616	304		5268,033	608		11340,190	1308		4854,924	560		8,551	0,99	
	3.	0,2014	33,748	3	5 ±3	1646,308	163	206 ±59	4083,161	405	631 ±319	11125,167	1105	1581 ±674	2385,048	237	340 ±146	3,953	0,4	0,5 ±0,2
		0,1068	39,566	7		1322,354	248		4577,753	857		10987,551	2058		2364,489	443		3,573	0,7	
	4.	0,1749	21,778	2	4 ±2	1711,097	196	152 ±62	3705,700	424	505 ±115	8578,617	981	1642 ±934	2545,706	291	313 ±31	4,588	0,52	0,50 ±0,04
		0,1543	43,556	6		838,211	109		4528,154	587		17762,905	2302		2580,676	335		3,603	0,47	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Cr			Mn			Fe			Co			Ni			Cu			Zn		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,1028	5,106	1,0	0,8 ±0,3	3849,483	749	735 ±19	1176,307	229	185 ±62	1,810	0,35	0,31 ±0,06	7,157	1,4	1,2 ±0,3	63,990	12,45	12,41 ±0,06	530,612	103	84 ±27
		0,1295	3,796	0,6		4675,412	722		912,684	141		1,712	0,26		6,591	1,0		80,059	12,36		421,516	65	
	2.	0,1024	2,307	0,45	0,46 ±0,02	2964,414	579	603 ±34	600,390	117	110 ±10	0,798	0,16	0,17 ±0,02	2,060	0,4	0,5 ±0,2	34,963	6,8	8,0 ±1,7	202,046	39	50 ±15
		0,1325	3,175	0,48		4155,437	627		683,112	103		1,210	0,18		4,107	0,6		60,983	9,2		402,042	61	
	3.	0,0946	1,744	0,37	0,42 ±0,07	3777,732	799	476 ±456	560,025	118	146 ±39	0,977	0,21	0,17 ±0,05	2,640	0,56	0,66 ±0,15	46,121	10	7 ±3	208,289	44,0	44,5 ±0,6
		0,1514	3,582	0,47		1162,470	154		1313,202	173		1,053	0,14		5,816	0,77		39,288	5		340,079	44,9	
	4.	0,1011	3,611	0,71	0,67 ±0,07	6048,329	1197	1175 ±30	1007,978	199	145 ±77	1,294	0,26	0,23 ±0,03	2,856	0,6	0,8 ±0,3	54,820	10,8	11,4 ±0,8	256,735	51	61 ±14
		0,0751	2,319	0,62		4334,160	1154		342,132	91		0,787	0,21		3,641	1,0		44,753	11,9		264,208	70	
	5.	0,1832	5,395	0,59	0,69 ±0,15	4913,667	536	596 ±85	558,388	61	122 ±86	1,016	0,11	0,19 ±0,11 ^c	6,807	0,7	0,9 ±0,3	75,393	8,2	9,4 ±1,6	512,704	56	71 ±21
		0,1123	4,470	0,80		3685,304	656		1024,581	182		1,498	0,27		6,234	1,1		59,048	10,5		484,081	86	
	6.	0,0670	3,581	1,07	0,94 ±0,19	1674,144	500	430 ±98	747,662	223	201 ±32	0,961	0,287	0,286 ±0,002	3,504	1,05	0,98 ±0,10	33,654	10	9 ±2	294,322	88	71 ±23
		0,1175	4,736	0,81		2119,464	361		1046,483	178		1,672	0,285		5,314	0,90		42,415	7		322,514	55	
608-19-21 (VP)	1.	0,0827	3,793	0,92	0,89 ±0,04	1198,566	290	224 ±94	1260,611	305	340 ±50	1,057	0,256	0,259 ±0,005	1,935	0,5	0,8 ±0,5	38,153	9,23	9,13 ±0,13	188,175	46	56 ±14
		0,1000	4,326	0,87		786,101	157		1879,677	376		1,311	0,262		5,668	1,1		45,191	9,04		328,842	66	
	2.	0,1003	3,551	0,71	0,62 ±0,12	2571,939	513	486 ±37	1298,036	259	292 ±47	1,053	0,210	0,212 ±0,003	2,177	0,4	0,6 ±0,3	41,519	8,28	8,17 ±0,15	169,633	34	36 ±3
		0,1734	4,645	0,54		3986,798	460		2817,584	325		1,863	0,215		6,917	0,8		69,927	8,07		330,645	38	
	3.	0,2014	2,643	0,26	0,43 ±0,24	1453,004	144	240 ±135	908,531	90	116 ±36	2,445	0,24	0,30 ±0,09	3,435	0,3	0,7 ±0,5	43,355	4	7 ±4	274,906	27	40 ±19
		0,1068	3,215	0,60		1793,077	336		752,395	141		1,957	0,37		5,957	1,1		50,977	10		285,851	54	
	4.	0,1749	5,084	0,58	0,54 ±0,05	3916,974	448	518 ±100	1199,602	137	118 ±28	1,468	0,17	0,14 ±0,04 ^b	7,894	0,90	0,92 ±0,03	31,540	4	6 ±3	271,689	31	35 ±6
		0,1543	3,908	0,51		4541,719	589		755,123	98		0,883	0,11		7,252	0,94		57,312	7		305,426	40	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Ga			Rb			Sr			Cd			Ba			Pb			Bi		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,1028	0,495	0,096	0,090 ±0,009	71,997	14	12 ±3	21,865	4,3	4,1 ±0,3	8,338	1,6	1,4 ±0,3	132,128	26	31 ±8	21,169	4,1	4,7 ±0,8	2,492	0,48	0,37 ±0,17
		0,1295	0,538	0,083		59,742	9		24,972	3,9		8,096	1,3		238,223	37		34,242	5,3		1,617	0,25	
	2.	0,1024	0,258	0,050	0,046 ±0,006	44,848	8,8	8,1 ±0,9	13,696	2,7	2,9 ±0,3	3,815	0,75	0,77 ±0,03	99,564	19	23 ±4	13,382	2,6	2,8 ±0,2	2,421	0,47	0,53 ±0,07
		0,1325	0,281	0,042		49,944	7,5		20,522	3,1		5,261	0,79		170,971	26		19,146	2,9		3,829	0,58	
	3.	0,0946	0,284	0,060	0,071 ±0,015	43,514	9,2	10,0 ±1,1	15,087	3,2	4,5 ±1,8	3,886	0,8	0,6 ±0,3	174,429	37	27 ±14	22,714	4,8	3,4 ±1,9	4,760	1,0	0,7 ±0,5
		0,1514	0,614	0,081		81,355	10,7		43,352	5,7		2,755	0,4		130,953	17		15,811	2,1		2,343	0,3	
	4.	0,1011	0,565	0,11	0,09 ±0,03	31,447	6,2	6,7 ±0,7	19,314	3,82	3,87 ±0,07	4,419	0,87	0,79 ±0,12	202,319	40	43 ±4	45,439	9	8 ±2	1,583	0,31	0,27 ±0,06
		0,0751	0,248	0,07		27,080	7,2		14,723	3,92		2,630	0,70		169,717	45		23,367	6		0,859	0,23	
	5.	0,1832	0,221	0,02	0,06 ±0,05	54,518	6,0	7,3 ±1,9	26,443	2,9	3,6 ±1,1	4,702	0,5	0,9 ±0,5	219,067	24	31 ±10	11,830	1	4 ±3	1,183	0,1	0,6 ±0,6 ^c
		0,1123	0,555	0,10		48,715	8,7		24,637	4,4		6,709	1,2		212,906	38		34,298	6		5,631	1,0	
	6.	0,0670	0,373	0,11	0,13 ±0,02	23,502	7,0	6,1 ±1,3	13,294	4,0	5,1 ±1,5	2,420	0,72	0,70 ±0,03	67,822	20	38 ±25	13,892	4	8 ±6	3,762	1,1	0,8 ±0,5
		0,1175	0,819	0,14		30,702	5,2		36,183	6,2		3,995	0,68		327,305	56		75,436	13		2,491	0,4	
608-19-21 (VP)	1.	0,0827	0,551	0,13	0,15 ±0,03	32,250	7,8	6,7 ±1,6	28,806	7,0	7,4 ±0,6	2,018	0,49	0,43 ±0,08	128,615	31	25 ±8	12,347	2,99	3,02 ±0,05	5,283	1,3	1,1 ±0,2
		0,1000	0,865	0,17		27,868	5,6		39,407	7,9		1,890	0,38		97,328	19		15,308	3,06		4,922	1,0	
	2.	0,1003	0,502	0,100	0,112 ±0,016	43,055	8,6	7,6 ±1,4	31,175	6,2	6,1 ±0,2	1,240	0,25	0,29 ±0,06	173,232	34,5	34,8 ±0,4	10,082	2,0	2,3 ±0,4	0,606	0,12	0,23 ±0,16
		0,1734	1,066	0,123		57,278	6,6		51,726	6,0		2,860	0,33		304,470	35,1		21,979	2,5		3,001	0,35	
	3.	0,2014	0,479	0,05	0,06 ±0,02	47,614	5	7 ±3	40,181	4	6 ±4	6,471	0,6	0,9 ±0,4	124,049	12	22 ±13	23,137	2,3	3,2 ±1,3	2,347	0,23	0,18 ±0,08
		0,1068	0,436	0,08		48,694	9		47,871	9		6,651	1,2		167,014	31		22,149	4,1		0,678	0,13	
	4.	0,1749	0,518	0,059	0,065 ±0,008	34,552	4	9 ±7	29,067	3,3	2,8 ±0,8 ^b	3,351	0,38	0,51 ±0,17	120,329	14	16 ±3	14,405	1,6	1,9 ±0,4	5,298	0,61	0,69 ±0,12
		0,1543	0,538	0,070		109,737	14		17,407	2,3		4,855	0,63		139,833	18		17,070	2,2		5,963	0,77	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) saknēs

Terit.	PL	m _(desv.) , g	Y			La			Ce			Pr			Nd			Sm		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
405-421-3 (SP)	1.	0,1028	0,624	121	104 ± 24	1,400	272	218 ± 77	2,434	474	379 ± 134	0,280	55	44 ± 16	1,056	206	163 ± 59	0,175	34	29 ± 8
		0,1295	0,565	87		1,055	163		1,844	285		0,211	33		0,786	121		0,150	23	
	2.	0,1024	0,350	68	63 ± 7	0,640	125	114 ± 16	1,217	238	214 ± 34	0,116	22,7	21,7 $\pm 1,4$	0,534	104	93 ± 15	0,100	19	16 ± 4
		0,1325	0,387	58		0,678	102		1,258	190		0,137	20,7		0,546	82		0,089	13	
	3.	0,0946	0,263	56	76 ± 29	0,608	129	167 ± 54	1,121	237	307 ± 99	0,103	22	31 ± 13	0,434	92	127 ± 49	0,063	13	22 ± 13
		0,1514	0,727	96		1,555	205		2,857	377		0,305	40		1,223	162		0,237	31	
	4.	0,1011	0,522	103	78 ± 36	1,183	234	185 ± 70	2,307	456	350 ± 150	0,241	48	37 ± 15	0,948	187	143 ± 63	0,154	31	26 ± 7
		0,0751	0,198	53		0,507	135		0,916	244		0,097	26		0,372	99		0,078	21	
	5.	0,1832	0,276	30	68 ± 53	0,897	98	160 ± 87	0,939	102	230 ± 180	0,099	11	26 ± 22	0,391	43	103 ± 85	0,079	9	19 ± 15
		0,1123	0,590	105		1,243	221		2,003	357		0,232	41		0,915	163		0,166	30	
	6.	0,0670	0,394	117,6	118,6 $\pm 1,4$	0,844	252	232 ± 27	1,485	443	429 ± 20	0,178	53	50 ± 4	0,655	196	189 ± 9	0,142	42	38 ± 6
		0,1175	0,703	119,6		1,252	213		2,436	415		0,277	47		1,075	183		0,201	34	
608-19-21 (VP)	1.	0,0827	0,905	219	252 ± 47	1,530	370	449 ± 112	3,129	757	923 ± 235	0,325	79	101 ± 31	1,243	301	387 ± 122	0,197	48	72 ± 34
		0,1000	1,425	285		2,641	528		5,448	1090		0,614	123		2,363	473		0,480	96	
	2.	0,1003	0,944	188	207 ± 27	1,486	296	323 ± 38	2,952	589	660 ± 101	0,311	62	72 ± 14	1,230	245	276 ± 44	0,225	45	56 ± 16
		0,1734	1,965	227		3,029	349		6,345	732		0,707	82		2,660	307		0,583	67	
	3.	0,2014	0,651	65	83 ± 25	1,705	169	210 ± 58	2,996	297	367 ± 99	0,299	30	38 ± 12	1,162	115	141 ± 36	0,189	19	23 ± 6
		0,1068	0,536	100		1,339	251		2,332	437		0,248	46		0,888	166		0,144	27	
	4.	0,1749	0,741	85	66 ± 26	1,413	162	128 ± 48	2,506	287	227 ± 84	0,273	31	25 ± 9	1,056	121	94 ± 38	0,200	23	18 ± 8
		0,1543	0,366	47		0,726	94		1,289	167		0,138	18		0,515	67		0,094	12	

^aZem metodes noteikšanas robežas^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m(iesv.), g	Eu			Gd			Tb			Dy			Ho			Er			Yb		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
405-421-3 (SP)	1.	0,1028	0,0371	7,2	5,8 $\pm 1,9$	0,1770	34	27 ± 11	0,0215	4,2	3,4 $\pm 1,1$	0,1264	25	19 ± 8	0,0223	4,3	3,7 $\pm 0,9$	0,0555	10,8	9,7 $\pm 1,6$	0,0480	9	8 ± 2
		0,1295	0,0289	4,5		0,1265	20		0,0174	2,7		0,0824	13		0,0199	3,1		0,0553	8,5		0,0414	6	
	2.	0,1024	- ^a	- ^a	- ^c	0,0664	13,0	12,8 $\pm 0,3$	- ^a	- ^a	- ^c	0,0494	9,7	11,2 $\pm 2,2$	- ^a	- ^a	- ^c	0,0201	3,9	4,3 $\pm 0,5$	0,0136	2,7	3,6 $\pm 1,3$
		0,1325	0,0246	4		0,0831	12,5		0,0139	2,1		0,0847	12,8		0,0132	2,0		0,0311	4,7		0,0303	4,6	
	3.	0,0946	- ^a	- ^a	- ^c	0,0612	13	19 ± 9	- ^a	- ^a	- ^c	0,0436	9	13 ± 6	- ^a	- ^a	- ^c	0,0117	2	6 $\pm 5^c$	- ^a	- ^a	- ^c
		0,1514	0,0472	6		0,1922	25		0,0256	3,4		0,1312	17		0,0259	3,4		0,0743	40		0,0529	7	
	4.	0,1011	0,0198	3,9	3,4 $\pm 0,7$	0,1220	24	19 ± 7	- ^a	- ^a	- ^c	0,0798	16	13 ± 4	- ^a	- ^a	- ^c	0,0255	5,04	5,08 $\pm 0,05$	0,0117	2,3	2,8 $\pm 0,7$
		0,0751	0,0108	2,9		0,0549	15		0,0055	1,5		0,0388	10		0,0066	1,8		0,0192	5,12		0,0125	3,3	
	5.	0,1832	0,0132	1	4 ± 3	0,0664	7	15 ± 11	0,0095	1,0	2,1 $\pm 1,4$	0,0517	6	13 ± 10	0,0101	1,1	2,4 $\pm 1,8$	0,0279	3	7 ± 5	0,0213	2	5 ± 3
		0,1123	0,0326	6		0,1272	23		0,0173	3,1		0,1150	20		0,0206	3,7		0,0583	10		0,0404	7	
	6.	0,0670	0,0192	5,7	6,4 $\pm 0,9$	0,1060	32	30 ± 3	0,0131	3,92	3,84 $\pm 0,11$	0,0721	21,5	22,3 $\pm 1,2$	0,0142	4,2	4,0 $\pm 0,3$	0,0363	10,8	11,0 $\pm 0,3$	0,0311	9,3	8,6 $\pm 1,0$
		0,1175	0,0412	7,0		0,1624	28		0,0221	3,76		0,1361	23,2		0,0224	3,8		0,0659	11,2		0,0464	7,9	
608-19-21 (VP)	1.	0,0827	0,0270	7	10 ± 5	0,1905	46	61 ± 21	0,0432	10,000	10,002 $\pm 0,003$	0,1658	40	50 ± 14	0,0157	3,8	7,2 $\pm 4,8$	0,0726	18	22 ± 7	0,0453	11	17 ± 8
		0,1000	0,0714	14		0,3811	76		0,0500	10,005		0,3019	60		0,0529	10,6		0,1338	27		0,1112	22	
	2.	0,1003	0,0252	5	9 ± 5	0,1996	40	46 ± 9	0,0052	1	4 ± 5	0,1480	30	37 ± 10	0,0145	2,9	5,4 $\pm 3,6$	0,0730	15	18 ± 5	0,0578	12	14 ± 4
		0,1734	0,1093	13		0,4586	53		0,0688	8		0,3788	44		0,0688	7,9		0,1884	22		0,1513	17	
	3.	0,2014	0,0205	2	4 ± 3	0,1557	15	20 ± 6	0,0004	0,0	1,8 $\pm 2,4$	0,1066	11	15 ± 7	0,0036	0,4	1,8 $\pm 2,1$	0,0493	5	7 ± 3	0,0207	2	4 $\pm 3^c$
		0,1068	0,0345	6		0,1272	24		0,0185	3,5		0,1060	20		0,0178	3,3		0,0512	10		0,0363	7	
	4.	0,1749	0,0194	2,22	2,31 $\pm 0,13$	0,1658	19	15 ± 5	0,0118	1,34	1,44 $\pm 0,13$	0,1215	14	12 ± 3	0,0080	0,9	1,1 $\pm 0,2$	0,0532	6,1	5,4 $\pm 0,9$	0,0330	3,77	3,64 $\pm 0,19$
		0,1543	0,0185	2,40		0,0921	12		0,0118	1,53		0,0743	10		0,0095	1,2		0,0369	4,8		0,0270	3,50	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

12.Pielikums. Makro-, mirko- un retzemju elementu saturs (*Vaccinium myrtillus L.*) stublājos

1.tabula

Makro un mikroelementu saturs (mg·kg⁻¹) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) stublājos

Terit.	PL	m _(desv.) g	B			Al			P			K			Ca			V		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2973	- ^a	- ^a	- ^a	1952,075	164	157 ±10	9253,750	778	780 ±3	55268,591	4648	4846 ±280	157930,271	13280	13024 ±363	0,376	0,032	0,035 ±0,004
		0,2842	- ^a	- ^a	- ^a	1709,896	150		8887,649	782		57334,869	5044		145134,035	12767		0,427	0,038	
	2.	0,2718	- ^a	- ^a	- ^a	2364,719	218	208 ±13	9158,149	842	862 ±28	56448,973	5192	5475 ±400	144617,159	13302	13966 ±939	0,229	0,021	0,023 ±0,002
		0,2925	- ^a	- ^a	- ^a	2329,284	199		10324,872	882		67366,287	5758		171165,936	14630		0,284	0,024	
	3.	0,3235	- ^a	- ^a	- ^a	1378,952	107	100 ±10	9561,833	739	789 ±71	40490,299	3129	3145 ±22	177245,554	13697	13456 ±341	0,124	0,010	0,005 ±0,006
		0,298	- ^a	- ^a	- ^a	1105,633	93		10007,088	840		37676,414	3161		157521,671	13215		0,014	0,001	
	4.	0,3458	- ^a	- ^a	- ^a	1124,350	81	77 ±6	12733,732	921	932 ±15	63938,632	4623	4401 ±313	136544,723	9872	9694 ±252	0,197	0,014	0,011 ±0,004
		0,2606	- ^a	- ^a	- ^a	760,124	73		9824,766	943		43577,268	4180		99192,130	9516		0,084	0,008	
	5.	0,3124	- ^a	- ^a	- ^a	974,031	78	82 ±6	9100,074	728	711 ±24	55109,012	4410	4137 ±386	143394,516	11475	11417 ±82	0,026	0,002	0,013 ±0,016
		0,3384	- ^a	- ^a	- ^a	1165,875	86		9404,247	695		52297,839	3864		153760,490	11359		0,336	0,025	
	6.	0,2887	- ^a	- ^a	- ^a	972,227	84	82 ±4	10178,543	881	861 ±28	57061,377	4941	4751 ±269	102955,286	8915	8792 ±174	- ^a	- ^a	- ^a
		0,2937	- ^a	- ^a	- ^a	926,914	79		9881,801	841		53577,939	4561		101846,847	8669		- ^a	- ^a	- ^a
608-19-21 (VP)	1.	0,2586	- ^a	- ^a	- ^a	1454,693	141	138 ±4	9648,740	933	874 ±83	50355,912	4868	4618 ±354	128337,934	12407	11845 ±794	0,316	0,031	0,039 ±0,012
		0,4371	- ^a	- ^a	- ^a	2363,879	135		14251,110	815		76357,523	4367		197281,612	11284		0,827	0,047	
	2.	0,3288	- ^a	- ^a	- ^a	2530,883	192	195 ±4	11913,956	906	875 ±43	68967,954	5244	5148 ±136	150514,605	11444	11442 ±3	0,145	0,011	0,014 ±0,004
		0,2958	- ^a	- ^a	- ^a	2339,411	198		9992,824	845		59765,551	5051		135351,323	11439		0,205	0,017	
	3.	0,3433	- ^a	- ^a	- ^a	4764,266	347	312 ±49	10272,372	748	781 ±47	51775,408	3770	3984 ±302	295938,550	21551	20130 ±2010	0,629	0,046	0,040 ±0,008
		0,4013	- ^a	- ^a	- ^a	4456,099	278		13074,330	814		67381,771	4198		300305,527	18708		0,545	0,034	
	4.	0,3213	- ^a	- ^a	- ^a	1818,424	141	183 ±58	11378,278	885	893 ±11	56534,114	4399	4484 ±121	190538,909	14826	15057 ±328	0,134	0,010	0,012 ±0,002
		0,4052	- ^a	- ^a	- ^a	3623,293	224		14609,386	901		74066,420	4570		247805,459	15289		0,223	0,014	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m(iesv.), g	Cr			Mn			Fe			Co			Ni			Cu			Zn		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
405-421-3 (SP)	1.	0,2973	0,523	0,04	0,07 $\pm 0,03^b$	6373,781	536	528 ± 11	501,156	42	44 ± 3	0,525	0,0441	0,0447 $\pm 0,0008$	- ^a	- ^a	- ^a	87,323	7,3	7,5 0,3	732,883	62	66 ± 6
		0,2842	1,006	0,09		5921,854	521		521,310	46		0,514	0,0452		- ^a	- ^a	- ^a	88,153	7,8		789,420	69	
	2.	0,2718	0,229	0,021	0,035 $\pm 0,019$	3543,238	326	334 ± 12	589,696	54,240	54,242 $\pm 0,003$	0,385	0,0354	0,0364 $\pm 0,0014$	0,985	0,09	0,10 $\pm 0,02$	71,394	6,6	6,3 0,4	785,288	72,2	72,8 $\pm 0,8$
		0,2925	0,563	0,048		4006,896	342		634,654	54,244		0,437	0,0374		1,336	0,11		70,729	6,0		857,926	73,3	
	3.	0,3235	0,447	0,035	0,023 $\pm 0,017$	15615,258	1207	1219 ± 17	443,114	34	33 ± 2	0,441	0,0341	0,039 $\pm 0,007$	1,908	0,147	0,140 $\pm 0,011$	88,701	6,9	7,1 0,3	768,473	59	66 ± 9
		0,298	0,126	0,011		14677,427	1231		380,915	32		0,532	0,0446		1,572	0,132		87,137	7,3		860,025	72	
	4.	0,3458	0,729	0,05	0,03 $\pm 0,04^c$	11899,882	860	906 ± 64	479,169	34,6	35,1 $\pm 0,7$	0,652	0,0471	0,060 $\pm 0,018$	3,429	0,25	0,15 $\pm 0,14^c$	111,614	8,1	7,5 0,9	857,785	62	67 ± 6
		0,2606	0,014	0,01		9910,404	951		371,569	35,6		0,759	0,0728		0,575	0,06		71,353	6,8		742,135	71	
	5.	0,3124	- ^a	- ^a	- ^a	21621,341	1730	1601 ± 182	403,478	32,29	32,31 $\pm 0,03$	0,382	0,0306	0,035 $\pm 0,006$	2,759	0,22	0,30 $\pm 0,11$	115,819	9,3	9,4 0,2	831,694	67	73 ± 9
		0,3384	- ^a	- ^a		19930,376	1472		437,627	32,33		0,523	0,0386		5,075	0,37		129,713	9,6		1077,702	80	
	6.	0,2887	0,402	0,035	0,025 $\pm 0,014$	19334,460	1674	1694 ± 28	367,734	31,8	31,5 $\pm 0,4$	0,358	0,0310	0,028 $\pm 0,005$	1,579	0,14	0,11 $\pm 0,03$	97,270	8,4	8,0 0,6	904,489	78	69 ± 13
		0,2937	0,184	0,016		20126,586	1713		366,763	31,2		0,282	0,0240		1,074	0,09		88,243	7,5		703,375	60	
608-19-21 (VP)	1.	0,2586	0,738	0,07132	0,07140 $\pm 0,00011$	1996,974	193	180 ± 19	736,763	71	65 ± 8	0,403	0,0390	0,0377 $\pm 0,0017$	- ^a	- ^a	- ^a	38,819	3,8	3,6 0,2	637,586	62	59 ± 4
		0,4371	1,250	0,07148		2916,129	167		1044,918	60		0,638	0,0365		- ^a	- ^a	- ^a	60,124	3,4		968,008	55	
	2.	0,3288	0,766	0,058	0,048 $\pm 0,014$	2433,032	185	196 ± 15	665,242	50,6	49,3 $\pm 1,7$	0,464	0,0353	0,042 $\pm 0,010$	3,025	0,23	0,20 $\pm 0,05$	98,365	7,5	6,9 0,9	911,940	69	76 ± 10
		0,2958	0,453	0,038		2440,532	206		569,240	48,1		0,579	0,0489		1,915	0,16		74,000	6,3		985,896	83	
	3.	0,3433	2,436	0,1774	0,1782 $\pm 0,0011$	3558,949	259	231 ± 40	869,545	63	59 ± 6	0,720	0,0524	0,048 $\pm 0,006$	0,815	0,06	0,09 $\pm 0,04$	41,626	3,0	3,06 0,04	1177,362	86	76 ± 14
		0,4013	2,873	0,1790		3255,447	203		889,969	55		0,707	0,0440		1,911	0,12		49,592	3,1		1064,876	66	
	4.	0,3213	0,271	0,021	0,026 $\pm 0,007$	2610,729	203	205 ± 3	537,045	41,8	42,2 $\pm 0,5$	0,382	0,0297	0,0300 $\pm 0,0004$	0,137	0,011	0,017 $\pm 0,009$	51,725	4,0	3,93 0,13	697,621	54	50 ± 6
		0,4052	0,499	0,031		3368,906	208		689,514	42,5		0,490	0,0302		0,371	0,023		62,199	3,8		741,042	46	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Ga			Rb			Sr			Cd			Ba			Pb			Bi		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2973	0,122	0,0102	0,0109 ±0,0010	238,919	20,1	20,4 ±0,4	98,278	8,26	8,15 ±0,17	8,356	0,70	0,74 ±0,05	2008,374	169	166 ±4	3,541	0,30	0,32 ±0,03	0,026	0,0022	0,0026 ±0,0006
		0,2842	0,132	0,0117		234,828	20,7		91,284	8,03		8,738	0,77		1849,691	163		3,901	0,34		0,035	0,0031	
	2.	0,2718	0,130	0,0119	0,0106 ±0,0019	192,852	18	19 ±2	177,470	16,32	16,46 ±0,19	1,415	0,1302	0,1309 ±0,0010	2303,736	212	217 ±7	1,065	0,098	0,100 ±0,003	- ^a	- ^a	- ^c
		0,2925	0,108	0,0093		242,314	21		194,122	16,59		1,540	0,1317		2602,050	222		1,201	0,103		0,023	0,002	
	3.	0,3235	0,148	0,0114	0,0101 ±0,0018	165,583	12,8	13,1 ±0,4	144,332	11,2	11,8 ±0,9	2,277	0,176	0,171 ±0,007	1958,847	151	143 ±12	1,448	0,112	0,104 ±0,011	0,152	0,012	0,009 ±0,004
		0,298	0,105	0,0088		159,842	13,4		148,695	12,5		1,987	0,167		1602,951	134		1,156	0,097		0,077	0,006	
	4.	0,3458	0,105	0,00760	0,00768 ±0,00012	403,380	29	26 ±5	127,241	9,2	9,6 ±0,5	2,316	0,17	0,22 ±0,08	1698,233	123	126 ±4	1,394	0,101	0,104 ±0,005	0,081	0,006	0,003 ±0,004 ^c
		0,2606	0,081	0,00776		232,769	22		103,258	9,9		2,869	0,28		1337,523	128		1,120	0,107		0,006	0,001	
	5.	0,3124	0,109	0,0087	0,0082 ±0,0007	237,394	19,0	19,7 ±1,1	91,047	7,3	6,6 ±1,0	3,354	0,27	0,29 ±0,02	1833,200	146,7	145,5 ±1,7	0,416	0,03	0,05 ±0,03	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3384	0,105	0,0078		277,450	20,5		78,868	5,8		4,095	0,30		1953,680	144,3		1,016	0,08		- ^a	- ^a	
	6.	0,2887	0,137	0,0118	0,0113 ±0,0007	159,675	13,8	13,5 ±0,5	86,127	7,5	7,3 ±0,3	1,394	0,12	0,10 ±0,03	1401,354	121	123 ±3	0,677	0,06	0,04 ±0,02	0,098	0,008	0,006 ±0,003
		0,2937	0,127	0,0108		154,564	13,2		83,347	7,1		0,885	0,08		1471,272	125		0,356	0,03		0,048	0,004	
608-19-21 (VP)	1.	0,2586	0,141	0,0136	0,0134 ±0,0003	142,495	13,8	13,3 ±0,6	150,099	14,5	13,9 ±0,9	0,026	0,01	0,02 ±0,02 ^c	1653,667	160	157 ±4	0,342	0,033	0,046 ±0,018	0,028	0,0027	0,0020 ±0,0009
		0,4371	0,231	0,0132		225,854	12,9		231,129	13,2		0,526	0,03		2692,559	154		1,015	0,058		0,024	0,0014	
	2.	0,3288	0,115	0,0087	0,0096 ±0,0012	303,782	23,1	21,9 ±1,7	141,716	10,8	11,2 ±0,6	1,424	0,11	0,12 ±0,02	2453,682	186,6	186,7 ±0,2	0,562	0,04	0,10 ±0,08 ^c	- ^a	- ^a	- ^c
		0,2958	0,123	0,0104		245,441	20,7		137,664	11,6		1,638	0,14		2210,567	186,8		1,836	0,16		0,095	0,008	
	3.	0,3433	0,200	0,015	0,013 ±0,002	128,612	9,4	9,8 ±0,6	601,801	44	41 ±4 ^b	3,829	0,28	0,24 ±0,05	3335,050	243	229 ±19	3,668	0,267	0,238 ±0,042	0,602	0,044	0,039 ±0,007
		0,4013	0,187	0,012		164,360	10,2		607,426	38		3,334	0,21		3460,751	216		3,341	0,208		0,546	0,034	
	4.	0,3213	0,094	0,0073	0,0077 ±0,0005	200,063	15,6	15,9 ±0,5	214,162	16,7	17,8 ±1,7	1,448	0,113	0,119 ±0,010	1479,380	115	117 ±3	0,489	0,038	0,042 ±0,005	- ^a	- ^a	- ^c
		0,4052	0,131	0,0081		264,130	16,3		308,407	19,0		2,048	0,126		1923,540	119		0,729	0,045		0,003	0,0002	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) stublājos

Terit.	PL	m ^(desv.) , g	Y			La			Ce			Pr			Nd			Sm		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
405-421-3 (SP)	1.	0,2973	0,165	13,9	14,3 $\pm 0,6$	0,274	23	26 ± 4	0,467	39	46 ± 9	0,051	4,3	5,0 $\pm 1,0$	- ^a	- ^a	- ^a	0,039	3,3	3,8 $\pm 0,8$
		0,2842	0,168	14,8		0,329	29		0,596	52		0,065	5,7		- ^a	- ^a		0,050	4,4	
	2.	0,2718	0,314	29	26 ± 5	0,508	47	41 ± 9	0,966	89	79 ± 15	0,109	10,0	8,7 $\pm 1,9$	- ^a	- ^a	- ^a	0,077	7,1	6,2 $\pm 1,3$
		0,2925	0,263	22		0,405	35		0,799	68		0,086	7,4		- ^a	- ^a		0,062	5,3	
	3.	0,3235	0,150	12	10 ± 2	0,311	24	21 ± 5	0,559	43	37 ± 9	0,064	4,9	4,1 $\pm 1,2$	- ^a	- ^a	- ^a	0,045	3,5	3,0 $\pm 0,7$
		0,298	0,105	9		0,209	18		0,366	31		0,039	3,3		- ^a	- ^a		0,029	2,4	
	4.	0,3458	0,125	9,0	9,4 $\pm 0,5$	0,254	18,4	19,1 $\pm 1,0$	0,417	30	32 ± 3	0,047	3,4	3,6 $\pm 0,3$	- ^a	- ^a	- ^a	0,037	2,67	2,58 $\pm 0,13$
		0,2606	0,101	9,7		0,206	19,8		0,362	35		0,040	3,8		- ^a	- ^a		0,026	2,49	
	5.	0,3124	0,062	4,96	4,99 $\pm 0,04$	0,340	29,4	28,1 $\pm 1,8$	0,625	54,1	53,4 $\pm 0,9$	0,068	5,9	6,1 $\pm 0,3$	- ^a	- ^a	- ^a	0,048	4,2	4,6 $\pm 0,7$
		0,3384	0,068	5,02		0,363	26,8		0,715	52,8		0,086	6,4		- ^a	- ^a		0,069	5,1	
	6.	0,2887	0,076	6,6	7,0 $\pm 0,6$	0,223	19,3	18,9 $\pm 0,5$	0,385	33,3	32,8 $\pm 0,8$	0,042	3,6	3,6 $\pm 0,1$	- ^a	- ^a	- ^a	0,028	2,42	2,40 $\pm 0,03$
		0,2937	0,088	7,5		0,218	18,6		0,378	32,2		0,041	3,5		- ^a	- ^a		0,028	2,38	
608-19-21 (VP)	1.	0,2586	0,339	32,8	31,6 $\pm 1,6$	0,504	49	45 ± 5	1,095	106	95 ± 15	0,117	11,3	10,9 $\pm 0,6$	- ^a	- ^a	- ^a	0,094	9,1	8,2 $\pm 1,2$
		0,4371	0,533	30,5		0,727	42		1,480	85		0,183	10,5		- ^a	- ^a		0,129	7,4	
	2.	0,3288	0,239	18,2	19,1 $\pm 1,3$	0,420	31,9	30,8 $\pm 1,6$	0,839	64	60 ± 6	0,095	7,2	6,7 $\pm 0,7$	- ^a	- ^a	- ^a	0,073	5,6	5,1 $\pm 0,7$
		0,2958	0,237	20,0		0,351	29,7		0,657	56		0,074	6,3		- ^a	- ^a		0,054	4,6	
	3.	0,3433	0,418	30	27 ± 5	0,831	65	69 ± 6	1,612	126	129 ± 4	0,180	14,1	14,6 $\pm 0,7$	- ^a	- ^a	- ^a	0,135	10,553	10,551 $\pm 0,003$
		0,4013	0,364	23		0,901	73		1,615	131		0,186	15,1		- ^a	- ^a		0,130	10,549	
	4.	0,3213	0,255	20	18 ± 2	1,162	96	91 ± 7	2,343	193	175 ± 25	0,267	22	20 ± 3	- ^a	- ^a	- ^a	0,191	15,7	14,4 $\pm 1,8$
		0,4052	0,276	17		1,071	86		1,950	157		0,219	18		- ^a	- ^a		0,163	13,1	

^aZem metodes noteikšanas robežas^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Eu			Gd			Tb			Dv			Ho			Er			Yb		
			γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2973	0,079	6,6	6,4 ±0,3	0,031	2,6	2,9 ±0,5	0,004	0,336	0,344 ±0,011	0,026	2,2	2,4 ±0,3	0,004	0,34	0,39 ±0,07	0,015	1,26	1,33 ±0,10	0,013	1,09	1,16 ±0,10
		0,2842	0,071	6,2		0,037	3,3		0,004	0,352		0,029	2,6		0,005	0,44		0,016	1,41		0,014	1,23	
	2.	0,2718	0,093	8,55	8,68 ±0,18	0,075	6,9	6,1 ±1,1	0,009	0,83	0,71 ±0,16 ^b	0,054	5,0	4,6 ±0,6	0,010	0,92	0,80 ±0,17	0,030	2,8	2,4 ±0,4	0,026	2,4	2,0 ±0,5
		0,2925	0,103	8,80		0,062	5,3		0,007	0,60		0,049	4,2		0,008	0,68		0,025	2,1		0,019	1,6	
	3.	0,3235	0,077	6,0	5,6 ±0,5	0,036	2,8	2,4 ±0,5	0,005	0,39	0,32 ±0,10	0,026	2,0	1,7 ±0,4	0,004	0,31	0,28 ±0,04	0,014	1,08	0,96 ±0,17	0,010	0,77	0,68 ±0,13
		0,298	0,062	5,2		0,024	2,0		0,003	0,25		0,017	1,4		0,003	0,25		0,010	0,84		0,007	0,59	
	4.	0,3458	0,066	4,8	4,9 ±0,2	0,028	2,024	2,019 ±0,007	0,003	0,22	0,20 ±0,02	0,026	1,88	1,80 ±0,11	0,003	0,22	0,25 ±0,05	0,013	0,94	0,90 ±0,05	0,009	0,65	0,61 ±0,05
		0,2606	0,053	5,1		0,021	2,015		0,002	0,19		0,018	1,73		0,003	0,29		0,009	0,86		0,006	0,58	
	5.	0,3124	0,065	5,6	5,5 ±0,2	0,046	3,98	3,95 ±0,05	0,005	0,43	0,40 ±0,04	0,033	2,85	2,72 ±0,19	0,006	0,5190	0,5180 ±0,0014	0,018	1,56	1,44 ±0,16	0,014	1,2	1,0 ±0,2
		0,3384	0,072	5,3		0,053	3,91		0,005	0,37		0,035	2,58		0,007	0,5170		0,018	1,33		0,012	0,9	
	6.	0,2887	0,052	4,50	4,55 ±0,07	0,020	1,73	1,80 ±0,10	0,002	0,173	0,172 ±0,002	0,014	1,21	1,29 ±0,11	0,003	0,26	0,22 ±0,06	0,006	0,52	0,60 ±0,11	0,005	0,43	0,47 ±0,05
		0,2937	0,054	4,60		0,022	1,87		0,002	0,170		0,016	1,36		0,002	0,17		0,008	0,68		0,006	0,51	
608-19-21 (VP)	1.	0,2586	0,076	7,3	7,0 ±0,5	0,082	7,9	7,5 ±0,6	0,011	1,06	1,02 ±0,06	0,067	6,5	6,1 ±0,5	0,012	1,16	1,12 ±0,05	0,040	3,9	3,4 ±0,6	0,028	2,71	2,67 ±0,05
		0,4371	0,117	6,7		0,124	7,1		0,017	0,97		0,101	5,8		0,019	1,09		0,053	3,0		0,046	2,63	
	2.	0,3288	0,099	7,5	7,7 ±0,3	0,062	4,7	4,5 ±0,3	0,008	0,608	0,600 ±0,012	0,048	3,65	3,68 ±0,05	0,007	0,53	0,56 ±0,04	0,023	1,75	1,85 ±0,14	0,016	1,2	1,4 ±0,3
		0,2958	0,094	7,9		0,050	4,2		0,007	0,592		0,044	3,72		0,007	0,59		0,023	1,94		0,019	1,6	
	3.	0,3433	0,081	6,3	6,6 ±0,3	0,120	9,4	10,3 ±1,3	0,016	1,3	1,4 ±0,3	0,097	7,6	8,9 ±1,8	0,017	1,3	1,6 ±0,4	0,050	3,9	4,6 ±0,9	0,043	3,4	3,6 ±0,3
		0,4013	0,084	6,8		0,138	11,2		0,020	1,6		0,125	10,1		0,024	1,9		0,064	5,2		0,047	3,8	
	4.	0,3213	0,063	5,2	5,4 ±0,3	0,178	14,7	13,9 ±1,1	0,025	2,06	1,96 ±0,15	0,139	11,5	11,3 ±0,3	0,024	1,98	2,04 ±0,08	0,074	6,10	6,15 ±0,08	0,056	4,6	4,9 ±0,4
		0,4052	0,070	5,6		0,163	13,1		0,023	1,85		0,137	11,0		0,026	2,10		0,077	6,21		0,064	5,2	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

13.Pielikums. Makro-, mirko- un retzemju elementu saturs (*Vaccinium myrtillus L.*) lapās

1.tabula

Makro un mikroelementu saturs (mg·kg⁻¹) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) lapās

Terit.	PL	m ^(desv.) , g	B			Al			P			K			Ca			V		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2725	669,964	61,5	61,2 ±0,4	2723,559	250	261 ±15	10399,492	954	956 ±3	133276,465	12227	12622 ±558	145498,376	13348	14050 ±992	0,447	0,041	0,046 ±0,007
		0,2670	650,148	60,9		2896,989	271		10233,441	958		139011,567	13016		157537,874	14751		0,546	0,051	
	2.	0,3141	392,033	31	35 ±5	3861,866	307	325 ±25	13742,642	1094	1118 ±35	124742,392	9929	10667 ±1044	268035,141	21334	21912 ±818	1,633	0,13	0,12 ±0,02
		0,2947	452,111	38		4032,263	342		13472,506	1143		134449,564	11406		265108,948	22490		1,196	0,10	
	3.	0,1918	584,542	76,2	76,9 ±1,0	1206,518	157	147 ±14	5757,151	750	761 ±15	42016,451	5477	5318 ±225	180123,933	23478	22814 ±940	0,114	0,015	0,025 ±0,015
		0,2790	865,384	77,5		1536,073	138		8610,984	772		57569,829	5159		247187,024	22149		0,398	0,036	
	4.	0,2896	1119,560	96,6	95,9 ±1,0	2161,483	187	185 ±2	9511,365	821	819 ±4	100110,329	8642	9300 ±930	280028,807	24174	23240 ±1320	0,422	0,036	0,033 ±0,005
		0,2557	974,194	95,2		1875,185	183		8346,171	816		101849,325	9958		228153,103	22307		0,299	0,029	
	5.	0,2890	1222,128	106	100 ±9	2833,610	245	219 ±37	8973,126	776	781 ±6	101933,211	8818	9377 ±791	219795,684	19013	18011 ±1417	0,591	0,051	0,048 ±0,005
		0,3385	1266,772	94		2615,485	193		10631,466	785		134538,347	9936		230308,261	17009		0,598	0,044	
	6.	0,1924	508,272	66	69 ±4	1201,667	156	160 ±5	5844,448	759	775 ±22	68906,220	8954	9024 ±100	123695,531	16073	16644 ±807	0,106	0,014	0,026 ±0,017 ^b
		0,2954	842,955	71		1936,206	164		9340,908	791		107465,931	9095		203404,303	17214		0,449	0,038	
608-19-21 (VP)	1.	0,2893	95,338	8	12 ±5	3494,511	302	343 ±58	13681,570	1182	1224 ±59	119074,183	10290	10661 ±524	154197,472	13325	14587 ±1785	1,620	0,140	0,16 ±0,03
		0,3084	187,720	15		4735,134	384		15615,935	1266		136080,518	11031		195511,597	15849		2,308	0,187	
	2.	0,2958	523,504	44	36 ±12	4422,661	374	363 ±16	14324,657	1211	1157 ±76	130988,369	11071	11254 ±260	264939,024	22392	21893 ±706	1,139	0,0962	0,0957 ±0,0007
		0,2081	224,987	27		2925,082	351		9186,438	1104		95209,543	11438		178081,326	21394		0,792	0,0952	
	3.	0,3198	402,668	31,5	31,9 ±0,6	4422,459	346	349 ±4	15669,330	1225	1248 ±33	97987,934	7660	7931 ±383	236879,861	18518	18701 ±258	1,010	0,079	0,081 ±0,003
		0,3081	398,200	32,3		4334,411	352		15672,002	1272		101085,009	8202		232717,586	18883		1,029	0,084	
	4.	0,3033	398,404	33	35 ±3	4339,782	357,7	358,8 ±1,6	14773,312	1218	1289 ±101	93321,083	7692	7532 ±226	204837,101	16884	19074 ±3097	1,192	0,098	0,101 ±0,004
		0,3100	454,908	37		4463,367	359,9		16870,330	1361		91417,580	7372		263666,534	21263		1,297	0,105	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Cr			Mn			Fe			Co			Ni			Cu			Zn		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2725	1,765	0,16	0,18 ±0,03	10601,675	973	976 ±5	952,380	87	89 ±3	0,430	0,039	0,042 ±0,003	3,497	0,321	0,325 ±0,006	88,673	8,14	8,08 ±0,07	123,154	11,3	11,5 ±0,3
		0,2670	2,136	0,20		10458,443	979		971,172	91		0,472	0,044		3,511	0,329		85,784	8,03		124,659	11,7	
	2.	0,3141	6,023	0,5	0,6 ±0,2	4146,435	330	370 ±56	1585,429	126	131 ±6	0,598	0,048	0,049 ±0,002	7,095	0,7	0,8 ±0,4 ^b	81,728	6,5	6,8 ±0,4	168,027	13,4	14,5 ±1,6
		0,2947	9,393	0,8		4830,351	410		1593,722	135		0,597	0,051		13,969	1,2		83,919	7,1		184,154	15,6	
	3.	0,1918	1,081	0,14	0,23 ±0,13	14949,059	1949	1819 ±184	521,875	68,0	67,1 ±1,3	0,357	0,047	0,048 ±0,002	2,592	0,34	0,39 ±0,07	47,075	6,136	6,126 ±0,015	147,001	19,2	17,5 ±2,3
		0,2790	3,673	0,33		18846,440	1689		738,786	66,2		0,547	0,049		4,940	0,44		68,246	6,115		177,617	15,9	
	4.	0,2896	5,269	0,45	0,48 ±0,03	17084,849	1475	1486 ±16	984,844	85,0	85,5 ±0,7	0,873	0,075	0,074 ±0,003	4,246	0,3665	0,3674 ±0,0012	87,515	7,6	7,7 ±0,2	167,319	14,4	14,8 ±0,5
		0,2557	5,131	0,50		15322,236	1498		879,038	85,9		0,734	0,072		3,767	0,3683		80,494	7,9		155,008	15,2	
	5.	0,2890	8,511	0,74	0,62 ±0,16	28176,628	2437	2481 ±61	1164,805	101	94 ±10	0,580	0,050	0,045 ±0,008	8,297	0,72	0,66 ±0,09	107,496	9,30	9,24 ±0,08	180,702	15,6	15,4 ±0,4
		0,3385	6,906	0,51		34173,220	2524		1169,066	86		0,526	0,039		8,020	0,59		124,375	9,19		204,191	15,1	
	6.	0,1924	2,760	0,36	0,39 ±0,04	11158,746	1450	1607 ±222	526,121	68	70 ±2	0,382	0,050	0,047 ±0,004	2,565	0,33	0,39 ±0,08	62,059	8,06	8,12 ±0,08	107,054	13,9	14,4 ±0,7
		0,2954	4,987	0,42		20835,336	1763		848,055	72		0,522	0,044		5,194	0,44		96,658	8,18		176,200	14,9	
608-19-21 (VP)	1.	0,2893	3,238	0,28	0,38 ±0,14	2558,527	221	238 ±23	1852,315	160	177 ±24	0,841	0,073	0,079 ±0,009	2,408	0,21	0,23 ±0,03	47,062	4,1	4,4 ±0,4	111,895	9,7	10,6 ±1,3
		0,3084	5,868	0,48		3135,392	254		2400,266	195		1,051	0,085		3,087	0,25		57,217	4,6		142,093	11,5	
	2.	0,2958	3,573	0,30	0,42 ±0,17	3341,184	282	295 ±18	1615,024	136	139 ±3	0,721	0,061	0,059 ±0,003	10,015	0,85	0,79 ±0,08 ^b	93,971	7,9421	7,9428 ±0,0010	175,588	14,84	14,92 ±0,12
		0,2081	4,535	0,54		2559,304	307		1174,546	141		0,472	0,057		6,084	0,73		66,121	7,9435		124,924	15,01	
	3.	0,3198	11,236	0,9	1,0 ±0,2	2076,064	162	180 ±25	1543,422	121	126 ±7	0,852	0,067	0,071 ±0,006	3,512	0,275	0,267 ±0,010	59,276	4,63	4,65 ±0,02	143,429	11,2	12,1 ±1,3
		0,3081	14,713	1,2		2428,583	197		1615,935	131		0,932	0,076		3,209	0,260		57,486	4,66		160,716	13,0	
	4.	0,3033	4,374	0,4	0,6 ±0,3	4440,845	366	433 ±94	1475,272	122	124 ±3	0,747	0,062	0,064 ±0,004	1,749	0,14	0,20 ±0,08	63,384	5,225	5,410 ±0,263	137,971	11,4	12,0 ±0,9
		0,3100	9,499	0,8		6189,453	499		1557,557	126		0,833	0,067		3,159	0,25		69,390	5,596		157,593	12,7	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Ga			Rb			Sr			Cd			Ba			Pb			Bi		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2725	0,155	0,0142	0,0152 ±0,0014	405,989	37,2	36,8 ±0,7	48,979	4,49	4,62 ±0,18	- ^a	- ^a	- ^a	1047,036	96	98 ±3	0,629	0,058	0,070 ±0,017	0,462	0,042	0,037 ±0,008
		0,2670	0,173	0,0162		387,501	36,3		50,706	4,75		1077,929	101		0,873	0,082		0,337	0,032				
	2.	0,3141	0,322	0,0257	0,0260 ±0,0005	330,267	26,3	26,5 ±0,3	184,427	14,7	15,4 ±1,1	- ^a	- ^a	- ^a	1990,107	158	164 ±8	1,538	0,122	0,128 ±0,008	0,670	0,053	0,067 ±0,019
		0,2947	0,311	0,0264		315,373	26,8		190,944	16,2		1998,884	170		1,578	0,134		0,950	0,081				
	3.	0,1918	0,140	0,0182	0,0173 ±0,0013	143,565	18,7	19,2 ±0,7	87,934	11,46	10,78 ±0,96	- ^a	- ^a	- ^a	1216,146	159	154 ±6	1,090	0,142	0,152 ±0,013	0,344	0,045	0,057 ±0,017
		0,2790	0,183	0,0164		220,602	19,8		112,782	10,11		1674,003	150		1,796	0,161		0,771	0,069				
	4.	0,2896	0,184	0,0159	0,0153 ±0,0008	329,178	28	32 ±5	175,912	15,2	14,4 ±1,2	- ^a	- ^a	- ^a	1627,070	140	142 ±3	10,102	0,9	1,5 ±0,8^b	0,833	0,072	0,082 ±0,014
		0,2557	0,151	0,0147		367,634	36		138,401	13,5		1474,419	144		20,851	2,0		0,941	0,092				
	5.	0,2890	0,227	0,0196	0,0187 ±0,0013	324,676	28,1	28,2 ±0,2	64,448	5,58	5,63 ±0,07	- ^a	- ^a	- ^a	1678,031	145	137 ±12	1,664	0,14	0,09 ±0,07	1,137	0,10	0,08 ±0,03
		0,3385	0,242	0,0178		383,529	28,3		76,917	5,68		1741,890	129		0,613	0,05		0,800	0,06				
	6.	0,1924	0,108	0,014	0,016 ±0,002	146,551	19,0	19,3 ±0,3	50,345	6,5	6,2 ±0,5	- ^a	- ^a	- ^a	613,553	80	84 ±6	3,721	0,484	0,482 ±0,002	0,371	0,048	0,061 ±0,018
		0,2954	0,205	0,017		230,426	19,5		69,733	5,9		1044,389	88		5,678	0,481		0,872	0,074				
608-19-21 (VP)	1.	0,2893	0,473	0,041	0,046 ±0,007	227,174	19,6	20,5 ±1,2	111,575	9,6	10,4 ±1,0	- ^a	- ^a	- ^a	1024,968	89	96 ±11	0,806	0,07	0,10 ±0,04	0,577	0,050	0,057 ±0,010
		0,3084	0,625	0,051		262,792	21,3		137,049	11,1		1278,350	104		1,489	0,12		0,796	0,065				
	2.	0,2958	0,339	0,0287	0,0276 ±0,0014	386,936	32,7	33,2 ±0,6	126,520	10,7	11,9 ±1,8	- ^a	- ^a	- ^a	2028,551	171	160 ±16	2,338	0,20	0,14 ±0,08	3,553	0,30	0,18 ±0,17
		0,2081	0,222	0,0266		279,668	33,6		109,929	13,2		1240,455	149		0,729	0,09		0,510	0,06				
	3.	0,3198	0,278	0,0217	0,0227 ±0,0013	223,064	17,4	18,1 ±1,0	368,107	28,8	27,9 ±1,3	- ^a	- ^a	- ^a	1711,889	134	129 ±7	2,837	0,2	0,4 ±0,3	7,082	0,55	0,84 ±0,40
		0,3081	0,291	0,0236		231,834	18,8		331,844	26,9		1529,771	124		7,341	0,6		13,854	1,12				
	4.	0,3033	0,402	0,033	0,031 ±0,002	204,023	16,8	16,4 ±0,6	166,960	13,8	14,4 ±1,0	- ^a	- ^a	- ^a	953,324	79	81 ±4	0,958	0,08	0,14 ±0,08	0,581	0,05	0,09 ±0,06
		0,3100	0,367	0,030		198,880	16,0		187,684	15,1		1042,362	84		2,390	0,19		1,629	0,13				

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) lapās

Terit.	PL	m(iesv.) g	Y			La			Ce			Pr			Nd			Sm		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
405-421-3 (SP)	1.	0,2725	0,253	23,2	22,7 $\pm 0,7$	0,382	35	40 ± 6	0,783	72	77 ± 8	0,081	7,4	8,2 $\pm 1,1$	- ^a	- ^a	- ^a	0,053	4,9	5,2 $\pm 0,5$
		0,2670	0,237	22,2		0,470	44		0,883	83		0,096	9,0		- ^a	- ^a		0,059	5,5	
	2.	0,3141	0,739	59	63 $\pm 6^b$	1,007	80	90 ± 14	2,008	160	179 ± 27	0,226	18	20 ± 3	- ^a	- ^a	- ^a	0,177	14,1	14,6 $\pm 0,7$
		0,2947	0,788	67		1,182	100		2,326	197		0,257	22		- ^a	- ^a		0,177	15,0	
	3.	0,1918	0,181	23,6	23,1 $\pm 0,7$	0,301	39	38 ± 2	0,568	74	71 ± 5	0,058	7,56	7,63 $\pm 0,10$	- ^a	- ^a	- ^a	0,040	5,2	5,9 $\pm 1,0$
		0,2790	0,253	22,7		0,404	36		0,750	67		0,086	7,71		- ^a	- ^a		0,074	6,6	
	4.	0,2896	0,214	18,5	18,7 $\pm 0,3$	0,427	37	34 ± 4	0,678	59	56 ± 3	0,078	6,7	6,3 $\pm 0,6$	- ^a	- ^a	- ^a	0,058	5,0	4,7 $\pm 0,5$
		0,2557	0,193	18,9		0,318	31		0,554	54		0,060	5,9		- ^a	- ^a		0,044	4,3	
	5.	0,2890	0,216	19	17 ± 3	0,340	29,4	28,1 $\pm 1,8$	0,625	54,1	53,4 $\pm 0,9$	0,068	5,9	6,1 $\pm 0,3$	- ^a	- ^a	- ^a	0,048	4,2	4,6 $\pm 0,7$
		0,3385	0,204	15		0,363	26,8		0,715	52,8		0,086	6,4		- ^a	- ^a		0,069	5,1	
	6.	0,1924	0,128	16,6	17,9 $\pm 1,8$	0,238	30,9	30,2 $\pm 1,0$	0,451	59	57 ± 3	0,048	6,2	6,1 $\pm 0,2$	- ^a	- ^a	- ^a	0,034	4,4	4,2 $\pm 0,3$
		0,2954	0,226	19,1		0,348	29,5		0,648	55		0,070	5,9		- ^a	- ^a		0,048	4,1	
608-19-21 (VP)	1.	0,2893	0,915	79	88 ± 13	1,349	117	127 ± 15	2,804	242	264 ± 31	0,323	28	30 ± 3	- ^a	- ^a	- ^a	0,240	21	23 ± 3
		0,3084	1,195	97		1,707	138		3,524	286		0,399	32		- ^a	- ^a		0,305	25	
	2.	0,2958	0,744	62,9	61,5 $\pm 1,9$	1,188	100,4	100,5 $\pm 0,2$	2,338	198	193 ± 7	0,265	22	21 ± 2	- ^a	- ^a	- ^a	0,191	16,1	15,2 $\pm 1,3$
		0,2081	0,501	60,2		0,838	100,7		1,563	188		0,168	20		- ^a	- ^a		0,119	14,3	
	3.	0,3198	0,569	44	51 ± 9	0,831	65	69 ± 6	1,612	126	129 ± 4	0,180	14,1	14,6 $\pm 0,7$	- ^a	- ^a	- ^a	0,135	10,553	10,551 $\pm 0,003$
		0,3081	0,708	57		0,901	73		1,615	131		0,186	15,1		- ^a	- ^a		0,130	10,549	
	4.	0,3033	0,821	68	70 ± 3	1,162	96	91 ± 7	2,343	193	175 ± 25	0,267	22	20 ± 3	- ^a	- ^a	- ^a	0,191	15,7	14,4 $\pm 1,8$
		0,3100	0,885	71		1,071	86		1,950	157		0,219	18		- ^a	- ^a		0,163	13,1	

^aZem metodes noteikšanas robežas^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Eu			Gd			Tb			Dv			Ho			Er			Yb		
			γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,2725	0,049	4,50	4,45 ±0,07	0,050	4,59	4,63 ±0,07	0,006	0,550	0,556 ±0,008	0,041	3,761	3,9 ±0,3	0,007	0,642	0,649 ±0,009	0,022	2,02	2,09 ±0,10	0,017	1,56	1,58 ±0,02
		0,2670	0,047	4,40		0,050	4,68		0,006	0,562		0,044	4,120		0,007	0,655		0,023	2,15		0,017	1,59	
	2.	0,3141	0,098	7,8	8,3 ±0,7	0,155	12,3	13,3 ±1,3	0,022	1,8	1,9 ±0,2 ^b	0,136	10,825	11,1 ±0,4 ^b	0,023	1,8	2,0 ±0,3 ^b	0,070	5,6	5,9 ±0,3 ^b	0,057	4,5	5,1 ±0,8 ^b
		0,2947	0,103	8,7		0,167	14,2		0,024	2,0		0,135	11,452		0,026	2,2		0,074	6,3		0,066	5,6	
	3.	0,1918	0,052	6,8	6,5 ±0,4	0,036	4,69	4,68 ±0,02	0,004	0,52	0,57 ±0,07	0,031	4,041	3,90 ±0,19	0,006	0,78	0,70 ±0,11	0,015	2,0	2,1 ±0,2	0,012	1,56	1,50 ±0,09
		0,2790	0,070	6,3		0,052	4,66		0,007	0,63		0,042	3,763		0,007	0,63		0,025	2,2		0,016	1,43	
	4.	0,2896	0,072	6,2	5,8 ±0,5	0,044	3,798	3,806 ±0,010	0,009	0,8	0,6 ±0,3	0,041	3,539	3,4 ±0,2	0,010	0,9	0,7 ±0,2	0,022	1,90	1,78 ±0,17	0,018	1,6	1,4 ±0,2
		0,2557	0,056	5,5		0,039	3,813		0,004	0,4		0,033	3,226		0,006	0,6		0,017	1,66		0,013	1,3	
	5.	0,2890	0,065	5,6	5,5 ±0,2	0,046	3,98	3,95 ±0,05	0,005	0,43	0,40 ±0,04	0,033	2,85	2,72 ±0,19	0,006	0,5190	0,5180 ±0,0014	0,018	1,56	1,44 ±0,16	0,014	1,2	1,0 ±0,2
		0,3385	0,072	5,3		0,053	3,91		0,005	0,37		0,035	2,58		0,007	0,5170		0,018	1,33		0,012	0,9	
	6.	0,1924	0,027	3,5	3,7 ±0,2	0,029	3,77	3,87 ±0,15	0,003	0,39	0,45 ±0,08	0,024	3,119	3,3 ±0,3	0,004	0,52	0,56 ±0,05	0,012	1,6	1,7 ±0,2	0,010	1,30	1,41 ±0,16
		0,2954	0,045	3,8		0,047	3,98		0,006	0,51		0,042	3,555		0,007	0,59		0,022	1,9		0,018	1,52	
608-19-21 (VP)	1.	0,2893	0,080	6,9	7,5 ±0,8	0,209	18	19 ±2	0,028	2,4	2,7 ±0,4	0,170	14,691	16 ±2	0,031	2,7	3,0 ±0,4	0,087	7,5	8,3 ±1,2	0,068	5,9	6,5 ±0,9
		0,3084	0,099	8,0		0,258	21		0,036	2,9		0,221	17,915		0,040	3,2		0,113	9,2		0,089	7,2	
	2.	0,2958	0,097	8,2	7,8 ±0,5	0,160	13,5	13,7 ±0,3	0,021	1,775	1,788 ±0,019	0,130	10,99	11,3 ±0,4	0,025	2,11	2,08 ±0,05	0,075	6,3	6,2 ±0,2	0,064	5,4	5,0 ±0,6
		0,2081	0,062	7,4		0,116	13,9		0,015	1,802		0,096	11,53		0,017	2,04		0,050	6,0		0,038	4,6	
	3.	0,3198	0,081	6,3	6,6 ±0,3	0,120	9,4	10,3 ±1,3	0,016	1,3	1,4 ±0,3	0,097	7,58	8,9 ±1,8	0,017	1,3	1,6 ±0,4	0,050	3,9	4,6 ±0,9	0,043	3,4	3,6 ±0,3
		0,3081	0,084	6,8		0,138	11,2		0,020	1,6		0,125	10,14		0,024	1,9		0,064	5,2		0,047	3,8	
	4.	0,3033	0,063	5,2	5,4 ±0,3	0,178	14,7	13,9 ±1,1	0,025	2,06	1,96 ±0,15	0,139	11,46	11,3 ±0,3	0,024	1,98	2,04 ±0,08	0,074	6,10	6,15 ±0,08	0,056	4,6	4,9 ±0,4
		0,3100	0,070	5,6		0,163	13,1		0,023	1,85		0,137	11,05		0,026	2,10		0,077	6,21		0,064	5,2	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

14.Pielikums. Makro-, mirko- un retzemju elementu saturs (*Vaccinium myrtillus L.*) ogās

1.tabula

Makro un mikroelementu saturs (mg·kg⁻¹) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) ogās

Terit.	PL	m ^(iev.) , g	B			Al			P			K			Ca			V		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,3433	200,181	11,7	11,0 ±1,0	354,081	20,6	20,8 ±0,3	15542,796	905	1008 ±146	111466,713	6494	6941 ±633	4479,754	261	276 ±21	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3171	163,267	10,3		333,450	21,0		17619,296	1111		117146,500	7389		4605,435	290		- ^a	- ^a	
	2.	0,3721	219,304	11,8	11,6 ±0,2	584,169	31	33 ±3	25751,849	1384	1375 ±13	117527,596	6317	6558 ±340	4916,400	264	286 ±31	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3464	198,685	11,5		613,685	35		23653,011	1366		117748,088	6798		5331,568	308		- ^a	- ^a	
	3.	0,3374	170,582	10,1	10,4 ±0,4	420,667	25	28 ±5	20564,220	1219	1255 ±51	109509,393	6491	6707 ±305	4897,497	290	305 ±21	- ^a	- ^a	- ^a
		0,4253	228,451	10,7		667,631	31		27443,442	1291		147206,834	6922		6815,686	321		- ^a	- ^a	
	4.	0,2767	106,734	7,7	8,7 ±1,4	331,626	24	26 ±2	14680,080	1061	1302 ±340	100092,308	7235	7408 ±245	2695,392	195	224 ±41	- ^a	- ^a	- ^a
		0,4431	214,815	9,7		607,153	27		34174,485	1543		167970,591	7582		5590,876	252		- ^a	- ^a	
	5.	0,3272	168,753	10,3	9,5 ±1,2	317,004	19,4	19,0 ±0,6	15533,078	949	1013 ±89	130324,612	7966	8319 ±499	3570,919	218	209 ±13	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3116	134,834	8,7		289,588	18,6		16761,858	1076		135104,789	8672		3106,437	199		- ^a	- ^a	
	6.	0,328	165,926	10,1	10,9 ±1,1	348,597	21	23 ±3	18164,805	1108	1328 ±311	116251,378	7088	7358 ±381	3926,273	239	287 ±67	- ^a	- ^a	- ^a
		0,4314	252,731	11,7		553,210	26		33389,253	1548		164526,242	7628		7221,745	335		- ^a	- ^a	
608-19-21 (VP)	1.	0,3064	112,054	7,3	6,9 ±0,6	736,484	48,1	48,5 ±0,7	15034,819	981	1145 ±231	123430,049	8057	8545 ±691	3403,897	222	242 ±28	- ^a	- ^a	- ^a
		0,2349	75,310	6,4		575,550	49,0		15368,790	1309		106100,779	9034		3076,922	262		- ^a	- ^a	
	2.	0,3508	142,150	8,10	8,14 ±0,04	629,754	35,90	35,81 ±0,14	30191,336	1721	1684 ±53	168309,133	9596	9536 ±84	5206,667	297	301 ±6	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3497	142,814	8,17		624,397	35,71		28781,265	1646		165705,221	9477		5327,912	305		- ^a	- ^a	
	3.	0,3369	133,337	7,9	8,7 ±1,1	611,469	36,3	35,7 ±0,8	29820,375	1770	1840 ±99	154838,715	9192	9713 ±737	5146,553	306	307 ±2	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3128	148,634	9,5		550,341	35,2		29873,046	1910		160072,110	10235		4817,939	308		- ^a	- ^a	
	4.	0,4098	181,723	8,9	8,1 ±1,1	968,306	47	44 ±4	29398,344	1435	1341 ±133	170185,708	8306	7772 ±755	5463,465	267	263 ±5	- ^a	- ^a	- ^a
		0,3711	136,828	7,4		768,363	41		23137,320	1247		134313,505	7239		4821,621	260		- ^a	- ^a	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Cr			Mn			Fe			Co			Ni			Cu			Zn		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,3433	1,295	0,075	0,083 ±0,011	1249,328	73	88 ±22	352,012	20,5	19,7 ±1,1	0,154	0,0090	0,0082 ±0,0011	15,293	0,9	0,6 ±0,4	68,925	4,0	4,2 ±0,3	181,130	10,6	11,6 ±1,6
		0,3171	1,450	0,091		1644,089	104		300,721	19,0		0,118	0,0074		4,894	0,3		69,478	4,4		202,073	12,7	
	2.	0,3721	1,719	0,092	0,086 ±0,009	2191,077	118	106 ±16	424,321	22,8	22,3 ±0,7	0,237	0,013	0,015 ±0,003	9,653	0,52	0,41 ±0,15	102,621	5,52	5,50 ±0,03	250,547	13,47	13,49 ±0,03
		0,3464	1,373	0,079		1647,285	95		378,559	21,9		0,285	0,016		5,383	0,31		94,874	5,48		234,068	13,51	
	3.	0,3374	1,432	0,085	0,083 ±0,003	2100,675	125	142 ±25	335,842	19,9	20,2 ±0,4	0,145	0,0086	0,0085 ±0,0002	5,101	0,30	0,32 ±0,02	88,758	5,3	5,4 ±0,2	233,686	13,9	14,0 ±0,3
		0,4253	1,714	0,081		3406,315	160		435,104	20,5		0,178	0,0084		6,980	0,33		118,506	5,6		302,324	14,2	
	4.	0,2767	1,697	0,123	0,125 ±0,003	1471,009	106	111 ±6	292,007	21	27 ±8	0,156	0,0113	0,0110 ±0,0005	3,033	0,22	0,27 ±0,08	59,871	4,3	5,1 ±1,1	164,233	12	14 ±3
		0,4431	2,803	0,127		2545,034	115		711,640	32		0,236	0,0106		7,312	0,33		131,546	5,9		368,428	17	
	5.	0,3272	2,541	0,16	0,13 ±0,04	2994,287	183	192 ±13	308,722	19	21 ±3	0,178	0,011	0,008 ±0,004	3,696	0,23	0,20 ±0,04	76,599	4,7	4,8 ±0,2	219,302	13,4	12,9 ±0,7
		0,3116	1,490	0,10		3132,236	201		353,659	23		0,090	0,006		2,564	0,16		76,994	4,9		193,602	12,4	
	6.	0,328	1,189	0,0725	0,0739 ±0,0019	1432,931	87	97 ±14	304,853	19	22 ±5	0,133	0,0081	0,0090 ±0,0013	5,190	0,32	0,41 ±0,13	69,518	4,24	4,18 ±0,08	249,463	15	17 ±3
		0,4314	1,622	0,0752		2298,851	107		551,507	26		0,213	0,0099		10,784	0,50		88,919	4,12		412,454	19	
608-19-21 (VP)	1.	0,3064	2,084	0,14	0,11 ±0,04	460,612	30	35 ±7	428,636	28,0	27,1 ±1,3	0,245	0,0160	0,0173 ±0,0019	3,143	0,21	0,19 ±0,03	39,256	2,6	2,7 ±0,2	239,284	15,6	15,2 ±0,6
		0,2349	0,952	0,08		465,999	40		306,928	26,1		0,220	0,0187		1,987	0,17		34,012	2,9		172,722	14,7	
	2.	0,3508	1,674	0,095	0,094 ±0,003	478,225	27	28 ±2	397,637	22,7	22,4 ±0,4	0,129	0,0073	0,0080 ±0,0009	4,450	0,25	0,28 ±0,04	103,362	5,9	6,1 ±0,3	235,599	13,4	14,0 ±0,7
		0,3497	1,604	0,092		514,803	29		386,841	22,1		0,151	0,0087		5,319	0,30		110,178	6,3		253,345	14,5	
	3.	0,3369	1,306	0,078	0,076 ±0,002	607,474	36	39 ±4	402,445	23,9	22,9 ±1,5	0,131	0,0078	0,0074 ±0,0006	5,139	0,305	0,299 ±0,008	99,742	5,9	6,2 ±0,3	252,373	15,0	14,4 ±0,8
		0,3128	1,174	0,075		658,296	42		341,142	21,8		0,109	0,0070		4,593	0,294		99,856	6,4		217,463	13,9	
	4.	0,4098	1,384	0,068	0,075 ±0,010	787,722	38	33 ±7	409,131	20,0	20,7 ±1,0	0,281	0,0137	0,0151 ±0,0019	7,722	0,38	0,44 ±0,09	69,955	3,41	3,34 ±0,11	203,804	10	12 ±2
		0,3711	1,516	0,082		524,799	28		397,088	21,4		0,305	0,0165		9,454	0,51		60,592	3,27		245,673	13	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Ga			Rb			Sr			Cd			Ba			Pb			Bi		
			γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, mg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, mg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,3433	0,017	0,00096	0,00090 ±0,00009	508,283	30	33 ±4	14,232	0,83	0,77 ±0,09	- ^a	- ^a	- ^a	187,712	10,9	11,7 ±1,1	2,016	0,1	1,0 ±1,2 ^c	2,017	0,12	0,06 ±0,08 ^c
		0,3171	0,013	0,00083		563,647	36		11,207	0,71		- ^a	- ^a		198,971	12,5		28,622	1,8		0,137	0,01	
	2.	0,3721	0,020	0,0011	0,0006 ±0,0006 ^c	563,215	30,3	30,1 ±0,2	16,253	0,9	1,0 ±0,2	- ^a	- ^a	- ^a	205,608	11,1	12,1 ±1,5	2,179	0,1	0,5 ±0,5 ^c	1,928	0,10	0,06 ±0,07 ^c
		0,3464	0,003	0,0002		519,980	30,0		20,103	1,2		- ^a	- ^a		227,168	13,1		14,035	0,8		0,162	0,01	
	3.	0,3374	0,033	0,0020	0,0014 ±0,0008	524,136	31	29 ±3	14,168	0,84	0,92 ±0,11	- ^a	- ^a	- ^a	236,093	13,99	14,06 ±0,09	4,145	0,25	0,17 ±0,11	0,134	0,008	0,010 ±0,003
		0,4253	0,017	0,0008		564,026	27		21,064	0,99		- ^a	- ^a		300,263	14,12		1,930	0,09		0,273	0,013	
	4.	0,2767	0,013	0,0010	0,0006 ±0,0005 ^b	453,990	33	34 ±2	11,125	0,8	1,0 ±0,3	- ^a	- ^a	- ^a	144,205	10	12 ±2	10,135	0,7	1,4 ±0,9	0,098	0,007	0,010 ±0,005
		0,4431	0,007	0,0003		785,236	35		27,926	1,3		- ^a	- ^a		306,103	14		44,460	2,0		0,307	0,014	
	5.	0,3272	0,020	0,0012	0,0010 ±0,0003	572,137	35	37 ±3	10,219	0,62	0,66 ±0,05	- ^a	- ^a	- ^a	142,113	8,7	9,0 ±0,4	106,489	7	3 ±4 ^c	0,297	0,018	0,025 ±0,010
		0,3116	0,013	0,0008		615,209	39		10,725	0,69		- ^a	- ^a		145,102	9,3		2,841	0,2		0,493	0,032	
	6.	0,328	0,007	0,0004	0,0007 ±0,0004	508,551	31,0	32,0 ±1,4	12,227	0,7	1,0 ±0,4	- ^a	- ^a	- ^a	154,851	9	12 ±4	8,063	0,49	0,43 ±0,09	0,209	0,013	0,012 ±0,002
		0,4314	0,020	0,0009		713,019	33,1		29,061	1,3		- ^a	- ^a		325,685	15		7,840	0,36		0,228	0,011	
608-19-21 (VP)	1.	0,3064	0,050	0,0032	0,0039 ±0,0009	459,736	30,0	29,6 ±0,5	15,151	0,99	1,01 ±0,03	- ^a	- ^a	- ^a	144,857	9,455	9,450 ±0,007	4,695	0,31	0,24 ±0,09	0,201	0,013	0,015 ±0,003
		0,2349	0,053	0,0045		343,975	29,3		12,149	1,03		- ^a	- ^a		110,932	9,445		2,030	0,17		0,208	0,018	
	2.	0,3508	0,033	0,0019	0,0021 ±0,0003	501,322	29	26 ±3	40,747	2,3	2,9 ±0,8	- ^a	- ^a	- ^a	201,598	11,5	10,8 ±0,9	2,536	0,14	0,139 ±0,009	0,113	0,0065	0,0055 ±0,0013
		0,3497	0,040	0,0023		424,868	24		59,967	3,4		- ^a	- ^a		177,882	10,2		2,317	0,13		0,081	0,0046	
	3.	0,3369	0,040	0,00235	0,00244 ±0,00013	442,706	26	28 ±3	53,654	3,2	2,8 ±0,6	- ^a	- ^a	- ^a	179,973	10,7	10,8 ±0,2	2,134	0,13	0,1274 ±0,0010	0,070	0,004	0,005 ±0,002
		0,3128	0,040	0,00253		471,540	30		37,388	2,4		- ^a	- ^a		171,715	11,0		2,003	0,13		0,098	0,006	
	4.	0,4098	0,036	0,0018	0,0014 ±0,0005	678,564	33	30 ±5	58,743	2,9	3,2 ±0,4	- ^a	- ^a	- ^a	217,374	10,6	9,4 ±1,7	3,703	0,18	- ^c	0,110	0,0054	0,0061 ±0,0010
		0,3711	0,020	0,0011		495,295	27		63,870	3,4		- ^a	- ^a		151,794	8,2		- ^a	- ^a		0,126	0,0068	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

Retzemju elementu saturs ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) melleņu (*Vaccinium myrtillus L.*) ogās

Terit.	PL	m _(desv.) , g	Y			La			Ce			Pr			Nd			Sm		
			γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	γ , $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	W, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Vid. \pm Sn, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
405-421-3 (SP)	1.	0,3433	0,007	0,42	0,51 $\pm 0,13$	0,143	8,3	7,0 $\pm 1,9$	0,043	2,5	2,7 $\pm 0,3$	0,005	0,29	0,35 $\pm 0,10$	0,032	1,9	1,7 $\pm 0,2$	0,005	0,31	0,21 $\pm 0,14$
		0,3171	0,010	0,60		0,090	5,7		0,047	3,0		0,007	0,42		0,025	1,6		0,002	0,11	
	2.	0,3721	0,013	0,70	0,76 $\pm 0,09$	0,093	5,0	4,1 $\pm 1,4$	0,052	2,783	2,787 $\pm 0,006$	0,008	0,41	0,38 $\pm 0,04$	0,035	1,9	1,4 $\pm 0,6$	0,005	0,28	0,22 $\pm 0,09$
		0,3464	0,014	0,83		0,054	3,1		0,048	2,791		0,006	0,35		0,017	1,0		0,003	0,15	
	3.	0,3374	0,018	1,1	0,9 $\pm 0,3$	0,111	6,6	5,5 $\pm 1,5$	0,063	3,8	3,2 $\pm 0,8$	0,007	0,42	0,37 $\pm 0,07$	0,031	1,8	1,5 $\pm 0,5$	0,010	0,57	0,45 $\pm 0,17$
		0,4253	0,015	0,7		0,094	4,4		0,057	2,7		0,007	0,32		0,025	1,2		0,007	0,33	
	4.	0,2767	0,005	0,39	0,48 $\pm 0,13$	0,066	4,8	4,9 $\pm 0,2$	0,030	2,14	2,09 $\pm 0,07$	0,003	0,25	0,30 $\pm 0,08$	0,003	0,2	0,5 $\pm 0,4^c$	0,002	0,13	0,24 $\pm 0,16$
		0,4431	0,013	0,56		0,112	5,0		0,045	2,04		0,008	0,36		0,019	0,8		0,008	0,36	
	5.	0,3272	0,012	0,73	0,61 $\pm 0,16$	0,074	4,5	3,8 $\pm 1,1$	0,059	3,6	2,7 $\pm 1,2$	0,012	0,7	0,5 $\pm 0,4^c$	0,037	2,2	1,4 $\pm 1,2^c$	0,004	0,215	0,221 $\pm 0,008$
		0,3116	0,008	0,50		0,047	3,0		0,030	1,9		0,004	0,2		0,008	0,5		0,004	0,226	
	6.	0,328	0,009	0,5	0,8 $\pm 0,4$	0,067	4,1	4,5 $\pm 0,6$	0,036	2,2	2,4 $\pm 0,3$	0,003	0,2	0,3 $\pm 0,2$	0,011	0,6	0,9 $\pm 0,4$	0,002	0,11	0,14 $\pm 0,04$
		0,4314	0,023	1,1		0,107	4,9		0,056	2,6		0,010	0,4		0,027	1,3		0,004	0,16	
608-19-21 (VP)	1.	0,3064	0,113	7,4	7,7 $\pm 0,5$	0,184	11,99	12,00 $\pm 0,02$	0,250	16	19 ± 3	0,027	1,7	2,1 $\pm 0,6$	0,097	6,3	7,4 $\pm 1,5$	0,020	1,3	1,6 $\pm 0,4$
		0,2349	0,095	8,1		0,141	12,01		0,243	21		0,030	2,6		0,099	8,4		0,023	2,0	
	2.	0,3508	0,072	4,11	4,22 $\pm 0,15$	0,117	6,7	7,7 $\pm 1,5$	0,172	9,8	10,1 $\pm 0,4$	0,018	1,0	1,2 $\pm 0,2$	0,068	3,89	3,92 $\pm 0,04$	0,017	0,95	0,93 $\pm 0,03$
		0,3497	0,076	4,33		0,153	8,7		0,183	10,4		0,024	1,3		0,069	3,95		0,016	0,91	
	3.	0,3369	0,216	12,8	8,8 $\pm 5,7$	0,141	8	10 ± 3	0,185	11	17 ± 8	0,022	1,3	1,9 $\pm 0,9$	0,071	4	7 ± 4	0,014	0,8	1,1 $\pm 0,4$
		0,3128	0,074	4,8		0,187	12		0,358	23		0,040	2,5		0,148	9		0,021	1,4	
	4.	0,4098	0,057	2,8	3,0 $\pm 0,3$	0,079	3,8	4,5 $\pm 0,9$	0,108	5,3	4,7 $\pm 0,7$	0,014	0,67	0,60 $\pm 0,10$	0,038	1,8	1,7 $\pm 0,2$	0,009	0,430	0,429 $\pm 0,002$
		0,3711	0,060	3,2		0,096	5,2		0,078	4,2		0,010	0,54		0,028	1,5		0,008	0,428	

^aZem metodes noteikšanas robežas^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija^cMērījums netika ņemts vērā

Terit.	PL	m _(iesv.) , g	Eu			Gd			Tb			Dy			Ho			Er			Yb		
			γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹	γ, μg·L ⁻¹	W, μg·kg ⁻¹	Vid.±Sn, μg·kg ⁻¹
405-421-3 (SP)	1.	0,3433	0,0026	0,151	0,164 ±0,018	0,0038	0,22	0,20 ±0,03	0,0005	0,031	0,035 ±0,005	0,0016	0,09	0,12 ±0,03	0,0005	0,026	0,018 ±0,012	0,0002	0,013	0,04 ±0,04 ^c	0,0008	0,048	0,067 ±0,027
		0,3171	0,0028	0,177		0,0028	0,18		0,0006	0,038		0,0023	0,14		0,0002	0,040		0,0011	0,06		0,0004	0,023	
	2.	0,3721	0,0032	0,174	0,187 ±0,018	0,0035	0,19	0,16 ±0,03	0,0004	0,0204	0,0212 ±0,0011	0,0039	0,21	0,15 ±0,08	0,0011	0,06	0,04 ±0,03	0,0004	0,023	0,037 ±0,019	0,0022	0,12	0,07 ±0,07 ^c
		0,3464	0,0035	0,199		0,0024	0,14		0,0004	0,0219		0,0016	0,09		0,0004	0,02		0,0009	0,050		0,0003	0,02	
	3.	0,3374	0,0030	0,18	0,20 ±0,03	0,0042	0,247	0,238 ±0,013	0,0005	0,0270	0,0278 ±0,0011	0,0032	0,19	0,17 ±0,03	0,0002	0,013	0,023 ±0,013	0,0028	0,17	0,10 ±0,10 ^c	0,0014	0,081	0,079 ±0,003
		0,4253	0,0047	0,22		0,0049	0,229		0,0006	0,0286		0,0032	0,15		0,0007	0,032		0,0006	0,03		0,0016	0,077	
	4.	0,2767	0,0015	0,11	0,15 ±0,06	0,0040	0,08	0,17 ±0,14 ^c	0,0002	0,011	0,017 ±0,009	0,0026	0,187	0,181 ±0,008	0,0004	0,027	0,036 ±0,012	0,0002	0,016	0,022 ±0,010	0,0011	0,079	0,076 ±0,004
		0,4431	0,0043	0,19		0,0059	0,27		0,0005	0,024		0,0039	0,175		0,0010	0,044		0,0006	0,029		0,0016	0,074	
	5.	0,3272	0,0034	0,21	0,14 ±0,10 ^c	0,0017	0,11	0,14 ±0,05	0,0006	0,037	0,026 ±0,016 ^c	0,0029	0,18	0,13 ±0,07	0,0010	0,06	0,04 ±0,03 ^c	0,0004	0,0264	0,0271 ±0,0010	0,0022	0,13	0,09 ±0,07 ^c
		0,3116	0,0044	0,07		0,0028	0,18		0,0002	0,045		0,0013	0,08		0,0002	0,091		0,0004	0,0278		0,0008	0,05	
	6.	0,328	0,0024	0,145	0,157 ±0,018	0,0003	0,02	0,15 ±0,18 ^c	0,0005	0,028	0,019 ±0,012 ^c	0,0023	0,14	0,17 ±0,04	0,0004	0,023	0,031 ±0,011	0,0013	0,079	0,090 ±0,015	0,0049	0,30	0,21 ±0,13
		0,4314	0,0037	0,170		0,0059	0,27		0,0002	0,041		0,0042	0,19		0,0008	0,038		0,0022	0,100		0,0025	0,11	
608-19-21 (VP)	1.	0,3064	0,0043	0,28	0,32 ±0,05	0,0198	1,3	1,5 ±0,3	0,0025	0,16	0,23 ±0,10	0,0181	1,2	1,3 ±0,2	0,0031	0,20	0,30 ±0,14	0,0086	0,56	0,64 ±0,11	0,0101	0,659	0,666 ±0,010
		0,2349	0,0041	0,35		0,0209	1,8		0,0036	0,30		0,0171	1,5		0,0047	0,40		0,0084	0,72		0,0079	0,673	
	2.	0,3508	0,0039	0,22	0,28 ±0,09	0,0104	0,6	0,8 ±0,3	0,0020	0,117	0,121 ±0,006	0,0094	0,53	0,62 ±0,12	0,0022	0,124	0,123 ±0,003	0,0054	0,31	0,28 ±0,04	0,0038	0,22	0,28 ±0,09
		0,3497	0,0060	0,35		0,0167	1,0		0,0022	0,126		0,0123	0,70		0,0021	0,121		0,0043	0,25		0,0060	0,34	
	3.	0,3369	0,0052	0,307	0,319 ±0,017	0,0139	0,83	0,91 ±0,12	0,0014	0,086	0,082 ±0,006	0,0103	0,61	0,65 ±0,05	0,0029	0,174	0,169 ±0,008	0,0099	0,59	0,47 ±0,16	0,0057	0,34	0,30 ±0,06
		0,3128	0,0052	0,331		0,0156	1,00		0,0012	0,078		0,0107	0,68		0,0026	0,164		0,0056	0,36		0,0041	0,26	
	4.	0,4098	0,0015	0,07	0,05 ±0,03	0,0115	0,56	0,48 ±0,12	0,0011	0,056	0,061 ±0,007	0,0074	0,36	0,31 ±0,07	0,0030	0,15	0,11 ±0,05	0,0050	0,24	0,28 ±0,05	0,0038	0,19	0,25 ±0,09
		0,3711	0,0006	0,03		0,0073	0,39		0,0012	0,065		0,0048	0,26		0,0015	0,08		0,0058	0,31		0,0057	0,31	

^aZem metodes noteikšanas robežas

^bRēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas pēc, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

^cMērījums netika ņemts vērā

15.Pielikums. Meža augsnes reakcijas pH vērtības*1.tabula***Meža augsnes reakcijas pH 1 mol·L⁻¹ KCl šķīduma izvilcumā**

Teritorija	PL	pH _{KCl}	Vid±Sn
408-19-21	1.	3,03	3,2±0,2
	2.	3,45	
	3.	3,22	
	4.	3,29	
	5.	3,29	
	6.	2,88	
608-19-21	1.	3,00	2,89±0,14
	2.	2,70	
	3.	2,87	
	4.	2,99	

PATEICĪBAS

Latvijas Valsts mežzinātnes institūtam „Silava” rīkotajai Īstermiņa zinātniskajai misijai projekta "Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programma 2016.–2021. gadam" Nr 5-5.5_000z_101_16_31 ietvaros par finansējumu pētījuma veikšanai.

Pētniekam Mārim Bērtiņam (LU Ķīmijas fakultātes Analītiskas ķīmijas katedra) par sniegto palīdzību darbā ar ICP-MS aparatūru un sniegtajām konsultācijām analīžu parametru izvēlē.

Zinātniskai asistentei Zaigai Annai Zvaigzne (LVMI “Silava”) par sniegto palīdzību paraugu ievākšanā.

Maģistra darbs “**Koksnes pelnu ietekme uz ķīmisko elementu saturu meža augsnē un mellenēs (*Vaccinium myrtillus L.*)**” izstrādāts LU Ķīmijas fakultātē Analītiskas ķīmijas katedrā.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: _____ Vitālijs Lazarenko
(*personiskais paraksts*) (*paraksta atšifrējums*)

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Dr. chem., doc. Vita Rudoviča: _____
(*personiskais paraksts*) (*datums*)

Recenzente: Dr. chem., doc. Agnese Osīte: _____
(*personiskais paraksts*) (*datums*)

Darbs iesniegts Ķīmijas fakultātē: _____ (*datums*)

Dekāna pilnvarotā persona, metodiķe: _____ Vija Gutāne
(*personiskais paraksts*)

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē:

_____ protokols Nr. _____ (*ieraksta sekretārs*)
(*datums*) (*protokola Nr.*)

Komisijas sekretāre, lektore: _____ Z. Balcerbule
(*personiskais paraksts*) (*paraksta atšifrējums*)