

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĶĪMIJAS FAKULTĀTE

**ĶĪMISKĀ SASTĀVA IZVĒRTĒJUMS KOKSNES  
PELNOS**

BAKALAURA DARBS

Autors: **Megija Neimane**

Studenta apliecības Nr.: mn17013

Darba vadītājs: Pētnieks Mg.chem. Vitālijs Lazarenko

RĪGA

2021

## ANOTĀCIJA

**Ķīmiskā sastāva izvērtējums koksnes pelnos.** Neimane M., zinātniskā darba vadītājs Pētnieks Mg.chem. Vitālijs Lazarenko. Bakalaura darbs, 33 lpp., 7 attēli, 16 tabulas, 42 literatūras avoti, 7 pielikumi. Latviešu valodā.

Darbā tika analizēts makro- un mikro-, un retzemju elementu saturs smagajos un vieglajos koksnes pelnos. Paraugi tika ievākti no dažādām katlu mājām Latvijas teritorijā. Koksnes pelnu paraugiem tika veikts izvilks koncentrētā slāpekļskābē. Iegūtajos šķīdumos ķīmisko elementu kvantitatīvais saturs tika noteikts ar ICP-MS analīzes metodi. Tika noteikts arī koksnes pelnu pH un elektrovadītspēja. Iegūtie rezultāti tika apstrādāti, izvērtēti un salīdzināti ar literatūras datiem.

KOKSNES PELNI, MAKROELEMENTI, MIKROELEMENTI, RETZEMJU ELEMENTI, pH, ELEKTROVADĪTSPĒJA

## **ABSTRACT**

**Evaluation of chemical composition in wood ash.** Neimane M., research project supervisor  
Researcher M.Sc. Vitālijs Lazarenko. Bachelor's thesis report, 33 pages, 7 figures, 16 tables, 42  
literature references, 7 attachments. In Latvian.

During research was analyzed macro-, micro- and rare earth element content in the bottom  
and fly wood ash. Samples were collected from different parts of Latvia from boiler houses. Wood  
ash samples were extracted in concentrated nitric acid. The quantitative content of chemical  
elements in the extracted sample solutions was determined by the ICP-MS analysis method. The  
pH and electrical conductivity of wood ash was also determined. The obtained results were  
processed, evaluated and compared with literature data.

WOOD ASH, MACROELEMENTS, MICROELEMENTS, RARE EARTH ELEMENTS,  
pH, ELECTRICAL CONDUCTIVITY

## APZĪMĒJUMI UN SAĪSINĀJUMI

DTU – Dānijas Tehniskā Universitāte

ETAAS – Elektrotermālā atomabsorbciometrija

ICP-MS – Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija

LAAS – Liesmas atomabsorbciometrija

SEM – Skenējošais elektronu mikroskops

SP – Smagie pelni

VP – Vieglie pelni

XRF – Rentgenfluorescences spektroskopija

# SATURS

IEVADS .....	6
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	8
1.1.Koksnes pelni, to veidi, nozīme un izmantošana .....	8
1.2. Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs .....	11
1.3. Koksnes pelnu pH un elektrovadītspēja.....	14
1.4. Koksnes pelnu paraugu sagatavošana .....	16
1.5. Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (ICP-MS).....	17
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA.....	19
2.1. Izmantotie reaģenti.....	19
2.2. Izmantotā aparatūra un piederumi.....	19
2.3. Informācija par paraugu ievākšanas teritorijām.....	20
2.4. Koksnes pelnu paraugu sagatavošana analīžu veikšanai .....	21
2.5. Ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšana koksnes pelnos, izmantojot ICP-MS .....	21
2.6. Koksnes pelnu pH un elektrovadītspējas noteikšana .....	21
3. REZULTĀTI UN IZVĒRTĒJUMS .....	22
3.1. Ķīmisko elementu saturs vieglajos un smagajos koksnes pelnos .....	22
3.2. Koksnes pelnu pH un elektrovadītspēja.....	27
SECINĀJUMI.....	29
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	30
PIELIKUMI .....	34

## IEVADS

Koksnes pelni ir biomasa, ko iegūst kokmateriāla sadegšanas rezultātā. To fizikālās un ķīmiskās īpašības ir atkarīgas no koksnes veida, kas tiek dedzināts (šķelda, kokmateriāls u.c.) un iekšējiem apstākļiem (temperatūra, piesārņojumi, u.c.). Pēc ķīmiskā sastāva ir zināms, ka koksnes pelni ir bagāti ar makro- un mikro- elementiem, kā arī tie satur retzemju elementus [1].

Kokmateriāls tiek uzskatīts kā viens no galvenajiem atjaunojamiem resursiem enerģijas un siltuma ieguvei, kas uz šo dienu nodrošina aptuveni 6 % no pasaules kopējā primāras enerģijas piegādes veidiem [2]. Izmantojot kokmateriālu enerģijas ieguvei, gala rezultātā rodas ārkārtīgi liels koksnes pelnu daudzums, kas uzkrājas rūpnīcu zonās. Tādējādi koksnes pelnu utilizācija paliek par aktuālo problēmu mūsdienās.

Koksnes pelnus ir svarīgi izmantot, lai veidotu biociklu, jo tā ir daļa no dabas, kura tiek atņemta un to ir nepieciešams atgriezt atpakaļ. Biocikla veidošana nākotnē var ievērojami palielinātu atjaunojamās enerģijas daudzumu, kas palīdzēs samazināt CO<sub>2</sub> izmešu daudzumu un mazinās koksnes pelnu poligonu skaitu [3].

Vairākās Eiropas Savienības valstīs koksnes pelni tiek izmantoti ceļu būvniecībā, asfaltēšanas darbos. Taču visbiežāk koksnes pelnus izmanto lauksaimniecības un meža augsnes mēslošanai. Pelnu augstais makro- un mikro- elementu saturs palīdz nodrošināt augus ar nepieciešamajām barības vielām to sekmīgai attīstībai. Tomēr koksnes pelni satur arī smagos metāliskos elementus, kas var atstāt nelabvēlīgu ietekmi uz vidi. Pelni tiek izmantoti arī, lai samazinātu augsnes skābumu, tādējādi palielinot katjonu un anjonu apmaiņas spēju augsnē [4].

**Darba mērķis:** Noteikt makro-, mikro- un retzemju elementu saturu smagajos un vieglajos koksnes pelnos.

### **Darba uzdevumi:**

1. Veikt zinātniskās literatūras teorētisko analīzi par koksnes pelniem un apkopot informāciju par paraugu sagatavošanu un ķīmisko elementu noteikšanas metodi;
2. Ievākt koksnes pelnu paraugus no dažādām katlu mājām Latvijas teritorijā;
3. Veikt koksnes pelnu paraugu sagatavošanu un noteikt ķīmisko elementu saturu ar ICP - MS analīzes metodi;
4. Noteikt koksnes pelnu pH un elektrovadītspēju;
5. Veikt iegūto rezultātu apstrādi un salīdzināt iegūtos datus ar literatūras datiem.

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

1. **Neimane, M.;** Lazarenko, V.; Bērtiņš, M.; Vīksna, A.; Lazdiņa, D.; Makovskis, K.; Kārklīņa, I.; Lazdiņš, A. *Evaluation of the chemical composition of macro- and micro-elements in the bottom and fly wood ash.* The 79th International Scientific Conference of The University of Latvia, Chemistry Section, 2021. Rīga, Latvia (skatīt 1.pielikumu)
2. **Neimane, M.;** Lazarenko, V.; Bērtiņš, M.; Vīksna, A.; Lazdiņa, D.; Makovskis, K.; Kārklīņa, I.; Lazdiņš, A. *Variations of rare earth elements in the bottom and fly wood ash.* 64th International Conference for Students of Physics and Natural sciences “Open Readings 2021”, Abstract Book, p 423. March 16-19. Vilnius, Lithuania. (skatīt 2.pielikumu)

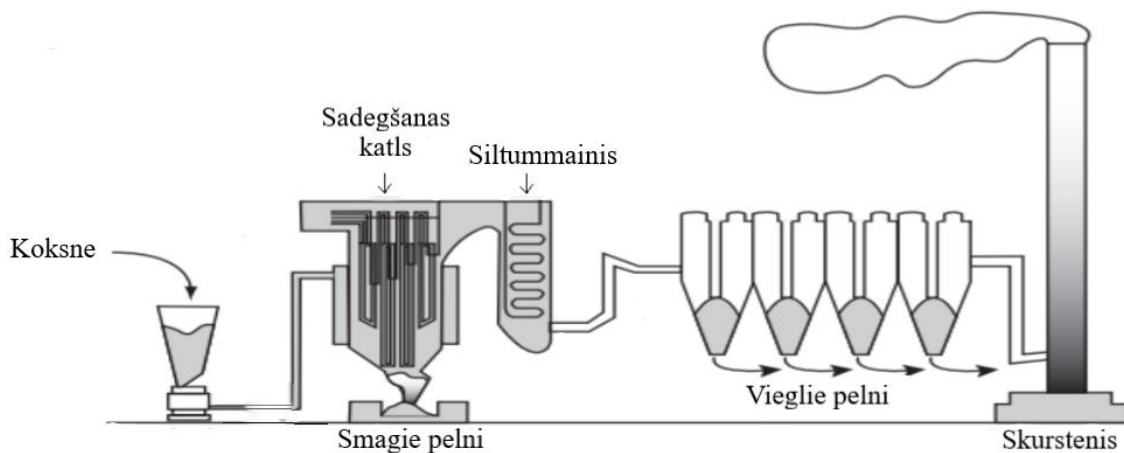
# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Koksnes pelni, to veidi, nozīme un izmantošana

Koksnes pelni ir biomasa, kas rodas koksnes un to izstrādājumu (šķeldas, mizas, skaidu u.c.) sadegšanas rezultātā. Sadedzinot koksni rodas ~6-10 % pelnu no kopējās koksnes masas.

Koksnes veids (kokmateriāls, šķelda, skaidas, utt.), kas tiek sadedzināts un iekšējie apstākļi (temperatūra, katla materiāls, piesārņojumi, utt.) ietekmē pelnu fizikālās un ķīmiskās īpašības. Ir zināms, ka koksnes pelni nesatur N, taču tie ir bagāti ar makro- un mikro- elementiem. ASV veiktais pētījums, kurā pētīja koksnes pelnu ķīmisko sastāvu, ir pierādījis, ka koksnes pelni satur arī retzemju elementus un nelielu daļu organisko savienojumu kā piemēram, nesadedzinātu oglekli [1].

Sadedzinot koksni un pārstrādājot to, iegūst trīs dažādu veidu koksnes pelnus: vieglos, smagos un jauktos pelnus [5]. Viens no veidiem, kā tiek iegūti koksnes pelni ir koksnes sadedzināšana enerģijas un siltuma ieguvei (skatīt 1.1.attēlu). Šāds veids plaši tiek pielietots dažāda veida rūpnīcās (enerģijas ieguvei) un katlu mājās (siltuma ieguvei) [6].

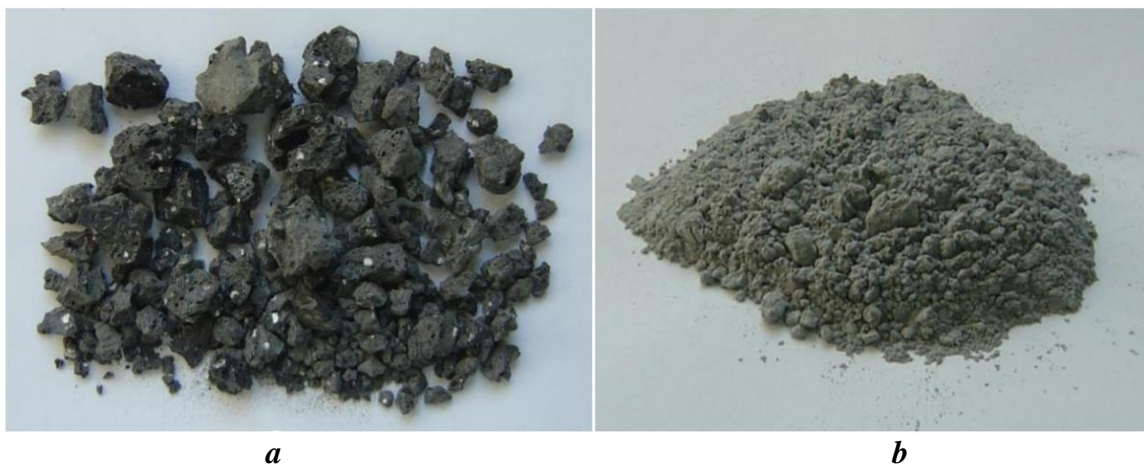


1.1.att. Koksnes pelnu iegūšanas process [6]

**Smagie koksnes pelni (skatīt 1.2.a.attēlu).** Rupja un granulēta pelnu frakcija, kas sakrājas sadedzināšanas katla apakšā uzreiz pēc koksnes sadedzināšanas. To daļiņu izmērs ir no 0,4 līdz 4,7 mm [7]. Tie satur piemaisījumus (akmeņus, smiltis u.c.), un lielāko daļu koksnes pelnu masas veido silīcijs (~57 %) un kalcijs (~19 %) [8].

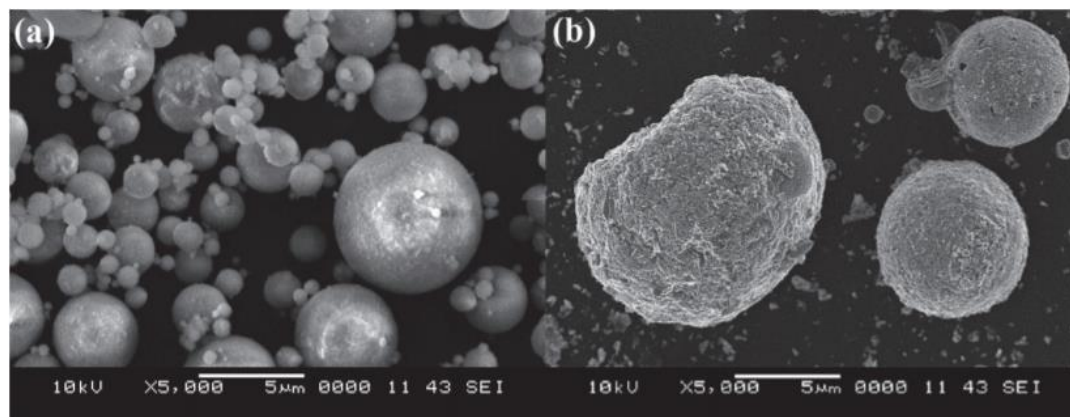
**Vieglie koksnes pelni (skatīt 1.2.b.attēlu).** Smalkāka pelnu frakcija, ko iegūst ar gāzes plūsmu atdalot rupjākās daļiņas no sadedzināšanas katla. To daļiņu izmērs ir no 0,3 līdz 250 μm [9]. Lielāko daļu koksnes pelnu masas veido kalcijs (~ 62 %) [8].

**Jauktie koksnes pelni.** Tas ir vieglo un smago koksnes pelnu maisījums. Šos pelnus iegūst dedzināšanas iekārtās, kurās netiek atsevišķi izdalīti smagie un vieglie pelni iegūšanas procesā [10].



1.2.att. Koksnes pelnu veidi: a – smagie koksnes pelni, b – vieglie koksnes pelni [8]

Malaizijā veiktā pētījumā tika analizēts blīvums un morfoloģija ģeopolimēra ķieģeļos, kuri veidoti no smagajiem un vieglajiem pelniem sajaukumā ar  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  un  $\text{NaOH}$  dažādās attiecībās. Šī pētījuma ietvaros arī tika aplūkoti vieglie un smagie koksnes pelni izmantojot skenējošo elektronu mikroskopu (SEM). Iegūtie pētījuma rezultāti parādīja, ka vieglie koksnes pelni sastāv no dažāda izmēra sfēriskām daļiņām ar regulāru, gludu tekstūru, šīs daļiņas ir dobas un ar plānu apkārslāni. Taču smagajiem koksnes pelniem ir daudz lielāks daļiņu izmērs, kas ir aptuveni smilšu lielumā un to struktūra ir poraina (skatīt 1.3. attēlu) [11].

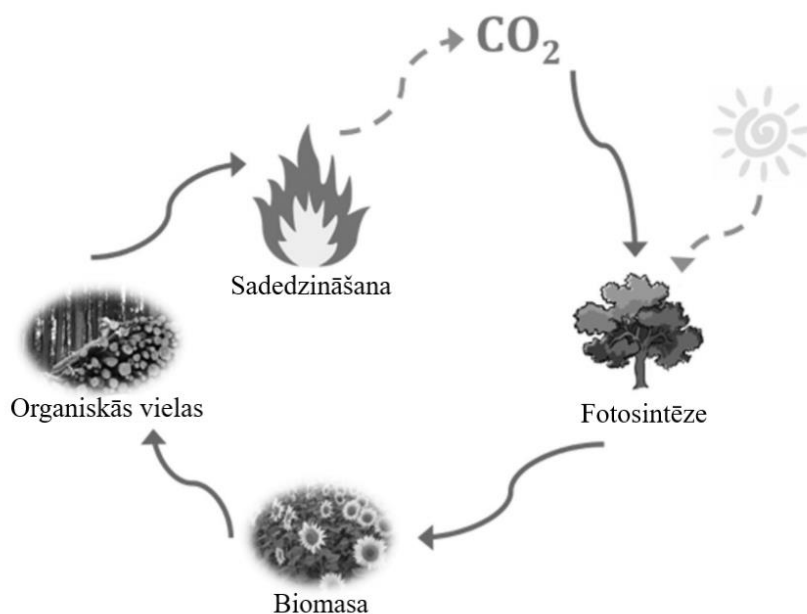


1.3.att. Vieglo (a) un smago (b) koksnes pelnu mikrostruktūra [11]

Koksnes pelnus izmanto dažādiem nolūkiem. Pēdējo 4-5 gadu laikā tiek veikti aizvien vairāk pētījumi, kur koksnes pelnus izmanto asfalta un ķieģeļu būvniecībā, veidojot videi draudzīgu celtniecības materiālu. Šāds materiāls ir izturīgāks un tam ir vairākas priekšrocības ražošanas procesā salīdzinājumā ar parasta cementa vai māla ķieģeļa izmantošanu, tas ir vieglāks un absorbē mazāk ūdens. Šāds paņēmieni ļauj samazināt koksnes pelnu uzglabāšanas poligonu skaitu, kā arī samazina CO<sub>2</sub> izmešu daudzumu, jo izgatavošanas procesā neizdalās siltumnīcas efektu gāzes, kas rodas cementa kalcinēšanas laikā, kur lielos daudzumos izmanto CaCO<sub>3</sub> [3]. Savukārt ķieģeļu ražošanā tiek samazināts augsnes patēriņš un vides piesārņojums [3,12].

Koksnes pelnus var izmantot arī mēslošanas nolūkos, lai bagātinātu lauksaimniecības un meža augsni ar tām nepieciešamām barības vielām, regulētu augsnes skābumu un aizsargātu augus no dažādām slimībām un kaitēkļiem. Mēslojot augsni ar koksnes pelniem, būtiski mainās vairākas fizikāli-ķīmiskās īpašības: palielinās augsnes pH, gruntsūdens elektrovadītspēja un dažādu ķīmisko elementu biopieejamība, piemēram, K, S, B, Na, Ca, Mg, Si, Fe, un P [4].

Ir svarīgi utilizēt koksnes pelnus un veidot biociklu (skatīt 1.4.attēlu), lai nākotnē ievērojami palielinātu atjaunojamās enerģijas daudzumu, kas tiek ražots izmantojot biomasu. Izmantojot koksnes pelnus mēs dabai atgriežam nelielu daļu no tā, ko esam paņēmuši. Veicinot biomasas izmantošanu enerģijas ražošanā tiks samazināta ugunsbīstamība tās uzglabāšanas vietās (poligonos), samazināsies mežu ugunsgrēka risks un CO<sub>2</sub> izmešu daudzumu, kā arī CO, HC un NO, un labāk tiks aizsargāta vide [13].



1.4.att. Koksnes biocikls [13]

## 1.2. Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs

Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs var būt ļoti atšķirīgs. Tas ir ne tikai atkarīgs no koksnes pelnu veida, bet arī no kokmateriāla veida, tā vecuma un augšanas apstākļiem. Koksnes pelni ir bagāti ar makro- un mikro- elementu saturu, kā arī tie satur retzemju elementus.

**Makroelementi.** Vieni no svarīgākajiem barības elementiem augiem, kas ir vitāli svarīgi augu attīstībai un augšanai. Pie makroelementiem ir pieskaitāmi 6 ķīmiskie elementi: N, P, K, Ca, S, un Mg [14]. Koksnes pelnos šo elementu saturs ir arī bagāts, taču tie nesatur N. Ir novērojama tendence, ka makroelementu saturs koksnes pelnos samazinās sekojošā rindā: Ca>K>Mg>P>S [15].

**Mikroelementi.** Pilnvērtīgākai attīstībai, augiem ir nepieciešami mikroelementi. Tādi mikroelementi kā: B, Cu, Mn, Fe, Zn, un Cu, pasargā tos no insektiem, slimībām, veicina augšanas apstākļus, pasargā no ultravioletās gaismas stariem, piedalās fotosintēzes procesā, hlorofila sintēzē u.c. Taču mikroelementi pārāk augstās koncentrācijās var izraisīt auga toksicitāti, kas var izpausties kā, piemēram, augšanas samazināšanās, plankumi uz lapām, to hloroze, sakņu saīsināšanās [16].

Dānijas tehniskajā universitātē (DTU) tika veikts pētījums, kurā tika noteikts makro- un mikro- elementu saturs ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) vieglajos, smagajos un jauktajos koksnes pelnos. 1.1. tabulā apkopoti rezultāti, kuri tika iegūti izmantojot XRF (rentgenfluorescences spektroskopijas) analīzes metodi [17]. Redzams, ka koksnes pelnu ķīmiskais saturs variē plašā diapazonā, ko varētu skaidrot ar to, ka koksnes pelni iegūti no dažādu sugu kokiem, vai arī no dažādām koksnes daļām (stumbra, mizas vai zariem). Koksnes pelni satur ne tikai augiem nepieciešamās barības vielas, bet arī smagos metāliskos elementus, kuri lielos daudzumos var izraisīt augu toksicitāti.

**Makro- un mikro- elementu saturs (mg·kg<sup>-1</sup>) koksnes pelnos [17]**

Elements	Smagie pelni	Vieglie pelni	Jauktie pelni
Makroelementi			
Ca	79400-162000	104000-263000	75600-214000
K	35800-73200	40000-60300	35800-80000
Mg	16500-20600	19300-32900	12800-39900
P	8310-17400	10200-22900	10000-26500
S	153-967	4210-15300	1540-5950
Mikroelementi			
Cu	65-111	106-161	71-195
Mn	3470-19400	4030-30300	3060-19000
Na	8260-11100	6650-12000	6590-11300
Al	14300-16800	5920-11800	9020-16500
Fe	4610-6570	2880-8300	5000-15000
Si	208000-273000	45600-124000	124000-271000
Zn	74-234	446-1120	18-737
As	2,17-3,19	2,68-6,98	2,24-7,67
Ba	802-1400	797-2320	684-1880
Cd	0,158-0,467	7,3-16,3	0,11-8,82
Co	4,23-7,31	5,79-9,69	3,76-7,72
Cr	24,9-69,5	26,5-62,7	22-217
Mo	1,06-1,84	1,46-4,29	1,14-4,36
Ni	27,4-38,6	22,4-52,5	31,2-44,7
Pb	4,7-79,8	10,7-73,8	0,7-36,4
Sb	0,496-3,480	0,72-5,83	0,69-3,11
Sn	0,31-0,98	1,21-6,37	1,07-3,14
Sr	466-783	578-1240	449-959
Tl	0,172-0,473	0,98-1,98	0,06-1,49
V	10,4-18,4	6,75-18,2	11,3-18,6

**Retzemju elementi.** Pie retzemju elementiem pieder 15 ķīmiskie elementi. Tie tiek iedalīti trīs grupās: retzemju elementi, vieglie un smagie retzemju elementi (skatīt 1.2.tabulu). Zemes garozā to saturs ir: ~60 ppm (Ce), ~30 ppm (La), ~27 ppm (Nd), ~ 6,7 ppm (Pr), un ~5,3 ppm (Sm), bet pārējo retzemju elementu saturs ir <4 ppm [18].

1.2.tabula

**Retzemju elementu iedalījums**

Retzemju elementi	Y un La ( <i>elementi, kuri nepieder lantanoīdu grupai</i> )
Vieglie retzemju elementi	Ce, Pr, Nd, Sm un Eu ( <i>lantanoīdi, kuru atommasa ir &lt;153</i> )
Smagie retzemju elementi	Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu ( <i>lantanoīdi, kuru atommasa &gt;153</i> )

Koksnes pelnos retzemju elementi sastopami oksīdu, fosfātu, karbonātu, silikātu un apatītu veidā, kā arī retzemju elementu saturošos dzelzs oksīdos (piemēram,  $\text{LaFeO}_3$ ) [19]. Mēslojot augus ar retzemju elementu saturošu mēslojumu var palielināt augu sakņu attīstību un veicināt ziedu veidošanos, tādējādi palielinot ražas apjomu. Taču joprojām nav zināms, kāda ir retzemju elementu bioloģiskā loma un kaitīgā ietekme uz augu. Tomēr mēslojot augus ar retzemju elementiem aktuāli ir Ķīnā, kur tiek izmantoti dažādi komerciāli mēslošanas līdzekļi, izsmidzinot tos uz lapām, apstrādājot sēklas vai pievienojot sakņu mēslojumiem [20].

Veicot zinātniskās literatūras izpēti var spriest, ka retzemju elementu saturs smagajos koksnes pelnos nav tik aktīvi pētīts. Piemēram, Polijā veiktajos pētījumos tika analizēts retzemju elementu saturs ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) vieglajos koksnes pelnos. Var novērot, ka retzemju elementi variē plašā diapazonā, tomēr izteikti vairāk par citiem elementiem ir Y, La, Ce, Nd, un Sc (skatīt 1.3.tabulu).

**Retzemju elementu saturs (mg·kg<sup>-1</sup>) vieglajos koksnēs pelnos**

Elements	Literatūras dati (2013) [21]	Literatūras dati (2016) [22]
Retzemju elementi		
Y	26,5	34,0
La	39,3	50,7
Vieglie retzemju elementi		
Ce	79,6	130,3
Pr	9,3	13,5
Nd	35,8	45,7
Sm	7,43	7,4
Eu	1,74	1,2
Sc	15,6	30,4
Tm	0,36	0,5
Lu	0,31	0,4
Smagie retzemju elementi		
Gd	6,64	5,4
Tb	0,98	1,5
Dy	5,54	8,2
Ho	1,06	0,4
Er	2,85	3,2
Yb	2,18	2,7

### 1.3. Koksnēs pelnu pH un elektrovadītspēja

**Koksnēs pelnu pH.** Koksnēs pelnu sastāvā esošie metāliskie elementi ir oksīdu, hidroksīdu un karbonātu savienojumu veidā, tāpēc tie ir ļoti bāziski (pH > 10). Pateicoties to bāziskumam, koksnēs pelni tiek plaši izmantoti lauksaimniecības un meža augsnēm, kā arī izcirtumos ar augstu skābumu un zemu auglību. Tie samazina augsnes skābumu, nodrošinot augiem labākus augšanas apstākļus un labāku katjonu un anjonu apmaiņas spēju. Pētījumos novērots, ka pēc pelnu izkaisīšanas, skābās augsnes pH paaugstinās par ~0,3-1,5 pH vērtībām. Sekmīgai augu attīstībai augsnes pH vērtībai jābūt ~6-7 [23].

Portugālē tika veikts pētījums, kurā tika analizēts kā mainās meža augsnes pH laika gaitā pēc koksnes pelnu izmantošanas (skatīt 1.4.tabulu), pH vērtības tika mērītas ūdens izvilkumos. Iegūtie dati tika salīdzināti ar augsni, kurā netika veikta koksnes pelnu izkliede (kontroles parauglaurumi). Tika secināts, ka mēslojot ar vieglajiem koksnes pelniem augsnes pH paaugstinājās vairāk nekā to mēslojot ar smagajiem pelniem [24].

1.4.tabula.

**Augsnes pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> izmaiņas izmantojot dažādus koksnes pelnu veidus [24]**

Koksnes pelnu veids	Vienu gadu pēc pelnu izklijes	Divus gadus pēc pelnu izklijes
Kontrole	4,57	4,88
Vieglie koksnes pelni	4,48	5,03
Smagie koksnes pelni	4,84	4,94

Citā pētījumā, kas veikts Latvijā, Skultes un Valgundes pagastā, mērot meža augsnes pH izmaiņas pirms un divus gadus pēc mēslošanas ar koksnes pelniem, kur pH noteikšanai tika izmantoti izvilkumi KCl un CaCl<sub>2</sub>, tika secināts, ka koksnes pelnu ietekme pēc diviem gadiem uz augsnes pH nav pietiekami liela. Tās izmaiņas ir pārāk mazas, lai nodrošinātu ievērojamu ietekmi [4].

**Koksnes pelnu elektrovadītspēja.** Elektrovadītspēja raksturo koksnes pelnu spēju vadīt elektrisko strāvu un parāda jonu spēju pārvietoties šķīdumā. Literatūrā apkopotajos datos tika noteikta elektrovadītspēja smagajiem un vieglajiem koksnes pelniem, kuri tika ievākti no ciklona un no maisa filtra (skatīt 1.5.tabulu). Iegūtie rezultāti parādīja, ka smagajiem koksnes pelniem elektrovadītspēja ir mazāka, nekā vieglajiem koksnes pelniem, kas ir saistīts ar koksnes pelnu daļiņu izmēru un to spēju disociēt jonos [25].

1.5.tabula.

**Koksnes pelnu elektrovadītspēja [25]**

	Smagie koksnes pelni	Vieglie koksnes pelni (ciklona)	Vieglie koksnes pelni (filtra maisa)
Elektrovadītspēja, mS·cm <sup>-1</sup>	8,9-11,4	10,8-25,8	35,6-49,5

## 1.4. Koksnes pelnu paraugu sagatavošana

**Kīmisko elementu sastāva kvantificēšana.** Izpētot zinātnisko literatūru, visbiežāk, lai noteiktu ķīmisko elementu sastāvu koksnes pelnu paraugos, to sagatavošana analīzei tiek veikta gatavojot izvilkumus.

Izvilkuma sagatavošanai, ņem koksnes pelnu paraugu ar iesvaru ~1,00-2,00 ( $\pm 0,01$ ) g. Pievieno 10 mL konc.  $\text{HNO}_3$ , un maisoties karsē pie  $95^\circ\text{C}$  temperatūras 10-15 minūtes, neļaujot tam vārīties. Maisījumu atdzesē, pievieno 5 mL konc.  $\text{HNO}_3$  un turpina maisīt 30 minūtes. Pēc tam pievieno 2 mL dejonizēta ūdens un 3 mL 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ , un karsē, pakāpeniski pievienojot vēl 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  līdz šķīdums beidz putot. Iegūtu šķīdumu atdzesē un pievieno 5 mL konc.  $\text{HCl}$  un 10 mL dejonizētu ūdeni. Pēc pievienošanas maisījumu karsē un maisa vēl 15 minūtes, neļaujot uzvārīties. Pēc vārīšanas paraugu atdzesē un atšķaida ar dejonizētu ūdeni un nofiltrē [26].

Taču citā zinātniskajā publikācijā, lai noteiktu ķīmisko elementu saturu koksnes pelnos veic izvilkumu izmantojot konc.  $\text{HNO}_3$  un 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  maisījumu (2:1). Šajā metodē paraugs netiek karsēts, bet tiek kratīts, atšķaidīts un filtrēts [27].

Koksnes pelnu paraugu sagatavošanu var arī veikt izmantojot mineralizāciju slēgtā mikroviļņu enerģijas sistēmā. Ņemot ~0,1 ( $\pm 0,0001$ ) g koksnes pelnu parauga, pievienojot konc.  $\text{HNO}_3$  un  $\text{HCl}$  maisījumu ar tilpuma attiecību (1:2). Paraugu mineralizāciju veic pēc sekojošas programmas –  $105^\circ\text{C}/20$  min –  $140^\circ\text{C}/10$  min –  $110^\circ\text{C}/15$  min. Pēc mineralizācijas koksnes pelnu paraugus atdzesēja, atšķaidīja ar dejonizēto ūdeni un nofiltrēja [28].

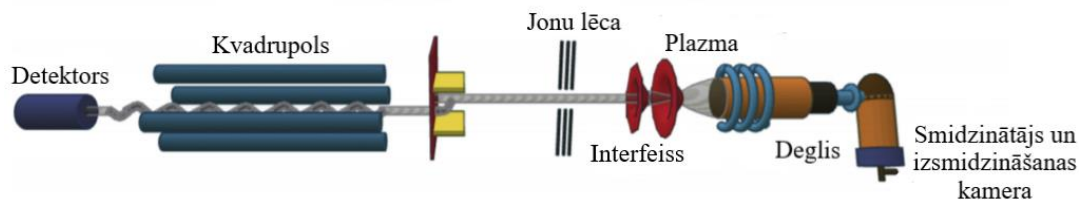
Izvērtējot zinātniskajos rakstos pieejamo informāciju par koksnes pelnu paraugu sagatavošanu ķīmisko analīžu veikšanai, bakalaura darba ietvaros tika izlemts veikts izvilkumu konc.  $\text{HNO}_3$ . Lai izvairītos no lielāka skābju patēriņa (mineralizācija slēgtajā mikroviļņu enerģijas sistēmā) un paraugu vārīšanas, pētījumu ietvarā tika izlemts veikt izvilkumu izmantojot mehānisko kratītāju.

**pH un elektrovadītspēja noteikšana.** Pēc aplūkotajiem literatūras datiem, var novērot, ka visbiežāk pH un elektrovadītspējas noteikšanai koksnes pelnos izvilkumu gatavo ūdenī.

Vienā no zinātniskajām publikācijām norādīts, ka koksnes pelnus sajauc ar ūdeni attiecībā 1:5, krata 30 minūtes un pēc tam liek tiem nostāvēties 1 stundu [29]. Savukārt, kādā citā rakstā minēts, ka pH un elektrovadītspējas noteikšanai, 5 g koksnes pelnu parauga tiek ekstrahēti ar 25 mL dejonizēta ūdens [30].

Izpētot zinātniskajās publikācijās pieejamo informāciju par pH un elektrovadītspējas noteikšanu, pētījuma ietvaros tika izlemts taisīt koksnes pelnu paraugu ekstrakciju ūdenī.





1.6.att. ICP-MS iekārtas uzbūve [34]

1.6.tabula

**ICP-MS iekārtas priekšrocības un trūkumi [35]**

Priekšrocības	Trūkumi
Plašs lineārais diapazons ( $10^8 - 10^9$ ) un zemas noteikšanas robežas ( $<ng \cdot L^{-1}$ )	Lielas darbības un aprīkojuma izmaksas
Iespēja noteikt izotopus	Augsta līmeņa personāla zināšanas
Iespējams noteikt daudz elementus vienlaicīgi	Laboratorijas izveidošanas izmaksas

1.7.tabulā ir parādīts ICP-MS raksturlielumu salīdzinājums ar LAAS un ETAAS analīzes metodēm [36].

1.7.tabula

**ICP-MS iekārtas raksturlielumu salīdzinājums ar LAAS un ETAAS analīzes metodēm [36]**

Rakstumlielums	ICP-MS	LAAS	ETAAS
Lineārais diapazons	$10^8 - 10^9$	$10^3 - 10^4$	$10^2 - 10^3$
Noteikšanas robeža	$<ng \cdot L^{-1}$	$\mu g \cdot L^{-1}$	$ng \cdot L^{-1}$
Elementu daudzums	~75	~68	~50
Parauga tilpums	$\mu L$	mL	$\mu L$
Daudzelementu noteikšana	Jā	Nē	Nē
Izotopu analīze	Jā	Nē	Nē
Analīzes ātrums	Ātrs	Vidējs	Lēns
Izmaksas	Augstas	Zemas	Augstas

## 2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

### 2.1. Izmantotie reaģenti

- 67-69 % HNO<sub>3</sub> “Fisher Chemical – TreceMetal Grade”, Kanāda;
- Standartšķīdums “ICP-MS-68A-A High Purity Standarts”, 10 mg·L<sup>-1</sup>, 2 % HNO<sub>3</sub>, **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**;
- Argons, 99,999 % “AGA”, Latvija;
- Hēlijs, 99,994 % “AGA”, Latvija;
- Filtrpapīrs “Whatman Grade 541”.

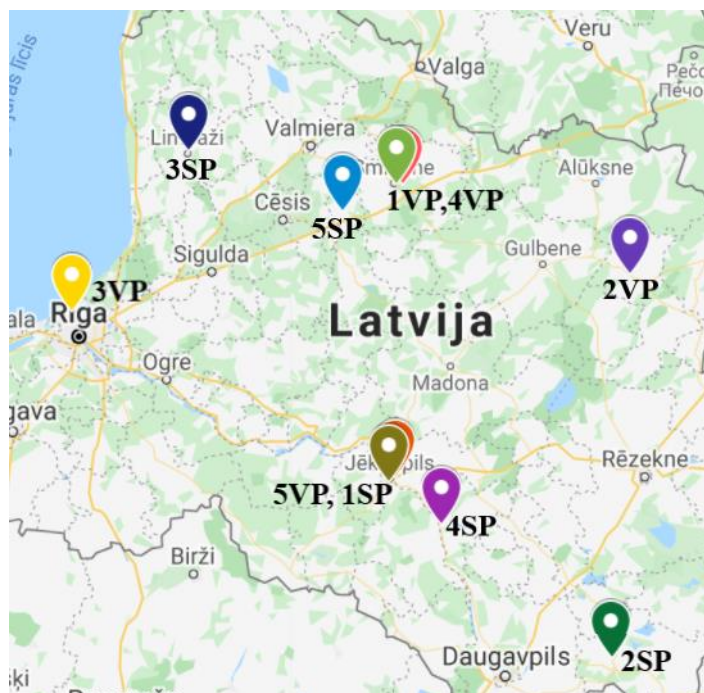
Izmantoto reaģentu drošības dati ir apkopoti 3. pielikumā.

### 2.2. Izmantotā aparatūra un piederumi

- Analītiskie svāri “Mettler Toledo ME204”, Šveice. Precizitāte ± 0,0001 g;
- Laboratorijas svāri “KERN 440-35N”, precizitāte ±0,01 g;
- Graduētie pilipropilēna stobriņi “Sarstedt”, Vācija 50 ± 1 mL;
- Graduētie pilipropilēna stobriņi “Sarstedt”, Vācija 15 ± 0,5 mL;
- Mikropipete “Thermo Fischer Scientific Finnpiette”, Vācija. 100-1000 μL. Precizitāte ± 1 μL;
- Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrs “Agilent 8900 Triple Quadrupole ICP - MS”, ASV;
- Ūdens attīrīšanas iekārta “Adrona B30”, Latvija, Ūdens elektrovadītspēja 0,055 μS·cm<sup>-1</sup>;
- pH metrs “Adrona AD 1405”, Latvija. Precizitāte ±1 mV;
- Orbitālais kratītājs OS-10, BIOSAN; 50-250 apgr./min;
- Multi-parametru mērītājs “CONSORT C535”.

### 2.3. Informācija par paraugu ievākšanas teritorijām

Koksnes pelni tika ievākti no dažādām katlu mājām Latvijā 2014.gadā (skatīt 2.1.attēlu). Pētījuma ietvaros tika izvēlēti 10 paraugi (skatīt 2.1.tabulu).



2.1.att. Katlu māju atrašanās vietas kartē

2.1.tabula

#### Informācija par izvēlētajiem paraugiem

N.p.k	Vieglie koksnes pelni	N.p.k	Smagie koksnes pelni
1VP	GORA EMO Launkalne (57°19'33.6"N 25°51'17.6"E)	1SP	SIA "Latgran" Jēkabpils (56°30'24''N 25°54'31''E)
2VP	AS "Balvu enerģija" (57°07'41.1"N 27°15'52.5"E)	2SP	SIA "Latgran" Krāslava (55°55'48''N 27°08'17''E)
3VP	SIA "Latvijas finieris" (57°01'27.1"N 24°03'52.0"E)	3SP	SIA "Limbažu siltums" (57°30'52.1"N 24°43'35.1"E)
4VP	SIA "Smiltenes Impex" (57°25'01.1"N 25°56'41.9"E)	4SP	SIA "Līvānu siltums" (56°21'11.9"N 26°10'22.1"E)
5VP	SIA "SELKO" (56°29'23.0"N 25°52'40.1"E)	5SP	Raunas novada dome (57°19'53.9"N 25°36'37.5"E)

## 2.4. Koksnes pelnu paraugu sagatavošana analīžu veikšanai

*Paraugu sagatavošana ICP-MS analīzei.* Ķīmiskai analīzei ņēma iesvaru  $\sim 0,5$  ( $\pm 0,0001$ ) g, pievienoja 5,00 mL koncentrētas  $\text{HNO}_3$  un kratīja uz mehāniskā kratītāja 5 stundas (190 rpm). Pēc tam paraugu atšķaidīja līdz 20 mL ar dejonizētu ūdeni ( $0,055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) un samaisīja. Iegūto šķīdumu nofiltrēja izmantojot filtrpapīru (Whatman 541). Šādā veidā tika pagatavoti 3 paralēlie paraugi.

*Paraugu sagatavošana pH un elektrovadītspējas noteikšanai.* Ķīmiskai analīzei ņēma ievāru  $\sim 5,00$  ( $\pm 0,01$ ) g, pievienoja 25 mL dejonizēta ūdens ( $0,055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), kratīja uz mehāniskā kratītāja 10 minūtes (190 rpm). Paraugus noturēja 2 stundas un nofiltrēja caur kroku filtru. Šādā veidā tika pagatavoti 2 paralēlie paraugi.

## 2.5. Ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšana koksnes pelnos, izmantojot ICP-MS

Pagatavotajos koksnes pelnu izvilkumos ar ICP-MS metodi noteica makro- (Mg, Ca, K), mikro- (Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Cd, Pb), retzemju elementus (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb). Lai noteiktu elementu saturu šķīdumos, mērījumus veica duālā kvadrupola režīmā (MS/MS), hēlija plūsmas ātrums  $5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  un radio frekvences jauda 1550 W.

*Kalibrēšanas taišņu iegūšana un ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšana paraugos.* Ķīmisko elementu masas koncentrācijas noteikšanai tika konstruēts kalibrēšanas grafiks izmantojot daudzelementu standartšķīdumu ar koncentrāciju  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Pagatavoja standartšķīdumu kalibrēšanas sēriju masas koncentrāciju intervālā  $0,5\text{-}1000 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Izmantojot iegūtos rezultātus tika konstruēti kalibrēšanas grafiki  $\text{CPS}=f(\gamma)$  (skatīt 4.pielikumu).

Aprēķinos tika ņemts vērā tukšais paraugs, kurš tika pagatavots ņemot 5,00 mL koncentrētas  $\text{HNO}_3$ , ko atšķaidīja līdz 20 mL ar dejonizētu ūdeni ( $0,055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Iegūtie rezultāti apkopoti 5. pielikumā.

## 2.6. Koksnes pelnu pH un elektrovadītspējas noteikšana

Koksnes pelniem mērīja elektrovadītspēju ar sensoru (Multi-parametru mērītājs "CONSORT C535") un pH (pH metrs "Adrona AD 1405"), pirms tam pH metru kalibrējot ar standartbuferšķīdumiem pH 7,00 un pH 10,00. Iegūtie rezultāti apkopoti 6 un 7. pielikumā.

### 3. REZULTĀTI UN IZVĒRTĒJUMS

#### 3.1. Ķīmisko elementu saturs vieglajos un smagajos koksnēs pelnos

Ķīmisko elementu (makro-, mikro- un retzemju elementu) saturs koksnēs pelnu izvilkumos tika noteikts ar ICP-MS analīzes metodi.

Izvērtējot iegūtos rezultātus var novērot, ka neatkarīgi no pelnu veida ķīmisko elementu saturs koksnēs pelnos variē plašā diapazonā, kas norāda uz to, ka koksnēs pelnu sastāvs ir bijis dažāds. Paraugu sagatavošanas laikā tika konstatēts, ka koksnēs pelni bija vizuāli atšķirīgi. Katram paraugam atšķiras to krāsa (gaiši brūna, tumši brūna, tumši pelēka, gaiši pelēka u.c.), daļiņu izmērs un konsistence, kas liecina par to, ka koksnēs pelnu iegūšanas laikā tika izmantoti dažāda veida kokmateriāli.

**Makroelementi.** Izvērtējot iegūtos rezultātus (skatīt 3.1.tabulu), var novērot, ka makroelementu saturs smagajos un vieglajos koksnēs pelnos variē plašā diapazonā, kas nav atkarīgs no koksnēs pelnu veida.

3.1.tabula

**Makroelementu saturs (mg·kg<sup>-1</sup>) vieglajos un smagajos koksnēs pelnos**

Ķīmiskais elements	Šī pētījuma dati (Latvija)		Literatūras dati (Dānija) [17]	
	VP <sup>a</sup>	SP <sup>b</sup>	VP <sup>a</sup>	SP <sup>b</sup>
Mg	6031-13879	6981-16744	16500-20600	19300-32900
Ca	8350-20840	6785-15148	104000-263000	79400-162000
K	3800-12268	3361-18929	40000-60300	35800-73200

<sup>a</sup>Vieglie pelni

<sup>b</sup>Smagie pelni

Aplūkojot iegūtos rezultātus ir novērojama tendence, ka vieglajiem pelniem makroelementu saturs samazinās sekojošā secībā: Ca>Mg>K, taču smagajiem pelniem: K>Mg>Ca. Savukārt, Dānijā veiktajā pētījumā novērojams, ka neatkarīgi no koksnēs pelnu veida makroelementu saturs samazinās secībā: Ca>K>Mg [17].

Tā kā makroelementu saturs variē plašā diapazonā ir svarīgi izvērtēt katra parauga ķīmisko elementu samazināšanās tendences. Makroelementu samazināšanās secība vieglo un smago koksnēs pelnu paraugos apkopota 3.2.tabulā.

**Makroelementi pēc to satura samazināšanās secībā dažādos koksnēs pelnu paraugos**

Paraugs	Samazināšanās secība	Paraugs	Samazināšanās secība
Vieglie koksnēs pelni		Smagie koksnēs pelni	
1VP	Ca>K>Mg	3SP	K>Ca>Mg
2VP	Ca>K>Mg	5SP	K>Ca>Mg
3VP	Ca>Mg>K	4SP	K>Mg>Ca
4VP	Mg>Ca>K	2SP	Ca>Mg>K
5VP	K>Ca>Mg	1SP	Ca>K>Mg
Kopējā tendence	<b>Ca&gt;K&gt;Mg</b>	Kopējā tendence	<b>K&gt;Ca&gt;Mg</b>
Dānija [17]	Ca>K>Mg	Dānija [17]	Ca>K>Mg

Redzams, ka vieglajos pelnos visvairāk ir Ca, taču K un Mg variē neatkarīgi no parauga veida. Smagajos koksnēs pelnos visvairāk ir K, bet Mg un Ca variē. Šīs atšķirības koksnēs pelnos varētu būt atkarīgas no koksnēs pelnu paraugu daļiņu izmēra [11].

**Mikroelementi.** 3.3.tabulā apkopoti rezultāti par mikroelementu saturu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) vieglajos un smagajos koksnēs pelnos.

**Mikroelementu saturs ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) vieglajos un smagajos koksnēs pelnos**

Ķīmiskais elements	Šī pētījuma dati (Latvija)		Literatūras dati (Dānija) [17]	
	VP	SP	VP	SP
Al	1184-3194	2766-5742	5920-11800	14300-16800
V	2,3±0,8 <sup>c</sup>	5±2 <sup>c</sup>	6,8-18,2	10,4-18,4
Cr	2-52	2,8-8,4	26,5-62,7	24,9-69,5
Mn	834-2646	586-1525	4030-30300	3470-19400
Fe	971-3299	1533-2855	2880-8300	4610-6570
Ni	1,64-3,17	1,98-3,60	22,4-52,5	27,4-38,6
Cu	8-25	13-31	106-161	65-111
Zn	6-390	8-60	446-1120	74-234
As	0,053-0,360	0,2-1,4	2,68-6,98	2,17-3,19
Cd	0,03-2,30	0,003-0,860	7,3-16,3	0,158-0,467
Pb	0,3-8,0	0,3-1,5	10,7-73,8	4,7-79,8

<sup>c</sup>Rezultāts norādīts ar standartnovirzi

Ir vērojamas būtiskākas mikroelementu satura atšķirības starp vieglajiem un smagajiem koksnes pelniem. Ir vērojama tendence, ka vieglajos koksnes pelnos Mn, Fe, Cd saturs ir ~2 reizes lielāks, taču Cr, Zn, Pb ~6 reizes. Savukārt, Al, V, Ni, un Cu ir ~2 reizes vairāk smagajos pelnos, taču As ~4 reizes vairāk. Līdzīgu tendenci var novērot arī Dānijas pētījuma datos, kur do mikroelementu saturs vieglajos koksnes pelnos ir par ~2-6 reizēm lielāks.

3.4.tabula

**Mikroelementi pēc to satura samazināšanās secībā koksnes pelnu paraugos**

Paraugs	Samazināšanās secība
Vieglie koksnes pelni	
3VP	Fe>Mn>Al>Zn>Cr>Cu>V>Ni>Pb>Cd>As
4VP	Al>Mn>Fe>Zn>Cr>Cu>V>Ni>Pb>Cd>As
1VP	Mn>Al>Fe>Zn>Cu>Ni>V>Cr>Cd>Pb>As
5VP	Mn>Fe>Al>Zn>Cu>Cr>Pb>Cd>V>Ni>As
2VP	Al>Fe>Mn>Cu>Zn>Ni>Cr>V>As>Cd>Pb
Kopējā tendence	<b>Al&gt;Mn&gt;Fe&gt;Zn&gt;Cu&gt;Cr&gt;V&gt;Ni&gt;Pb&gt;Cd&gt;As</b>
Smagie koksnes pelni	
1SP	Al>Fe>Mn>Zn>Cu>V>Cr>Ni>As>Pb>Cd
4SP	Al>Fe>Mn>Zn>Cu>V>Cr>Ni>As>Pb>Cd
2SP	Al>Fe>Mn>Zn>Cu>V>Cr>Ni>As>Pb>Cd
5SP	Al>Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>V>Ni>Pb>Cd>As
3SP	Al>Fe>Mn>Cu>Zn>Cr>V>Ni>Pb>As>Cd
Kopējā tendence	<b>Al&gt;Fe&gt;Mn&gt;Zn&gt;Cu&gt;V&gt;Cr&gt;Ni&gt;As&gt;Pb&gt;Cd</b>
Polija [37]	Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Pb>As

Izvērtējot katra parauga mikroelementu satura samazināšanās secību (skatīt 3.4.tabulu), var secināt, ka gan vieglajos, gan smagajos koksnes pelnos visvairāk ir Al, Fe un Mn. Smagajiem metāliskajiem elementiem (As, Pb, Cd) samazināšanās secība mainās neatkarīgi no parauga un koksnes pelnu veida. Polijā veiktā pētījumā, kur tika analizēti makro- un mikro- elementi no 35 dažādām biomasas sugām, tika apskatīts mikroelementu saturs samazināšanās secībā katrā paraugā [37]. Lai gan netika atsevišķi izdalīti smagie un vieglie koksnes pelni, tomēr var novērot līdzīgu tendenci, ka visvairāk koksnes pelnos ir Fe un Mn, bet mazāk ir Ni, Pb un As.

**Retzemju elementi.** Iegūtie rezultāti par retzemju elementu saturu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) koksnes pelnos apkopoti 3.5.tabulā.

3.5.tabula

**Retzemju elementu saturs ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) vieglajos un smagajos koksnes pelnos**

Ķīmiskais elements	Šī pētījuma dati (Latvija)		(Polija 2013) [21]	(Polija 2016) [22]
	SP	VP	VP	VP
Retzemju elementi				
Y	1,16-3,11	0,33-1,50	26,5	34,0
La	1,69-4,90	0,31-1,88	39,3	50,7
Vieglie retzemju elementi				
Ce	3,05-10,30	0,58-3,51	79,6	130,3
Pr	0,215-1,050	0,016-0,300	9,3	13,5
Nd	1,70-4,05	0,34-1,78	35,8	45,7
Sm	0,27-0,73	0,07-0,34	7,43	7,4
Eu	0,016-0,090	0,027-0,094	1,74	1,2
Smagie retzemju elementi				
Gd	0,24-0,67	0,059-0,308	6,64	5,4
Tb	0,001-0,074	0,023-0,037	0,98	1,5
Dy	0,22-0,55	0,051-0,270	5,54	8,2
Ho	0,042-0,106	0,010-0,053	1,06	0,4
Er	0,124-0,302	0,03-0,15	2,85	3,2
Yb	0,11-0,25	0,029-0,036	2,18	2,7

Izvērtējot iegūtos rezultātus redzams, ka smagajos koksnes pelnos retzemju elementu saturs ir lielāks nekā vieglajos pelnos. Eu saturs nav atkarīgs no koksnes pelnu veida. Koksnes pelnos ir ievērojami lielāks Y, La, Ce, un Nd daudzums salīdzinājumā ar citiem retzemju elementiem.

Smagajos pelnos Y, Dy, Nd, Sm, Gd, Ho, Er un Tb saturs ir ~2 reizes lielāks. La, Ce, Pr ir ~3 reizes lielāks, bet Yb ir pat par ~4 reizēm lielāks smagajos pelnos. Tas norāda uz to, ka retzemju elementi ir vairāk koncentrēti smago koksnes pelnu frakcijā, kas tālāk netiek nesta ar gaisa plūsmu, kas to atdala katlu mājas sistēmā.

Salīdzinot iegūtos rezultātus par vieglajiem koksnes pelniem ar Polijas pētījumos iegūto informāciju, ir novērojamas vairākas kopīgas tendences: Ce, La, Nd un Y saturs vieglajos koksnes

pelnos ir lielākā daudzumā kā citi retzemju elementi, vismazāk koksnes pelnos ir Yb, Eu, Tb un Ho. Savukārt Pr saturs analizētajos koksnes pelnos ir mazāks, kā literatūrā norādītais.

3.6.tabula

**Retzemju elementi pēc to satura samazināšanās secībā koksnes pelnu paraugos**

Paraugs	Samazināšanās secība
Smagie koksnes pelni	
2SP	Ce>La>Nd>Y>Pr>Sm>Gd>Dy>Er>Yb>Ho>Tb>Eu
1SP	Ce>La>Y>Nd>Pr>Sm>Gd>Dy>Er>Yb>Eu>Ho>Tb
3SP	Ce>La>Nd>Y>Pr>Sm>Gd>Dy>Er>Yb>Eu>Ho>Tb
4SP	Ce>La>Y>Nd>Sm>Pr>Gd>Dy>Er>Yb>Eu>Ho>Tb
5SP	Ce>La>Nd>Y>Sm>Gd>Dy>Pr>Er>Yb>Eu>Ho>Tb
Kopējā tendence	<b>Ce&gt;La&gt;Nd&gt;Y&gt;Pr&gt;Sm&gt;Gd&gt;Dy&gt;Er&gt;Yb&gt;Eu&gt;Ho&gt;Tb</b>
Vieglie koksnes pelni	
4VP	Ce>La>Nd>Y>Sm>Gd>Pr>Dy>Er>Yb>Eu>Ho>Tb
5VP	Ce>La>Nd>Y>Sm>Gd>Dy>Eu>Er>Yb>Ho>Tb>Pr
1VP	Ce>La>Nd>Y>Pr>Sm>Gd>Dy>Eu>Er>Tb>Yb>Ho
2VP	Ce>La>Y>Nd>Sm>Gd>Dy>Er>Tb>Yb>Eu>Pr>Ho
3VP	Ce>Nd>Y>La>Pr>Sm>Gd>Dy>Eu>Tb>Er>Yb>Ho
Kopējā tendence	<b>Ce&gt;La&gt;Nd&gt;Y&gt;Sm&gt;Gd&gt;Dy&gt;Pr&gt;Eu&gt;Er&gt;Tb&gt;Yb&gt;Ho</b>
Polija(2013) [21]	Ce>La>Nd>Y>Pr>Sm>Gd>Dy>Er>Yb>Eu>Ho>Tb
Polija (2016) [22]	Ce>La>Nd>Y>Pr>Dy>Sm>Gd>Er>Yb>Tb>Eu>Ho

Pētot retzemju elementus koksnes pelnu paraugos to samazināšanās secībā, iespējams novērot, ka Ce, La, Nd, un Y paraugos samazinās neatkarīgi no koksnes pelnu veida. Pr saturs smagajos koksnes pelnos ir lielāks kā vieglajos. Vieglie koksnes pelni vismazāk satur Ho, bet smagie koksnes pelni Tb. Salīdzinot iegūtos datus ar Polijā veikto pētījumu datiem, redzams, ka Pr un Eu analizētajos paraugos ir mazāk kā norādīts literatūras datus. Eu, Ho un Tb saturs vieglajos koksnes pelnos variē neatkarīgi no parauga veida.

**Koksnes pelnu pielietojums kā mēslošanas līdzeklis.** Viens no visplašāk izmantojamiem koksnes pelnu veidiem ir tā pielietošana mēslošanā, lai bagātinātu augsni un augus ar nepieciešamām barības vielām, kā arī mazināt augsnes skābumu. Koksnes pelni ir bagāti ar makroelementiem, kas ir vieni no svarīgākajiem barības elementiem augiem. Salīdzinot iegūtos pētījuma rezultātus var secināt, ka koksnes pelnos makroelementu saturs ir par ~11 reizēm lielāks

kā mikroelementu saturs. Savukārt starp mikroelementiem visvairāk ir Al, Fe un Mn, kuri ir par ~80 reizēm vairāk nekā pārējie mikroelementi.

Tā kā koksnes pelnus izmanto mēslošanā, tad ir svarīgi izvērtēt potenciāli toksisko elementu saturu (Pb, Cd, As). Toksisko elementu robežvērtības, kas var izraisīt augu toksicitāti ir sekojošas— Pb 20 mg·kg<sup>-1</sup>, Cd 10 mg·kg<sup>-1</sup>, As >2 mg·kg<sup>-1</sup> [38]. Aplūkojot šo elementu saturu koksnes pelnos var secināt, ka to vērtības ir zemas. Taču ir svarīgi ir ņemt vērā to, ka mēslojot augsni ar koksnes pelniem, tā daudzums tiek rēķināts tonnās uz hektāru (t·ha<sup>-1</sup>). Vairāki pētījumi ir pierādījuši, ka mēslojot meža augsni ar koksnes pelniem, iesaka mēslojot ne vairāk par 3 t·ha<sup>-1</sup>. Tas ir optimālais koksnes pelnu daudzums, kas var izraisīt mazāku iespējamību uz augu toksicitāti. Tiek minēts, ka paaugstināts toksisko elementu saturs augos ir novērojams, kad koksnes pelnu daudzums ir lielāks par 9 t·ha<sup>-1</sup>. Tomēr svarīgi ir piebilst, ka negatīvā koksnes pelnu ietekme var būt atkarīga no vairākiem faktoriem: augsnes veida, klimata (temperatūra, mitrums) un koksnes pelnu sastāva [39, 40].

Pētījumi ir pierādījuši, ka retzemju elementi veicina augu augšanu, tādēļ lietojot retzemju elementus mēslošanas līdzekļos, iespējams ievērojami palielināt labības ražu. Tomēr joprojām nav izpētīta šāda mēslojuma izmantošanas bioloģiskā loma un kaitīgā ietekme uz augu [20]. No iegūtiem pētījuma rezultātiem var secināt, tā kā retzemju elementi visvairāk koncentrējas smago koksnes pelnu frakcijā, tad mēslošanai visefektīvāk varētu izmantot smagos koksnes pelnus normas robežās, lai neizraisītu toksicitāti ar smagajiem metāliskajiem elementiem.

### **3.2. Koksnes pelnu pH un elektrovadītspēja**

Koksnes pelnu pH un elektrovadītspējas mērījumi tika veikti izmantojot koksnes pelnu izvilkumu ūdenī. Iegūtās pH vērtības apkopotas un salīdzinātas ar literatūras datiem 3.7.tabulā. Somijā tika veikti pētījumi, kur vienā no tiem pH tika mērīts koksnes pelniem, kuri iegūti no industriālās rūpniecības, bet otrā koksnes pelniem no pašvaldību siltumapgādes iekārtām [41,42]. Abos pētījumos pH mērīja koksnes pelnu izvilkumiem ūdenī. Novērojams, ka iegūtie pH mērījumi ir ļoti tuvi literatūrā norādītajiem pH mērījumiem un vieglie pelni ir bāziskāki kā smagie pelni.

**Vieglo un smago koksnes pelnu pH vērtību salīdzinājums ar literatūras datiem**

Koksnes pelnu veids	Šī pētījuma dati (Latvija)	Literatūras dati (Somija)	
	pH <sub>(vid)</sub>	pH (ražotnes) [41]	pH (siltumapgādes)[42]
Vieglie pelni	12,7±0,3	12,8	12,5
Smagie pelni	12,0±0,2	11,9	12,1

Elektrovadītspējas mērījumiem ir novērojama tendences atšķirība starp vieglajiem un smagajiem koksnes pelniem, tomēr gan vieglo, gan smago pelnu elektrovadītspēja variē plašā diapazonā. Apkopojot rezultātus 3.8.tabulā, redzams, ka lielāka elektrovadītspēja ir vieglajiem koksnes pelniem. Salīdzinot šajā pētījumā iegūtos elektrovadītspējas mērījumus ar literatūras datiem [25], redzams, ka vieglajiem pelniem tās ir tuvas literatūrā pieejamajiem rezultātiem, bet smagajiem pelniem vērtības ir mazākas. To varētu skaidrot ar to, ka smagajiem pelniem ir lielāka izmēra daļiņas un veidojot izvilcumus ūdens šķīdumos, tie nespēj tik labi disociēt jonos [11].

**Īpatnējās elektrovadītspējas mērījumu rezultāti vieglajos un smagajos koksnes pelnos.**

Koksnes pelnu veids	Īpatnējā elektrovadītspēja, mS·cm <sup>-1</sup>	
	Šī pētījuma dati	Literatūras dati [25]
Vieglie pelni	9,0-27,2	10,8-25,8
Smagie pelni	2,7-14,7	8,9-11,4

## SECINĀJUMI

1. Makroelementu saturs (Ca, K, Mg) koksnes pelnos variē plašā diapazonā, kas nav atkarīgs no koksnes pelnu veida (smagie vai vieglie pelni).
2. Ir novērojama tendence, ka vieglajos koksnes pelnos Mn, Fe, Zn, As, Cd, Cr, Pb saturs ir lielāks (~2-6 reizes) nekā smagajos koksnes pelnos, taču smagajos pelnos Al, V, Ni, Cu saturs ir lielāks (~2 reizes), kas saskan ar literatūras datiem.
3. Neatkarīgi no koksnes pelnu veida mikroelementu saturs samazinās sekojošā secībā: Al>Fe>Mn>Zn>Cu>V>Cr>Ni>Pb>Cd>As, kas saskan ar literatūras datiem.
4. Retzemju elementu saturs smagajos koksnes pelnos ir ~2-3 reizes lielāks, nekā vieglajos pelnos, kas norāda, ka tie visvairāk ir koncentrēti smago pelnu frakcijā.
5. Koksnes pelnu elektrovadītspēja variē plašā diapazonā, tomēr tā ir lielāka vieglajiem pelniem, kas parāda, ka smagajos pelnos ir lielāka izmēra daļiņas, kas kavē jonu disociāciju.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Siddique, R. Wood Ash. In: *Waste Materials and By-Products in Concrete*; Springer, Berlin, Heidelberg. 2008, 9, 303-321.
2. Sreevani, P. “Wood as a renewable source of energy and future fuel,” in *AIP Conference Proceedings*, **2018**, vol. 1992, DOI: 10.1063/1.5047972.
3. Supancic K., Obernberger I., Wood ash utilisation as a stabiliser in road construction – first results of large-scale tests, Austria, *Bios Bioenergiesysteme*, **2011**, 859-870.
4. Lazarenko V., Rudovica V., Viksna A., Zvaigzne Z., Okmanis M., 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.). *Key Engineering Materials*, **2020**, 850, 179-183. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.850.179.
5. Wood Ash Database, Ash types - bottom ash  
[http://woodash.slu.se/eng/page.cfm?id=ashtypes\\_bot#nlink1](http://woodash.slu.se/eng/page.cfm?id=ashtypes_bot#nlink1) (skatīts 10.04.2021).
6. Goswami, G.; Purohit, B.; Arona, J. Fly ash waste management – a congenial approach; *Int. J. Sci. Technol. Managment*, **2016**, 5, 42–52.
7. “Coal Bottom Ash/Boiler Slag - Material Description - User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction - FHWA-RD-97-148.”  
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/cbabs1.cfm>. (skatīts 10.04.2021).
8. Tsakalou C., Tsakiridis P. E., Characterization and leachability evaluation of fly and bottom ashes generated during incineration of medical wastes. *5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*. **2017**, 1-14
9. Li H., Liu G., Cao Y., Content and Distribution of Trace Elements and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fly Ash from a Coal-Fired CHP Plant, *Aerosol Air Qual. Res.*, **2014**, 14, 1179–1188. DOI: 10.4209/aaqr.2013.06.0216.
10. Wood Ash Database, Ash types – mix ash.  
[http://woodash.slu.se/eng/page.cfm?id=ashtypes\\_mix](http://woodash.slu.se/eng/page.cfm?id=ashtypes_mix) (skatīts 13.04.2021).
11. Mardiah Deraman, L.; Mustafa Al Bakri Abdullah, M.; Yun Ming, L.; Hussin, K. Density and morphology studies on bottom ash and fly ash geopolymer brick mechanical properties of geopolymer lightweight brick with styrofoam pellet aip conference density and morphology studies on bottom ash and fly ash geopolymer brick. *Proceedings* **2017**, 1835, 20060. DOI: 10.1063/1.4981869.

12. Sahu, M. K.; Singh, L.; Bhilai, D. R. C. E. T. Critical review on types of bricks type 13: wood ash bricks; **2017**.
13. Agrela, F.; Cabrera, M.; Morales, M. M.; Zamorano, M.; Alshaaer, M. Biomass fly ash and biomass bottom ash. In *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*; Elsevier, **2018**, 23–58. DOI: 10.1016/B978-0-08-102480-5.00002-6.
14. Dutta, S. K.; Lodhari, D. R. Zinc. *Top. Mining, Metall. Mater. Eng.* **2018**, 125–135. DOI: 10.1007/978-981-10-5172-2\_9.
15. Symanowicz, B.; Becher, M.; Jaremko, D.; Skwarek, K. Possibilities for the use of wood ashes in agriculture. *J. Ecol. Eng.* **2018**, *19*, 191–196. DOI: 10.12911/22998993/86156.
16. Tripathi, D. K.; Singh, S.; Singh, S.; Mishra, S.; Chauhan, D. K.; Dubey, N. K. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiol. Plant.* **2015**, *37*, 139. DOI: 10.1007/s11738-015-1870-3.
17. Maresca, A.; Hyks, J.; Astrup, T. F. Recirculation of biomass ashes onto forest soils: ash composition, mineralogy and leaching properties. *Waste Manag.* **2017**, *70*, 127–138. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.09.008.
18. Kumari, A.; Panda, R.; Jha, M. K.; Kumar, J. R.; Lee, J. Y. Process development to recover rare earth metals from monazite mineral: a review. *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd June 10, **2015**, 102–115. DOI: 10.1016/j.mineng.2015.05.003..
19. Liu, P.; Huang, R.; Tang, Y. Comprehensive understandings of rare earth element (ree) speciation in coal fly ashes and implication for ree extractability. **2019**. DOI: 10.1021/acs.est.9b00005.
20. Thomas, P. J.; Carpenter, D.; Boutin, C.; Allison, J. E. Rare earth elements (rees): effects on germination and growth of selected crop and native plant species. *Chemosphere* **2014**, *96*, 57–66. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.07.020.
21. Calus-Moszko, J.; Bialecka, B. Analysis of the possibilities of rare earth elements obtaining from coal and fly ash. *Gospod. Surowcami Miner. / Miner. Resour. Manag.* **2013**, *29*, 68–80. DOI: 10.2478/gospo-2013-0007.
22. Całus Moszko, J.; Białeczka, B.; Cempa-Balewicz, M.; Świnder, H. Evaluating the possibilities of obtaining initial concentrates of rare earth elements (rees) from fly ashes. *Metalurgija* **2016**, *55*, 803–806.

23. Núñez-Delgado, A.; Quiroga-Lago, F.; Soto-González, B. Runoff characteristics in forest plots before and after wood ash fertilization. *Maderas Cienc. y Tecnol.* **2011**, *13*, 267–284. DOI: 10.4067/S0718-221X2011000300003.
24. Gómez-Rey, M.; Madeira, M.; Coutinho, J. Wood ash effects on nutrient dynamics and soil properties under mediterranean climate. *Ann. For. Sci.* **2012**, *69*, 569–579. DOI: 10.1007/s13595-011-0175-y.
25. Loo S., Koppejan J., Physical and chemical properties of biomass ashes. In: *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. Routledge, 2010; pp 350-357.
26. Zhan, G.; Erich, M. S.; Ohno, T. Release of trace elements from wood ash by nitric acid. *Water. Air. Soil Pollut.* **1996**, *88*, 297–311. DOI: 10.1007/BF00294107.
27. Füzési, I.; Heil, B.; Kovacs, G. Effects of wood ash on the chemical properties of soil and crop vitality in small plot experiments/ fahamu hatása a talaj kémiai jellemzőire és a termény vitalitására egy kisparcellás kísérletben. *Acta Silv. Lignaria Hungarica* **2015**, *11*. DOI: 10.1515/aslh-2015-0004.
28. Górecka, H.; Chojnacka, K.; Górecki, H. The application of icp-ms and icp-oes in determination of micronutrients in wood ashes used as soil conditioners. *Talanta* **2006**, *70*, 950–956. DOI: 10.1016/j.talanta.2006.05.061.
29. Neina, D.; Faust, S.; Joergensen, R. G. Characterization of charcoal and firewood ash for use in african peri-urban agriculture. *Chem. Biol. Technol. Agric.* **2020**, *7*, 5. DOI: 10.1186/s40538-019-0171-2.
30. Qin, J.; Hovmand, M. F.; Ekelund, F.; Rønn, R.; Christensen, S.; Groot, G. A. de; Mortensen, L. H.; Skov, S.; Krogh, P. H. Wood ash application increases ph but does not harm the soil mesofauna. *Environ. Pollut.* **2017**, *224*, 581–589. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.02.041.
31. Cubadda, F. Chapter 19 - inductively coupled plasma mass spectrometry; Picó, Y. B. T.-F. T. A., Ed.; Elsevier: Amsterdam, **2007**, 697–751. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-044452843-8/50020-1>.
32. Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) | Thermo Fisher Scientific - LV. <https://www.thermofisher.com/lv/en/home/industrial/mass-spectrometry/inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry-icp-ms.html>. (skafīts 23.04.2021).
33. Bazilio, A.; Weinrich, J. The Easy Guide to: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS), **2012**.

34. Nageswaran, G.; Choudhary, Y. S.; Jagannathan, S. Chapter 8 - inductively coupled plasma mass spectrometry. In *Micro and Nano Technologies*; Thomas, S., Thomas, R., Zachariah, A. K., Mishra, R. K. B. T.-S. M. for N. C., Eds.; Elsevier, **2017**, 163–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46140-5.00008-X>.
35. Wilschefski, S. C.; Baxter, M. R.; Wilschefski, S.; Au, S. C. Inductively coupled plasma mass spectrometry: introduction to analytical aspects. *Clin Biochem Rev* **40**, **2019**, 115–133. DOI: 10.33176/AACB-19-00024.
36. “GENERAL ATOMIC SPECTROSCOPY.”  
[https://projects.nfstc.org/trace/docs/final/Houk\\_1.pdf](https://projects.nfstc.org/trace/docs/final/Houk_1.pdf) (skatīts 23.04.2021).
37. Zając, G.; Szyszlak-Bargłowicz, J.; Gołębiowski, W.; Szczepanik, M. Chemical characteristics of biomass ashes. *Energies* **2018**, *11*, 1–15. DOI: 10.3390/en11112885.
38. Stanojković-Sebić, A.; Maksimović, J.; Dinić, Z.; Poštić, D.; Iličić, R.; Stanojković, A.; Pivić, R. Microelements and heavy metals content in frequently utilized medicinal plants collected from the power plant area. In *Natural Product Communications*; Natural Product Incorporation, 2017; Vol. 12, pp 185–188. DOI: 10.1177/1934578x1701200211.
39. Saarsalmi, A.; Mälkönen, E.; Kukkola, M. Effect of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in finland. *Scand. J. For. Res.* **2004**, *19*, 217–233. DOI: 10.1080/02827580410024124.
40. Jansone, B.; Samariks, V.; Okmanis, M.; Kļaviņa, D.; Lazdiņa, D. Effect of high concentrations of wood ash on soil properties and development of young norway spruce (*picea abies* (l.) karst) and scots pine (*pinus sylvestris* l.). *Sustain.* **2020**, *12*, 1–13. DOI: 10.3390/su12229479.
41. Nurmesniemi, H.; Manskinen, K.; Pöykiö, R.; Dahl, O. Forest fertilizer properties of the bottom ash and fly ash from a large-sized (115 mw) industrial power plant incinerating wood-based biomass residues. *J. Univ. Chem. Technol. Metall.* **2012**, *47*, 43–52.
42. Dahl, O.; Nurmesniemi, H.; Pöykiö, R.; Watkins, G. Comparison of the characteristics of bottom ash and fly ash from a medium-size (32 mw) municipal district heating plant incinerating forest residues and peat in a fluidized-bed boiler. *Fuel Process. Technol.* **2009**, *90*, 871–878. DOI: 10.1016/j.fuproc.2009.04.013.

## PIELIKUMI

**1.pielikums.** LU 79.starptautiskās zinātniskās konferences, ķīmijas sekcijas tēzes

### **EVALUATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF MACRO- AND MICRO-ELEMENTS IN THE BOTTOM AND FLY WOOD ASH**

**Megija Neimane<sup>1</sup>, Vitālijs Lazarenko<sup>2</sup>, Māris Bērtiņš<sup>1</sup>, Arturs Viksna<sup>1</sup>, Dagnija Lazdiņa<sup>2</sup>, Kristaps Makovskis<sup>2</sup>, Ilze Kārklīņa<sup>2</sup>, Andis Lazdiņš<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgavas iela 1, Rīga, Latvia*

<sup>2</sup>*Latvian State Forest Research Institute "Silava", Rīgas iela 111, Salaspils, Latvia*

*e-mail: [megijaneimane@gmail.com](mailto:megijaneimane@gmail.com)*

Wood ash is biomass that is produced in the combustion process of wood and its products (wood chips, bark, shavings, etc.). During the combustion process 6-10% of ash from the total wood mass are formed. The physical properties and chemical composition of wood ash depend on the production process itself. Wood ash may contain macro-, micro- and rare earth elements.

Wood ash is divided into three main types: fly ash, bottom ash and mixed ash. Bottom ash is the coarse granulated fraction with particle size 0.4-4.7 mm which contains impurities (stones sans, etc.). Fly ash is the fine wood ash fraction with particle size 0.3-250 µm. Mixed wood ash contains both bottom and fly ash.

In several countries of European Union, wood ash is used for construction of roads, where wood ash is used in the place of cement in asphaltting. Wood ash can be used as a fertilizer for agricultural and forest lands as it contains a high amount of macro- and micro- elements. However, several studies concluded, that wood ash also contains heavy metallic elements.

It is necessary to utilize wood ash and create a biocycle to significantly increase the amount of renewable energy produced using biomass in the future. Using wood ash, we return to nature small part of what we have taken. The use of biomass for energy will not only reduce CO<sub>2</sub> emissions but also better protect the environment.

The aim of this research was to evaluate macro- and micro- element content in the bottom and fly wood ash. Both types of wood ash samples were collected in 2014 from the different parts of Latvia from boiler houses. The samples were extracted in 5,00 mL of concentrated HNO<sub>3</sub> shaken for 5 hours (190 rpm), then diluted to 20 mL with deionized water (0.055 µS·cm<sup>-1</sup>). The resulting solution was filtered (Whatman 541) and the content of macro- and micro- elements was determined by the ICP-MS (Agilent 8900 Triplesuperduperquad QQQ) analysis method.

Results show that the concentration of macroelements varies in the wide range and it is not dependent on the type of wood ash. The content of Al, Mn, Zn, Cd and Pb are higher in the fly ash than bottom ash. However, the content of Cr, V and As are higher in the bottom ash.

## VARIATIONS OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE BOTTOM AND FLY WOOD ASH

Megija Neimane<sup>1</sup>, Vitālijs Lazarenko<sup>1</sup>, Māris Bērtiņš<sup>1</sup>, Arturs Vīksna<sup>1</sup>, Dagnija Lazdiņa<sup>2</sup>, Kristaps Makovskis<sup>2</sup>, Ilze Kārklīņa<sup>2</sup>, Andis Lazdiņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgava street 1, Riga, Latvia

<sup>2</sup>Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Riga street 111, Salaspils, Latvia

[megijaneimane@gmail.com](mailto:megijaneimane@gmail.com)

Wood ash is biomass obtained by the combustion of wood products (wood chips, logs, etc.). Burning wood products produces about 6-10% ash from the total weight of wood. Wood ash contains a high amount of macro- and microelements. However, several studies show that wood ash also contains rare earth elements. Wood ash is produced in large quantities through the combustion of wood for energy and heat production. For example, factories (for energy production) and boiler houses (for heat production) use wood products as fuel.





Nowadays, several applications have been found for the use of wood ash. In several European Union countries, wood ash is used in road construction and asphalt works. However, the most common application of wood ash is as a fertilizer for agricultural and forest soil. The high content of macro- and micro- elements in the wood ash ensures plants with the necessary nutrients and reduces soil acidity. The use of wood ash can create biocycle, increase the amount of renewable energy, reduce the number of landfill sites and CO<sub>2</sub> emissions.

Wood ash divided into two main types – bottom ash and fly ash. Bottom ash is a coarsest and granulated ash fraction with particle size 0.4-4.7 mm that contains impurities (stones, sands, etc.) and most of the wood ash mass consists of silicon (~57 %) and calcium (~19 %). Fly ash is the finest fraction with particle size 12-250 μm which contains inorganic compounds and a small amount of unburned carbon.

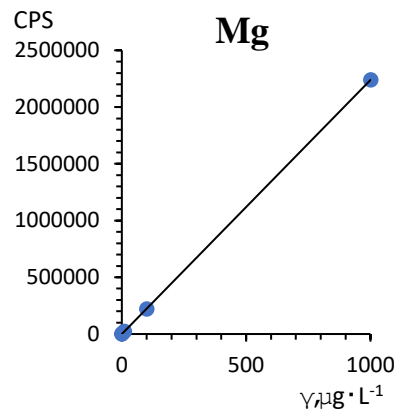
The aim of this research was to evaluate rare earth element content in the bottom and fly wood ash. Both types of wood ash samples were collected from boiler houses from different parts of Latvia in 2014. Wood ash samples were extracted in 5 mL of concentrated HNO<sub>3</sub> by using a shaker (5 hours, 190 rpm). The resulting solution was diluted with deionized water and filtered (Whatman 541) to get rid of undissolved particles. The rare earth element content was determined by ICP - MS (Agilent 8900 ICP-QQQ) analysis method. The pH and electrical conductivity were also determined in the extract in the water. To describe the surface and particle size of the bottom and fly ash was applied scanning electron microscope (SEM).

Obtained results show that wood ash is a highly basic material (pH > 12). The electrical conductivity of bottom ash is higher than fly ash. The content of rare earth elements shows the diversity of the contents between the bottom and fly wood ash.

### 3.pielikums. Reaģentu drošības dati

Reaģenta nosaukums	Bīstamība	
<b>67-69 % HNO<sub>3</sub></b>	H290, H314, H318, P234, P260, P264, P280, P301+P330+P331, P303+P361+P353, P304+P340, P305+P351+P338, P310, P363, P390, P405, P406, P501	
<b>ICP-MS-68A-A High Purity Standards</b>	H290, H314, H318, H290, H314	
<b>Hēlijs (He)</b>	H280, OSHA-H01, P202, P271, P403, CGA-PG05, CGA-PG10, CGA-PG06, CGA-PG02	
<b>Argons (Ar)</b>	H280, OSHA-H01, P202, P271+P403, CGA-PG05, CGA-PG10, CGA-PG06, CGA-PG02	

**4.pielikums.** Kalibrēšanas grafiki ķīmisko elementu noteikšanai ar ICP-MS analīzes metodi

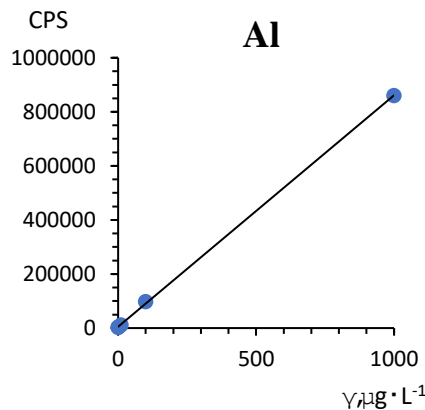


$$y = (2238 \pm 2)x$$

$$R^2 = 0,999997$$

$$y = (1496,14 \pm 0,8)x + (920 \pm 38)$$

$$R^2 = 0,999999990$$

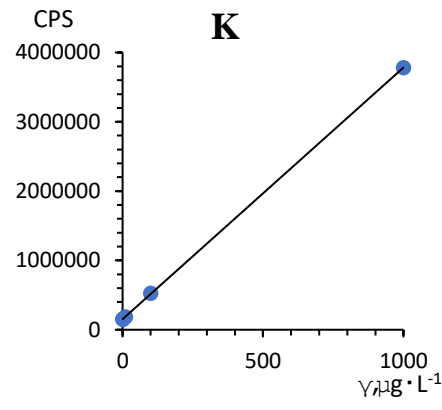


$$y = (856 \pm 5)x + (4928 \pm 2469)$$

$$R^2 = 0,9998$$

$$y = (455 \pm 3)x + (2515 \pm 1350)$$

$$R^2 = 0,9998$$

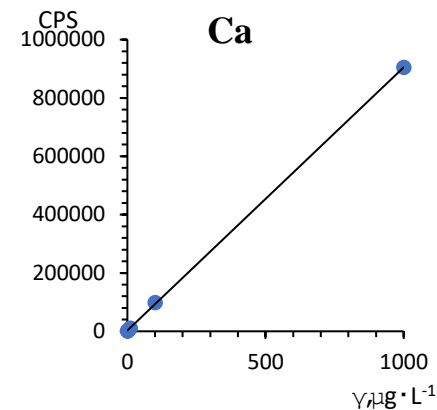


$$y = (3629 \pm 7)x + (152657 \pm 3351)$$

$$R^2 = 0,99998$$

$$y = (2186 \pm 4)x + (86057 \pm 1967)$$

$$R^2 = 0,99998$$

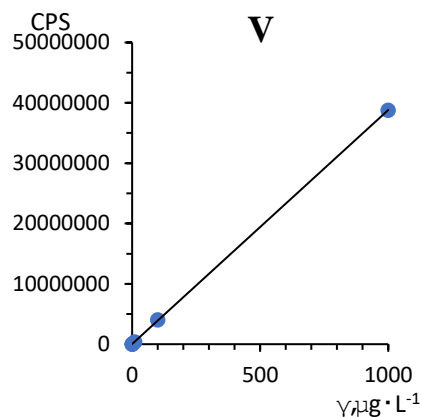


$$y = (902 \pm 4)x + (2783 \pm 1719)$$

$$R^2 = 0,99995$$

$$y = (676 \pm 2)x + (1991 \pm 941)$$

$$R^2 = 0,99997$$

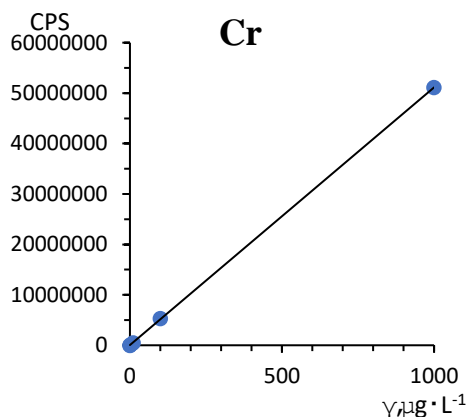


$$y = (38783 \pm 87)x$$

$$R^2 = 0,99998$$

$$y = (32548 \pm 54)x$$

$$R^2 = 0,999992$$

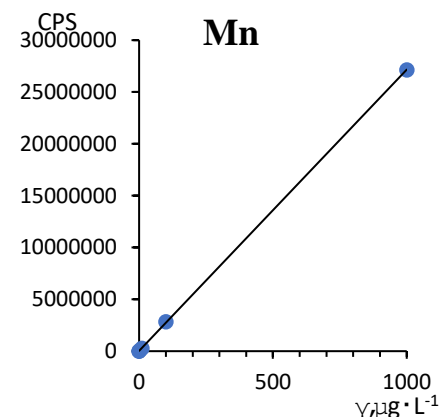


$$y = (51080 \pm 122)x$$

$$R^2 = 0,99998$$

$$y = (42763 \pm 103)x$$

$$R^2 = 0,99998$$

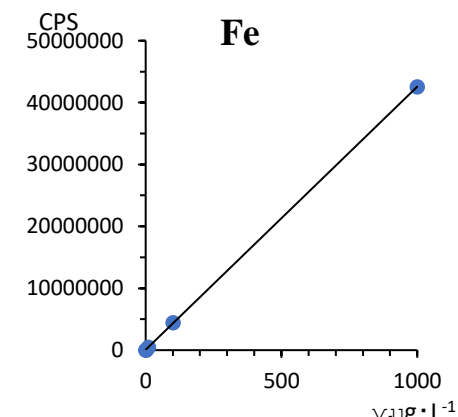


$$y = (27128 \pm 74)x$$

$$R^2 = 0,99998$$

$$y = (21119 \pm 56)x$$

$$R^2 = 0,99998$$

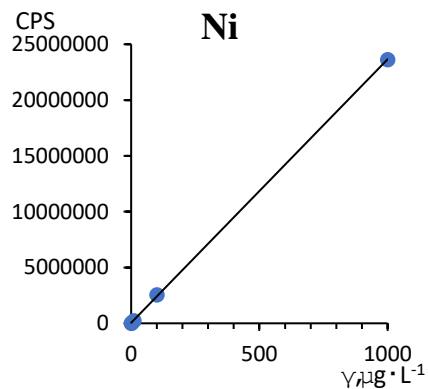


$$y = (42496 \pm 113)x$$

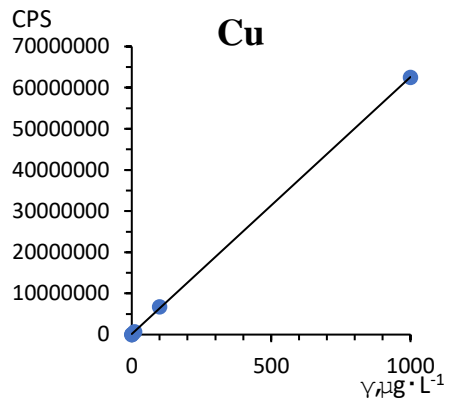
$$R^2 = 0,99998$$

$$y = (35240 \pm 89)x + (63228 \pm 29992)$$

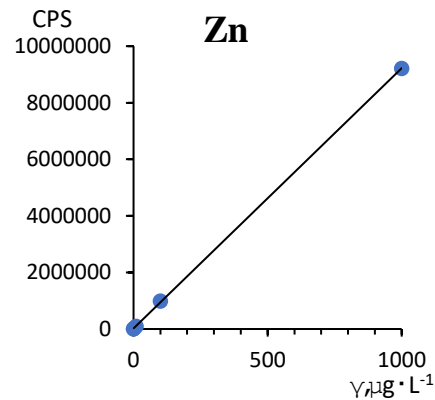
$$R^2 = 0,99998$$



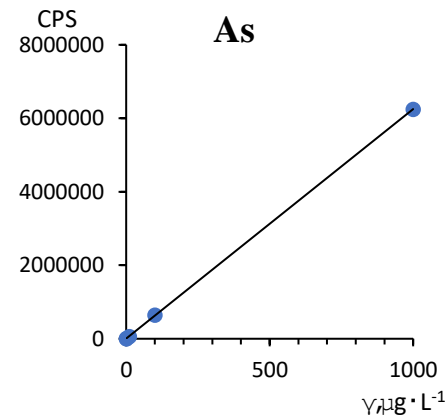
$y = (23608 \pm 107)x$   
 $R^2 = 0,99994$   
 $y = (22181 \pm 83)x$   
 $R^2 = 0,99996$



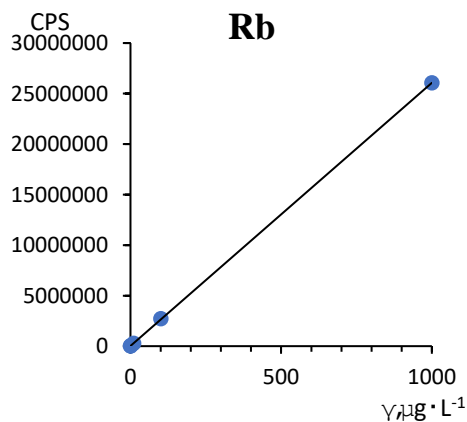
$y = (62448 \pm 267)x$   
 $R^2 = 0,99995$   
 $y = (59180 \pm 166)x$   
 $R^2 = 0,99998$



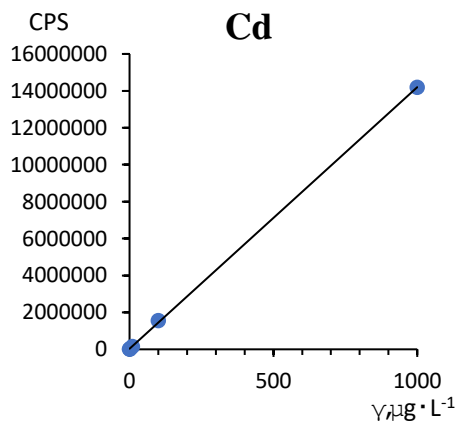
$y = (9200 \pm 39)x$   
 $R^2 = 0,99995$   
 $y = (7985 \pm 43)x$   
 $R^2 = 0,99991$



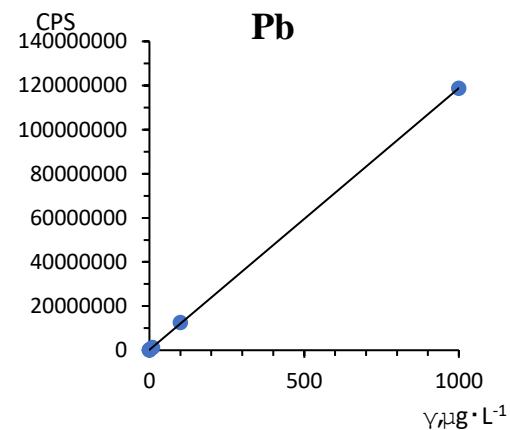
$y = (6246 \pm 10)x$   
 $R^2 = 0,999992$   
 $y = (5302 \pm 10)x$   
 $R^2 = 0,999990$



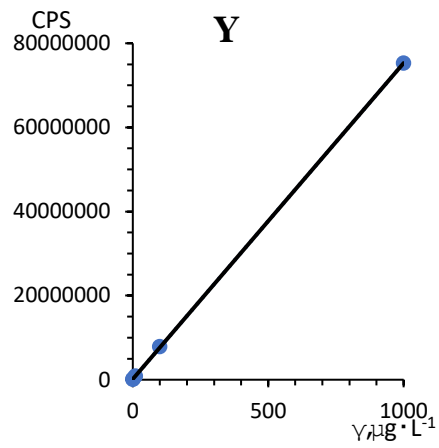
$y = (26042 \pm 50)x$   
 $R^2 = 0,99998$   
 $y = (19096 \pm 12)x$   
 $R^2 = 0,999998$



$y = (14166 \pm 73)x$   
 $R^2 = 0,99992$   
 $y = (12735 \pm 73)x$   
 $R^2 = 0,99990$



$y = (118605 \pm 394)x$   
 $R^2 = 0,99997$   
 $y = (115625 \pm 602)x$   
 $R^2 = 0,99992$

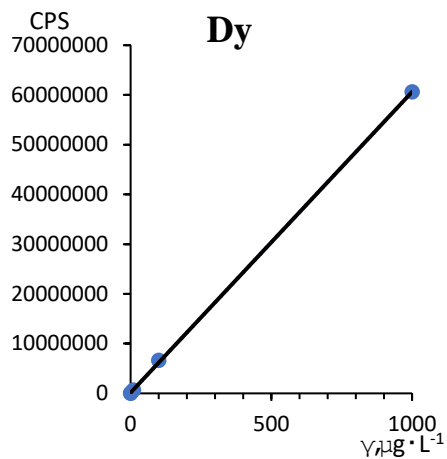


$$y = (75132 \pm 143)x$$

$$R^2 = 0,99998$$

$$y = (58841 \pm 45)x + (104304 \pm 20371)$$

$$R^2 = 0,999998$$

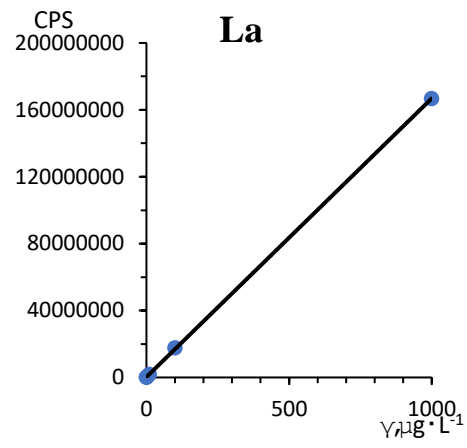


$$y = (60469 \pm 304)x$$

$$R^2 = 0,99992$$

$$y = (56657 \pm 292)x$$

$$R^2 = 0,99992$$

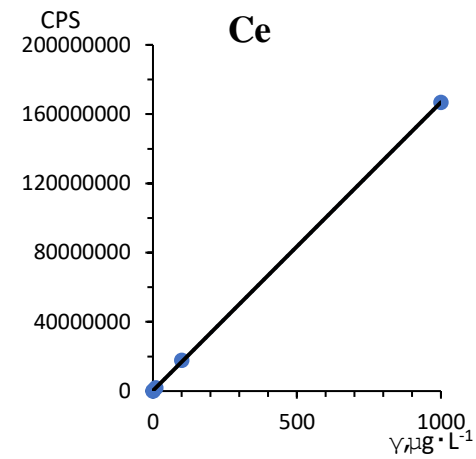


$$y = (166584 \pm 532)x$$

$$R^2 = 0,99997$$

$$y = (149696 \pm 502)x$$

$$R^2 = 0,99997$$

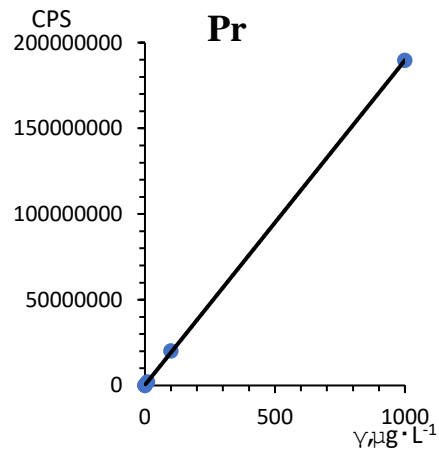


$$y = (166584 \pm 533)x$$

$$R^2 = 0,99997$$

$$y = (149696 \pm 502)x$$

$$R^2 = 0,99997$$

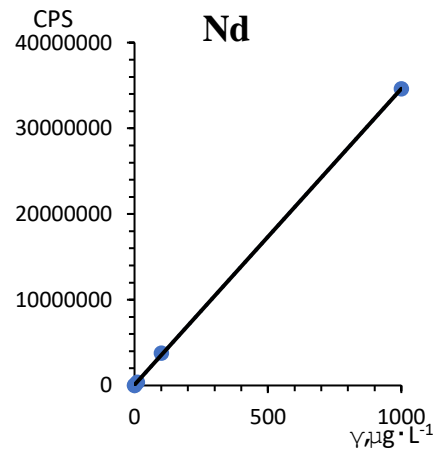


$$y = (189375 \pm 626)x$$

$$R^2 = 0,99997$$

$$y = (164983 \pm 705)x$$

$$R^2 = 0,99995$$

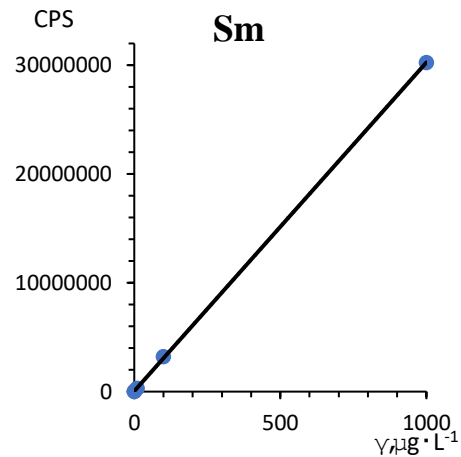


$$y = (34536 \pm 172)x$$

$$R^2 = 0,99993$$

$$y = (30873 \pm 125)x$$

$$R^2 = 0,99995$$

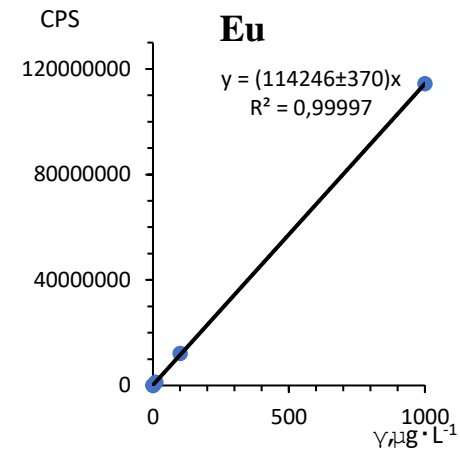


$$y = (30209 \pm 108)x$$

$$R^2 = 0,99996$$

$$y = (26882 \pm 96)x$$

$$R^2 = 0,99996$$



$$y = (114246 \pm 370)x$$

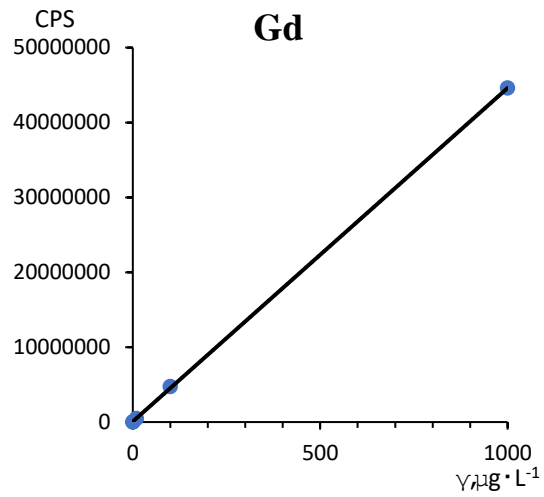
$$R^2 = 0,99997$$

$$y = (114246 \pm 370)x$$

$$R^2 = 0,99997$$

$$y = (102800 \pm 418)x$$

$$R^2 = 0,99995$$

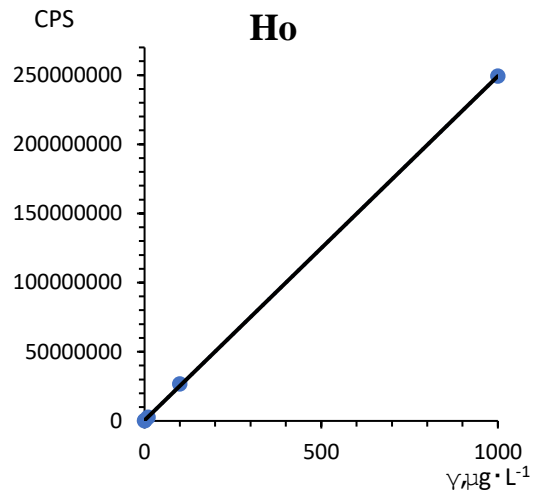


$$y = (44526 \pm 158)x$$

$$R^2 = 0,99996$$

$$y = (44123 \pm 185)x$$

$$R^2 = 0,99995$$

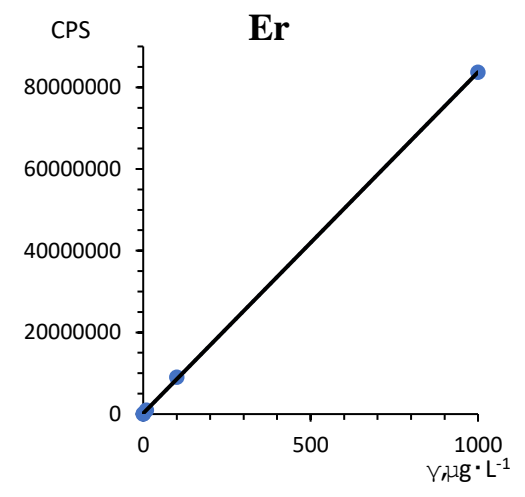


$$y = (248797 \pm 971)x$$

$$R^2 = 0,99995$$

$$y = (232761 \pm 1248)x$$

$$R^2 = 0,99991$$

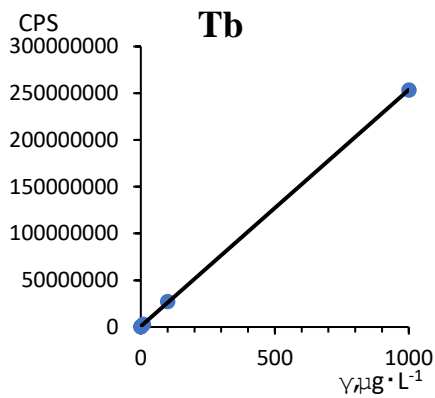


$$y = (83512 \pm 379)x$$

$$R^2 = 0,99994$$

$$y = (78890 \pm 378)x$$

$$R^2 = 0,99993$$

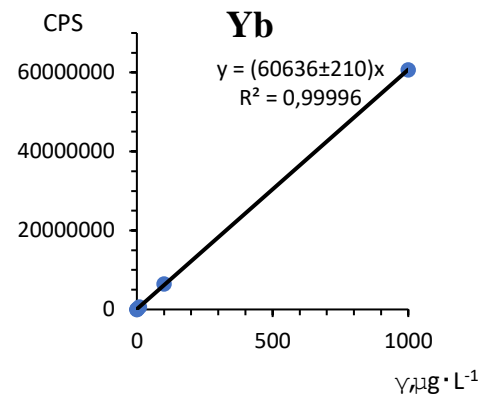


$$y = (252976 \pm 925)x$$

$$R^2 = 0,99996$$

$$y = (237632 \pm 859)x$$

$$R^2 = 0,99996$$



$$y = (60636 \pm 210)x$$

$$R^2 = 0,99996$$

$$y = (58080 \pm 277)x$$

$$R^2 = 0,99993$$

## 5.pielikums. Makro-, mikro- un retzemju elementu saturs koksnes pelnos

1.tabula

### Makro-, mikro- un retzemju elementu saturs koksnes pelnos (mg·kg<sup>-1</sup>)

Paraugs	Parauga Nr.	m <sup>(desv)</sup> , g	Mg			Al			K			Ca			V		
			γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>
SIA "Latgran" Jēkabpils	1.	0,5003	94479,693	3777	6031±2262	107810,424	4310	5742±1322	220686,324	8822	11050±2131	281107,068	11238	14275±2637	156,513	6,3	7,2±0,9
	2.	0,5001	150445,425	6017		150022,728	6000		281529,100	11259		399536,252	15978		181,816	7,3	
	3.	0,4994	207255,257	8300		172700,598	6916		326303,113	13068		389757,779	15609		199,705	8,0	
GORA EMO Launkalne	1.	0,5000	145190,573	5808	7327±1408	59937,478	2397	2605±250	214675,165	8587	9098±561	564226,194	22569	20840±1546	53,686	2,147	2,036±0,101
	1.	0,5008	215059,478	8589		63464,851	2535		225586,265	9009		509838,238	20361		50,246	2,007	
	2.	0,5007	189848,412	7583		72149,970	2882		242809,152	9699		490446,846	19590		48,880	1,952	
SIA "Latgran" Krāslava	3.	0,4914	217418,797	8849	10744±2950	101172,295	4118	4289±187	76795,047	3126	3361±262	252841,434	10291	11010±644	126,893	5	6±1
	1.	0,4996	230803,420	9240		112119,147	4488		90988,761	3642		279950,476	11207		184,646	7	
	1.	0,4992	352985,202	14142		106345,575	4261		82732,221	3315		287853,836	11533		141,766	6	
SIA "Limbažu siltums"	2.	0,5005	261268,373	10440	10129±464	130849,233	5229	5302±297	475877,527	19016	18929±942	387964,718	15503	15148±308	99,714	3,98	4,03±0,04
	3.	0,5007	259140,106	10351		140918,508	5629		496300,815	19824		375366,286	14994		101,830	4,07	
	1.	0,4998	239814,583	9596		126138,801	5048		448482,345	17946		373560,129	14948		100,601	4,03	
AS "Balvu enerģija"	1.	0,4996	174241,981	6975	7048±118	43565,479	1744	1837±81	297301,617	11902	12119±370	407983,390	16332	15239±1019	34,686	1,39	1,37±0,02
	2.	0,4992	174317,183	6984		47295,966	1895		313146,980	12546		376115,669	15069		33,969	1,36	
	3.	0,5003	179718,430	7184		46808,028	1871		297880,619	11908		358115,499	14316		33,976	1,36	
SIA "Līvānu siltums"	1.	0,4994	357065,086	14300	13879±374	129314,233	5179	5235±118	408508,777	16360	15811±638	282126,173	11299	11291±86	129,743	5,2	5,0±0,2
	1.	0,5002	339740,743	13584		134336,022	5371		399182,706	15961		284424,828	11372		127,917	5,1	
	2.	0,4999	343723,431	13752		128874,176	5156		377693,972	15111		279960,903	11201		120,465	4,8	
SIA "Latvijas Finieris"	3.	0,4996	214548,988	8589	7795±811	31398,052	1257	1184±79	96152,796	3849	3800±172	322864,557	12925	12556±408	67,617	2,71	2,67±0,06
	1.	0,4989	195255,728	7827		29790,797	1194		90026,016	3609		314963,249	12626		67,562	2,71	
	1.	0,5001	174226,408	6968		27496,341	1100		98554,795	3941		302991,282	12117		65,049	2,60	
SIA "Smiltenes Impex"	2.	0,4987	407250,468	16332	16744±850	83975,635	3368	3194±155	215854,556	8657	8152±646	236045,485	9466	9369±94	87,684	3,52	3,43±0,08
	3.	0,5012	405442,859	16179		78843,523	3146		209877,457	8375		232520,680	9279		85,250	3,40	
	1.	0,5004	443406,924	17722		76784,313	3069		185730,491	7423		234200,618	9361		84,307	3,37	
Raunas novada dome	1.	0,5235	88471,657	3380	3182±190	76644,410	2928	2766±141	205354,993	7845	7751±136	182079,621	6956	6785±153	87,159	3,3	3,1±0,2
	2.	0,4994	78961,253	3162		66630,865	2668		195107,767	7814		168144,096	6734		74,618	3,0	
	3.	0,5009	75197,190	3002		67672,051	2702		190222,123	7595		166906,317	6664		75,335	3,0	
SIA "Selko"	1.	0,5009	199075,147	7949	6981±914	39950,792	1595	1354±222	328507,666	13117	12268±659	217220,274	8673	8350±284	54,504	2,2	2,0±0,2
	1.	0,5014	172101,708	6865		32795,307	1308		350723,871	13990		206398,353	8233		48,995	2,0	
	2.	0,4992	153027,879	6131		28896,934	1158		316958,452	12699		203252,987	8143		45,444	1,8	

Paraugs	Parauga Nr.	m <sub>(assv)</sub> , g	Cr			Mn			Fe			Ni			Cu		
			γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>
SIA "Latgran" Jekabpils	1.	0,5003	131,459	5	6±1	2094,013	837	967±128	52225,283	2088	2564±434	71,169	2,8	3,6±0,7	290,398	12	14±3
	2.	0,5001	155,834	6		24274,149	971		66632,697	2665		90,476	3,6		342,433	14	
	3.	0,4994	188,290	8		27307,959	1094		73384,535	2939		106,945	4,3		430,498	17	
GORA EMO Launkalne	1.	0,5000	43,008	1,72	1,67±0,05	65026,718	2601	2646±58	27135,615	1085	1093±22	77,788	3,11	3,17±0,05	317,155	13	12,8±0,3
	2.	0,5008	41,425	1,65		65761,230	2626		27996,146	1118		79,631	3,18		313,244	13	
	3.	0,5007	40,665	1,62		67868,798	2711		26932,616	1076		80,600	3,22		329,502	13	
SIA "Latgran" Krāslava	1.	0,4914	127,761	5,20	5,279±0,105	13996,245	570	586±14	66894,388	2723	2855±122	71,098	2,89	2,83±0,06	237,855	10	13±7
	2.	0,4996	130,900	5,24		14876,393	596		73981,832	2962		70,575	2,83		522,697	21	
	3.	0,4992	134,737	5,40		14769,340	592		71938,000	2882		69,139	2,77		212,871	9	
SIA "Limbažu siltums"	1.	0,5005	144,570	5,8	5,7±0,5	38145,683	1524	1525±9	48361,224	1933	1787±127	64,995	2,6	2,4±0,2	1588,244	62	31±1
	2.	0,5007	129,297	5,2		38385,533	1533		43285,591	1729		57,115	2,3		749,206	30	
	3.	0,4998	152,242	6,1		37885,286	1516		42454,602	1699		60,383	2,4		789,123	32	
AS "Balvu enerģija"	1.	0,4996	49,387	1,98	1,93±0,08	21549,720	863	834±36	24315,239	973	971±6	65,707	2,63	2,59±0,08	590,183	24	20±3
	2.	0,4992	49,273	1,97		19810,690	794		24338,816	975		66,139	2,65		445,287	18	
	3.	0,5003	46,138	1,84		21123,624	844		24105,842	964		62,487	2,50		469,566	18,8	
SIA "Līvānu siltums"	1.	0,4994	68,854	2,8	2,8±0,09	34091,027	1365	1400±30	47209,116	1891	1853±46	56,383	2,26	2,24±0,02	488,187	19,6	19,2±0,4
	2.	0,5002	68,066	2,7		35347,021	1413		46709,886	1868		55,805	2,23		482,500	19,3	
	3.	0,4999	72,639	2,9		35522,507	1421		45034,480	1802		55,490	2,22		469,048	18,8	
SIA "Latvijas Finieris"	1.	0,4996	1321,066	53	52±2	64803,479	2594	2512±86	86448,820	3461	3299±161	43,516	1,74	1,64±0,09	205,448	8,2	8,2±0,2
	2.	0,4989	1318,455	53		62836,330	2519		82247,462	3297		39,514	1,58		200,739	8,0	
	3.	0,5001	1250,929	50		60568,399	2422		78463,543	3138		39,954	1,60		211,099	8,4	
SIA "Smiltenes Impex"	1.	0,4987	474,180	19	17±2	65382,141	2622	2502±127	48726,092	1954	1851±89	51,689	2,07	1,91±0,14	379,153	15,2	13,9±1,2
	2.	0,5012	417,943	17		63015,472	2515		45078,776	1799		45,808	1,83		345,325	13,8	
	3.	0,5004	394,259	16		59288,289	2370		45022,406	1799		45,393	1,81		319,049	12,8	
Raunas novada dome	1.	0,5235	228,928	8,7	8,4±0,9	20911,848	799	787±42	39247,389	1499	1533±71	53,910	2,06	1,98±0,11	321,895	12	13±2
	2.	0,4994	228,426	9,1		20522,019	822		40303,324	1614		50,448	2,02		390,339	16	
	3.	0,5009	184,435	7,4		18560,794	741		37182,318	1485		46,389	1,85		284,683	11	
SIA "Selko"	1.	0,5009	243,817	10	10±1	49749,732	1986	1927±90	45666,966	1823	1680±139	53,473	2,1	2,0±0,2	686,380	27	25±2
	2.	0,5014	296,260	12		49421,108	1971		41872,233	1670		51,464	2,1		629,984	25	
	3.	0,4992	225,008	9		45493,723	1823		38576,493	1546		45,524	1,8		570,840	23	

<sup>a</sup>Rēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas dēļ, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

Paraugs	Parauga Nr.	m <sub>(essv)</sub> , g	Zn			As			Rb			Cd			Pb		
			γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>
SIA "Latgran" Jēkabpils	1.	0,5003	541,526	22	25±6	9,628	0,385	0,482±0,105	305,697	12	15±3	1,726	0,07	0,08±0,02	6,116	0,24	0,31±0,09
	2.	0,5001	553,400	22		11,717	0,469		383,433	15		1,614	0,06		6,612	0,26	
	3.	0,4994	810,634	32		14,813	0,593		460,773	18		2,626	0,11		10,290	0,41	
GORA EMO Launkalne	1.	0,5000	4238,336	170	166±3	4,123	0,165	0,160±0,005	367,838	15	16±1	16,533	0,66	0,67±0,02	7,944	0,318	0,316±0,005
	2.	0,5008	4070,531	163		3,939	0,157		409,120	16		16,295	0,65		7,792	0,311	
	3.	0,5007	4151,294	166		3,918	0,157		440,472	18		17,323	0,69		8,022	0,320	
SIA "Latgran" Krāslava	1.	0,4914	327,383	13	15±1	23,103	0,94	1,4±0,8	204,572	8	9±1	1,399	0,057	0,059±0,002	11,006	0,45	0,35±0,09
	2.	0,4996	375,427	15		58,061	2,32		239,956	10		1,475	0,059		7,363	0,29	
	3.	0,4992	397,967	16		26,713	1,07		228,084	9		1,539	0,062		7,659	0,31	
SIA "Limbažu siltums"	1.	0,5005	216,188	9	8±2	5,412	0,22	0,21±0,02	754,498	30	31±2	0,092	0,0037	0,0030±0,001 1	11,105	0,44	0,34±0,12
	2.	0,5007	144,142	6		4,650	0,19		817,635	33		0,042	0,0017		5,567	0,22	
	3.	0,4998	229,140	9		5,825	0,23		747,503	30		0,091	0,0036		9,690	0,39	
AS "Balvu enerģija"	1.	0,4996	145,787	6	6,0±0,6	2,177	0,087	0,085±0,002	305,791	12,2	12,5±0,3	0,711	0,0285	0,0279±0,000 8	0,649	0,026	0,022±0,003
	2.	0,4992	164,846	7		2,080	0,083		319,617	12,8		0,703	0,0281		0,485	0,019	
	3.	0,5003	138,543	6		2,114	0,085		315,030	12,6		0,674	0,0269		0,542	0,022	
SIA "Līvānu siltums"	1.	0,4994	1007,438	40	39±4	8,516	0,341	0,36±0,02	757,593	30,3	30,0±0,5	4,051	0,162	0,166±0,007	10,215	0,41	0,42±0,02
	2.	0,5002	854,388	34		8,742	0,350		756,479	30,2		4,057	0,162		10,907	0,44	
	3.	0,4999	1037,643	42		9,611	0,385		735,389	29,4		4,350	0,174		18,735	0,75*	
SIA "Latvijas Finieris"	1.	0,4996	3665,568	147	152±14	1,338	0,054	0,053±0,002	252,959	10,1	11,1±1,4	19,724	0,79	0,9±0,2	22,103	0,9	1,1±0,3
	2.	0,4989	3508,790	141		1,278	0,051		258,215	10,4		20,774	0,83		25,557	1,0	
	3.	0,5001	4192,297	168		1,353	0,054		317,573	12,7		29,197	1,17		38,532	1,5	
SIA "Smiltenes Impex"	1.	0,4987	999,966	40	36±4	3,916	0,157	0,154±0,003	587,203	24	22±2	17,423	0,70	0,64±0,06	31,955	1,282	1,20±0,08
	2.	0,5012	902,986	36		3,766	0,150		576,431	23		15,981	0,64		30,359	1,211	
	3.	0,5004	822,651	33		3,837	0,153		506,919	20		14,422	0,58		27,973	1,118	
Raunas novada dome	1.	0,5235	2010,955	76,85*	60,58±0,14	9,157	0,350	0,33±0,02	315,833	12,1	11,8±0,4	26,155	1,00	0,86±0,13	51,178	4,96*	1,53±0,02
	2.	0,4994	1515,192	60,68		7,839	0,314		295,960	11,9		19,967	0,80		38,693	1,55	
	3.	0,5009	1514,929	60,49		8,106	0,324		284,424	11,4		19,188	0,77		38,037	1,52	
SIA "Selko"	1.	0,5009	9497,960	379	390±27	9,347	0,373	0,33±0,02	868,319	35	33±4	58,122	2,3	2,3±0,3	208,422	8,3	8,0±0,5
	2.	0,5014	10541,970	421		9,914	0,395		887,026	35		65,853	2,6		329,829	4,32*	
	3.	0,4992	9235,427	370		7,693	0,308		716,180	29		51,726	2,1		189,834	7,6	

\*Rēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas dēļ, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

Paraugs	Parauga Nr.	m <sub>(assv)</sub> , g	Y			Dy			La			Ce			Pr		
			γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>
SIA "Latgran" Jēkabpils	1.	0.5003	54,666	2,1853	2.6±0.5	7,861	0,3142	0.35±0.06	60,017	2,3992	2.9±0.6	136,817	5,4694	6.6±1.3	13,914	0,5562	0.68±0.14
	2.	0.5001	59,831	2,3928		8,209	0,3283		69,956	2,7977		158,711	6,3472		16,112	0,6444	
	3.	0.4994	77,623	3,1087		10,515	0,4211		90,628	3,6295		201,704	8,0778		20,594	0,8247	
GORA EMO Launkalne	1.	0.5000	11,739	0,4696	0.43±0.03	1,787	0,0715	0.068±0.003	14,912	0,5965	0.58±0.03	29,425	1,1770	1.16±0.02	3,105	0,1242	0.122±0.005
	1.	0.5008	10,864	0,4339		1,655	0,0661		13,736	0,5485		28,537	1,1397		2,928	0,1169	
	2.	0.5007	10,169	0,4062		1,647	0,0658		14,734	0,5885		29,372	1,1732		3,148	0,1258	
SIA "Latgran" Krāslava	3.	0.4914	75,228	3,0618	3.11±0.07	13,544	0,5513	0.55±0.02	124,959	5,0859	4.9±0.2	264,219	10,7537	10.3±0.4	26,867	1,0935	1.05±0.04
	1.	0.4996	79,703	3,1907		14,201	0,5685		116,000	4,6437		255,589	10,2318		25,995	1,0406	
	1.	0.4992	77,007	3,0852		13,247	0,5307		120,364	4,8223		250,564	10,0386		25,637	1,0271	
SIA "Limbažu siltums"	2.	0.5005	38,943	1,5562	1.58±0.5	5,618	0,2245	0.24±0.02	46,484	1,8575	2.1±0.3	96,332	3,8494	4.5±0.7	9,902	0,3957	0.47±0.07
	3.	0.5007	38,924	1,5548		6,006	0,2399		60,054	2,3988		129,473	5,1717		13,469	0,5376	
	1.	0.4998	40,973	1,6396		6,455	0,2583		54,778	1,1920		113,775	4,5528		12,002	0,4803	
AS "Balvu enerģija"	1.	0.4996	14,908	0,5968	0.62±0.02	1,897	0,0760	0.075±0.002	18,397	0,7365	0.727±0.009	25,869	1,0356	1.02±0.02	0,363	0,0145	0.0156±0.0009
	2.	0.4992	15,999	0,6410		1,918	0,0768		17,908	0,7174		25,516	1,0223		0,404	0,0162	
	3.	0.5003	15,443	0,6174		1,830	0,0732		18,178	0,7267		25,059	1,0017		0,400	0,0160	
SIA "Līvānu siltums"	1.	0.4994	43,570	1,7449	1.9±0.2	6,167	0,2470	0.250±0.004	52,383	2,0979	2.09±0.02	93,755	3,7416	3.79±0.07	8,214	0,3289	0.331±0.003
	1.	0.5002	44,491	1,7789		6,323	0,2528		51,835	2,0726		96,178	3,8456		8,340	0,3335	
	2.	0.4999	54,236	2,1699		8,340	0,3337		96,358	3,8554*		208,584	8,3450		16,933	0,6775	
SIA "Latvijas Finieris"	3.	0.4996	7,859	0,3146	0.33±0.02	1,135	0,0454	0.051±0.007	6,706	0,2684	0.31±0.04	13,127	0,5255	0.58±0.05	2,088	0,0836	0.078±0.006
	1.	0.4989	8,122	0,3256		1,228	0,0492		7,656	0,3069		14,892	0,5810		1,949	0,0781	
	1.	0.5001	9,011	0,3604		1,490	0,0596		8,641	0,3456		15,614	0,6244		1,783	0,0713	
SIA "Smiltenes Impex"	2.	0.4987	37,529	1,5051	1.50±0.02	6,805	0,2729	0.270±0.003	47,993	1,9247	1.88±0.06	89,672	3,5962	3.511±0.101	7,880	0,3160	0.30±0.02
	3.	0.5012	37,853	1,5105		6,749	0,2693		47,401	1,8915		88,642	3,5372		7,780	0,3105	
	1.	0.5004	36,813	1,4714		6,702	0,2679		45,310	1,8109		85,069	3,4000		7,157	0,2861	
Raunas novada dome	1.	0.5235	31,689	1,2107	1.16±0.03	5,759	0,2200	0.216±0.003	41,207	1,5743	1.690±0.013	80,349	3,0697	3.05±0.02	5,628	0,2150	0.215±0.004
	2.	0.4994	29,629	1,1866		5,395	0,2160		39,936	1,5994		76,641	3,0693		5,312	0,2127	
	3.	0.5009	28,526	1,1390		5,300	0,2116		39,587	1,5806		76,026	3,0356		5,463	0,2181	
SIA "Selko"	1.	0.5009	17,226	0,6878	0.59±0.09	3,482	0,1390	0.12±0.03	31,360	1,2522	1.0±0.3	54,969	2,1948	1.07±0.7	3,522	0,1406	0.0224±0.0102
	1.	0.5014	13,289	0,5301		2,587	0,1032		21,054	0,8398		33,863	1,3507		0,742	0,0296	
	2.	0.4992	13,407	0,5371		2,569	0,1029		19,152	0,7673		30,394	1,2177		0,278	0,0151	

\*Rēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas dēļ, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

Paraugs	Parauga Nr.	m <sub>iesv</sub> , g	Nd			Sm			Eu			Gd		
			γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>
SIA "Latgran" Jēkabpils	1.	0.5003	53,157	2,1250	2,6±0,5	9,651	0,3858	0,46±0,09	2,100	0,0839	0,09±0,02	8,969	0,3586	0,42±0,08
	2.	0.5001	61,441	2,4571		10,919	0,4367		2,443	0,0977		9,883	0,3952	
	3.	0.4994	77,844	3,1175		13,908	0,5570		2,936	0,1176		12,567	0,5033	
GORA EMO Launkalne	1.	0.5000	11,657	0,4663	0,46±0,02	2,202	0,0881	0,088±0,003	1,054	0,0421	0,047±0,005	2,105	0,0842	0,082±0,003
	1.	0.5008	11,044	0,4411		2,137	0,0853		1,167	0,0466		1,964	0,0784	
	2.	0.5007	11,871	0,4742		2,286	0,0913		1,305	0,0552		2,075	0,0829	
SIA "Latgran" Krāslava	3.	0.4914	101,479	4,1302	4,05±0,07	18,083	0,7360	0,73±0,02	3,531	0,1437	0,0155±0,011	16,376	0,6665	0,67±0,2
	1.	0.4996	100,964	4,0418		18,413	0,7371		4,147	0,1660		17,205	0,6887	
	1.	0.4992	99,540	3,9880		17,677	0,7082		3,834	0,1536		16,454	0,6592	
SIA "Limbažu siltums"	2.	0.5005	35,639	1,4241	1,7±0,3	6,710	0,2682	0,32±0,05	1,882	0,0752	0,084±0,008	6,252	0,2498	0,29±0,03
	3.	0.5007	50,758	2,0275		9,030	0,3607		2,139	0,0854		7,704	0,3077	
	1.	0.4998	43,833	1,7540		8,344	0,3339		2,250	0,0901		7,593	0,3039	
AS "Balvu enerģija"	1.	0.4996	13,796	0,5523	0,548±0,004	2,606	0,1043	0,103±0,002	0,683	0,0273	0,0274±0,0003	2,360	0,0945	0,093±0,002
	2.	0.4992	13,662	0,5474		2,567	0,1028		0,692	0,0277		2,351	0,0942	
	3.	0.5003	13,607	0,5440		2,527	0,1010		0,679	0,0271		2,283	0,0913	
SIA "Līvānu siltums"	1.	0.4994	44,186	1,7696	1,79±0,03	8,280	0,3316	0,337±0,008	1,906	0,7630	0,078±0,003	7,054	0,2825	0,288±0,008
	1.	0.5002	45,288	1,8108		8,560	0,3423		1,996	0,0798		7,344	0,2936	
	2.	0.4999	73,324	2,9335 <sup>a</sup>		12,984	0,5195		2,213	0,0885		10,529	0,4424 <sup>a</sup>	
SIA "Latvijas Finieris"	3.	0.4996	7,771	0,3111	0,34±0,03	1,499	0,0600	0,065±0,006	0,865	0,0346	0,041±0,007	1,346	0,0539	0,059±0,005
	1.	0.4989	8,440	0,3383		1,604	0,0643		1,010	0,0405		1,451	0,0582	
	1.	0.5001	9,118	0,3647		1,784	0,0713		1,189	0,0475		1,598	0,0639	
SIA "Smiltenes Impex"	2.	0.4987	45,373	1,8197	1,78±0,05	8,812	0,3534	0,344±0,009	2,385	0,0956	0,094±0,002	7,820	0,3136	0,308±0,005
	3.	0.5012	45,373	1,7968		8,588	0,3427		2,366	0,0944		7,675	0,3063	
	1.	0.5004	43,282	1,7299		8,409	0,3361		2,319	0,0927		7,600	0,3037	
Raunas novada dome	1.	0.5235	37,028	1,4146	1,427±0,003	7,078	0,2704	0,270±0,002	1,737	0,0664	0,0641±0,0014	6,365	0,2432	0,238±0,004
	2.	0.4994	35,586	1,4251		6,787	0,2718		1,626	0,0651		6,010	0,2407	
	3.	0.5009	35,789	1,4290		6,739	0,2691		1,581	0,0631		5,895	0,2354	
SIA "Selko"	1.	0.5009	29,063	1,1604	0,9±0,3	5,203	0,2077	0,17±0,05	2,041	0,0815	0,075±0,009	4,452	0,1778	0,15±0,04
	1.	0.5014	18,390	0,7335		3,493	0,1393		1,693	0,0675		3,156	0,1259	
	2.	0.4992	17,157	0,6874		3,271	0,1310		1,704	0,0675		2,996	0,1200	

<sup>a</sup>Rēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas dēļ, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

Paraugs	Parauga Nr.	m <sub>(iesv)</sub> , g	Ho			Er			Yb			Tb		
			γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>	γ, μg·L <sup>-1</sup>	W, mg·kg <sup>-1</sup>	Vid±Sn, mg·kg <sup>-1</sup>
SIA "Latgran" Jēkabpils	1.	0,5003	1,561	0,0624	0,069±0,011	4,580	0,1831	0,20±0,03	4,138	0,1654	0,18±0,03	0,241	0,0096	0,020±0,013
	2.	0,5001	1,602	0,0640		4,663	0,1865		4,200	0,1680		0,384	0,0153	
	3.	0,4994	2,057	0,0824		5,973	0,2392		5,288	0,2118		0,873	0,0350	
GORA EMO Launkalne	1.	0,5000	0,352	0,0141	0,0133±0,0007	1,009	0,0404	0,039±0,002	0,874	0,0350	0,034±0,002	0,852	0,0341	0,03405±0,00014
	1.	0,5008	0,332	0,0133		0,982	0,0393		0,873	0,0349		0,856	0,0342	
	2.	0,5007	0,316	0,0126		0,907	0,0362		0,794	0,0317		0,849	0,0339	
SIA "Latgran" Krāslava	3.	0,4914	2,622	0,1067	0,106±0,003	7,543	0,3070	0,302±0,009	6,380	0,2599	0,25±0,02	1,884	0,0767	0,074±0,004
	1.	0,4996	2,723	0,1090		7,684	0,3076		6,446	0,2581		1,923	0,0770	
	1.	0,4992	2,559	0,1025		7,250	0,2905		5,803	0,2325		1,727	0,0692	
SIA "Limbažu siltums"	2.	0,5005	1,113	0,0445	0,047±0,003	3,337	0,1333	0,141±0,007	3,117	0,1246	0,132±0,007	0,123	0,0049	0,004±0,002
	3.	0,5007	1,176	0,0470		3,505	0,1400		3,349	0,1338		0,009	0,0003	
	1.	0,4998	1,263	0,0505		3,703	0,1482		3,443	0,1378		0,069	0,0027	
AS "Balvu enerģija"	1.	0,4996	0,358	0,0143	0,0145±0,0003	1,008	0,0404	0,0410±0,0009	0,880	0,0352	0,0355±0,0011	0,914	0,0366	0,0367±0,0003
	2.	0,4992	0,369	0,0148		1,047	0,0420		0,915	0,0367		0,910	0,0365	
	3.	0,5003	0,357	0,0143		1,016	0,0406		0,866	0,0346		0,926	0,0370	
SIA "Līvānu siltums"	1.	0,4994	1,215	0,0487	0,0491±0,0007	3,543	0,1419	0,1427±0,0011	3,128	0,1253	0,1259±0,0009	0,036	0,0014	0,0020±0,0008
	1.	0,5002	1,241	0,0496		3,587	0,1434		3,163	0,1265		0,063	0,0025	
	2.	0,4999	1,573	0,0630		4,351	0,1744		3,530	0,1412		0,473	0,0189	
SIA "Latvijas Finieris"	3.	0,4996	0,223	0,0089	0,0103±0,0014	0,653	0,0261	0,030±0,005	0,581	0,0232	0,029±0,006	1,027	0,0411	0,039±0,002
	1.	0,4989	0,250	0,0100		0,735	0,0295		0,692	0,0277		0,988	0,0364	
	1.	0,5001	0,296	0,0118		0,894	0,0358		0,873	0,0349		0,911	0,0364	
SIA "Smiltenes Impex"	2.	0,4987	1,329	0,0533	0,0532±0,0002	3,842	0,1541	0,1534±0,0007	3,374	0,1353	0,136±0,002	0,162	0,0065	0,0059±0,0009
	3.	0,5012	1,335	0,0533		3,828	0,1527		3,359	0,1340		0,161	0,0064	
	1.	0,5004	1,324	0,0529		3,841	0,1535		3,441	0,1375		0,122	0,0049	
Raunas novada dome	1.	0,5235	1,139	0,0435	0,0424±0,0009	3,341	0,1277	0,124±0,003	3,044	0,1163	0,113±0,003	0,041	0,0016	0,0010±0,0005
	2.	0,4994	1,076	0,0431		3,164	0,1267		2,863	0,1147		0,018	0,0007	
	3.	0,5009	1,044	0,0417		3,057	0,1220		2,776	0,1108		0,034	0,0014	
SIA "Selko"	1.	0,5009	0,654	0,0261	0,0223±0,004	1,897	0,0757	0,069±0,009	1,682	0,0672	0,062±0,007	0,460	0,0184	0,023±0,007
	1.	0,5014	0,503	0,0201		1,449	0,0578		1,295	0,0516		0,625	0,0249	
	2.	0,4992	0,515	0,0206		1,541	0,0617		1,414	0,0567		0,687	0,0275	

<sup>a</sup>Rēķinot vidējo vērtību, mērījums netika ņemts vērā, rupjās kļūdas dēļ, pārbaudīts pēc Diksona kritērija

$$\text{Aprēķina piemērs Zn 1.paraugam: } W_{Zn} = \frac{\gamma_{Zn} \cdot V}{m_{iesvara}} = \frac{541,526 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,02 \text{ L}}{0,5003 \text{ g}} = 22 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} = 22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**6.pielikums. Koksnes pelnu pH vērtības**

2.tabula

**Koksnes pelnu pH vērtības**

<b>Paraugs</b>	<b>Parauga Nr.</b>	<b>pH</b>	<b>pH<sub>vid</sub></b>
<b>SIA “Latgran” Jēkabpils</b>	1.	11,95	11,98±0,04
	2.	12,01	
<b>GORA EMO Launkalne</b>	1.	12,48	12,470±0,014
	2.	12,46	
<b>SIA “Latgran” Krāslava</b>	1.	12,19	12,15±0,06
	2.	12,10	
<b>SIA “Limbažu siltums”</b>	1.	11,51	11,45±0,09
	2.	11,38	
<b>AS “Balvu enerģija”</b>	1.	12,81	12,84±0,04
	2.	12,86	
<b>SIA “Līvānu siltums”</b>	1.	12,27	12,29±0,03
	2.	12,31	
<b>SIA “Latvijas Finieris”</b>	1.	12,86	12,79±0,12
	2.	12,71	
<b>SIA “Smiltenes Impex”</b>	1.	12,57	12,53±0,06
	2.	12,48	
<b>Raunas novada dome</b>	1.	12,05	12,03±0,03
	2.	12,01	
<b>SIA “Selko”</b>	1.	10,75	10,77±0,02
	2.	10,78	
	2.	12,84	

7.pielikums. Koksnes pelnu elektrovadītspējas mērījumi

3.tabula

Koksnes pelnu elektrovadītspējas mērījumu rezultāti ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

Paraugs	Parauga Nr.	Elektrovadītspēja, $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$	Elektrovadītspēja <sub>(vid)</sub> , $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$
SIA "Latgran" Jēkabpils	1.	2,73	2,72±0,02
	2.	2,70	
GORA EMO Launkalne	1.	10,90	10,8±0,2
	2.	10,60	
SIA "Latgran" Krāslava	1.	5,64	5,3±0,4
	2.	5,02	
SIA "Limbažu siltums"	1.	1,74	1,6±0,2
	2.	1,44	
AS "Balvu enerģija"	1.	22,40	23,1±0,9
	2.	23,80	
SIA "Līvānu siltums"	1.	9,90	10,2±0,4
	2.	10,50	
SIA "Latvijas Finieris"	1.	27,40	27,2±0,4
	2.	26,90	
SIA "Smiltenes Impex"	1.	10,40	10,8±0,5
	2.	11,10	
Raunas novada dome	1.	5,25	5,7±0,6
	2.	6,13	
SIA "Selko"	1.	8,30	9,0±0,9
	2.	9,62	
	2.	15,60	

## **PATEICĪBAS**

Pētniekam Mārim Bērtiņam (LU Ķīmijas fakultātes Analītiskas ķīmijas katedra) par sniegto palīdzību un konsultāciju paraugu mērīšanā izmantojot ICP-MS analīzes metodi.

LVMI “Silava” darbinieku kolektīvam par sniegto palīdzību paraugu ievākšanā un nodrošināšanā.

Kursa darbs „**Ķīmiskā sastāva izvērtējums koksnē pelnos**” izstrādāts LU Ķīmijas fakultātē, Analītiskās ķīmijas katedrā.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti.

Autors: \_\_\_\_\_  
(personiskais paraksts)

Megija Neimane  
(paraksta atšifrējums)

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Pētnieks, Mg. chem. Vitālijs Lazarenko: \_\_\_\_\_  
(personiskais paraksts) (datums)

Recenzente: asoc. prof. Vita Rudoviča: \_\_\_\_\_  
(personiskais paraksts) (datums)

Darbs iesniegts Ķīmijas fakultātē: \_\_\_\_\_ (datums)

Dekāna pilnvarotā persona, metodiķe: \_\_\_\_\_ Ilze Gaile  
(personiskais paraksts)

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē:

\_\_\_\_\_ protokols Nr. \_\_\_\_\_ (ieraksta sekretārs)  
(datums) (protokola Nr.)

Komisijas sekretāre, lektore: \_\_\_\_\_  
(personiskais paraksts) (paraksta atšifrējums)