

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
GEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**Ķīmisko elementu uzkrāšanās sējas kaņepēs (*Cannabis sativa L.*) dzelzceļam pieguļošajās teritorijās
Vecumnieku pagastā**

Bakalaura darbs

Autors: Sofija Novicka

Stud. apl. sn19019

Darba vadītājs: Dr.habil.chem.,

prof. Māris Kļaviņš

RĪGA 2022

ANOTĀCIJA

Mūsdienās, arvien vairāk palielinoties cilvēku skaitam, tiek palielināta ražošanas un rūpniecība, kas neizbēgami rada piesārņojumu. Tādēļ arvien aktuālāks kļūst jautājums par piesārņotu vietu rekultivāciju, jo šajā tehnoloģiju laikmetā cilvēki vairāk pievērš uzmanību apkārtējai videi un tās kvalitātei, apzinoties, cik svarīgi ir to saglabāt nākamajām paaudzēm. Ir svarīgi izvēlēties pareizās piesārņojuma attīrīšanas metodes, lai videi netiktu nodarīts vēl lielāks kaitējums, un, lai metode būtu efektīva un ilgtspējīga. Lai arī ir izstrādātas dažādas metodes piesārņotu vielu rekultivācijai, tieši bioloģiskās – fitorekultivācijas - metodes ir vienas no aktuālākajām, jo tās neradīs papildus piesārņojumu, kā arī palīdz saglabāt un pat uzlabot dabisko ainavu.

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot, cik efektīva ir sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) izmantošana piesārņotu vietu rekultivācijā, pētot ķīmisko elementu uzkrāšanās raksturu šajā augā, kas audzēts dzelzceļam pieguļošās teritorijās Vecumnieku pagastā.

Atslēgas vārdi : *Cannabis sativa L.*, fitorekultivācija, smagie metāli, piesārņojums.

ABSTRACT

Nowadays, manufacturing and industry are growing, because of increasing numbers of people, which is inevitably causing pollution. Therefore, the issue of remediation of contaminated sites is becoming more and more pressing, because in this era of technology people pay more attention to the environment and its quality, knowing how important it is to keep it for future generations. It is important to choose the right pollution treatment methods, to avoid further damage to the environment and the method must be effective and sustainable. Although different methods for remediation of contaminated sites have been developed, it is the biological–phytoremediation – methods that are one of the most promising, because this method does not create additional pollution and helps to preserve and even improve the natural landscape.

The aim is to find out how effective it is the use of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) in the remediation of contaminated sites, studying characteristics of accumulation of chemical elements in this plant from the close areas of the railway in the Vecumnieki parish.

Key words: *Cannabis sativa L.*, phytoremediation, heavy metals, pollution.

Saturs

IEVADS	4
1.LITERATŪRAS APSKATS.....	6
1.1 Sējas kaņepes <i>Cannabis sativa L.</i> Vispārīgs raksturojums	6
1.2 Sējas kaņepes <i>Cannabis sativa L.</i> pielietojums.....	8
1.3 Augsnes piesārņojums ar smagajiem metāliem.....	9
1.4 Piesārņotu vietu rekultivācija	13
1.5 Fitorekultivācija	14
1.6 Sējas kaņepes <i>Cannabis sativa L.</i> izmantošana fitorekultivācijā	16
2. MATERIĀLI UN METODEDES	19
2.1. Izmantotie materiāli.....	19
2.2 Paraugu ievākšana	19
2.3 Paraugu apstrāde un analīze	21
2.4 Aprēķini un datu analīze	22
3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA	23
3.1 Augsnes paraugu raksturojums	23
3.2 Sējas kaņepes (<i>Cannabis sativa L.</i>) paraugu raksturojums.....	29
3.3 Datu analīzes rezultāti	40
SECINĀJUMI	42
PIELIKUMI	48

IEVADS

Sējas kaņepe (*Cannabis sativa L.*) ir nozīmīga lauksaimniecības kultūra, no kuras pārsvarā tiek iegūtas sēklas un šķiedra. Lai gan šī auga audzēšanai Latvijā ir sena vēsture, šobrīd sējas kaņepe tikai atgūst savu kādreizējo popularitāti, jo līdz ar marihuānas aizliegumu daudzās valstīs pagājušajā gadsimtā, arī sējas kaņepju industrija izjuta spiedienu, piemēram, ASV 1937.gadā tika aizliegta visu *Cannabis* ģints augu audzēšana (Kruse, Karus S.a.). Eiropas Savienībā sējas kaņepes audzēšana industriāliem nolūkiem tiek regulēta, nosakot, ka atļauts audzēt tikai kaņepes ar zemu psihoaktīvās vielas (tetrahidrokanabidiols) THC saturu (EMCDDA 2018). Mūsdienās sējas kaņepes pielietojums kļūst plašāks, ietverot arī tādas nozares, kā kosmētika, celtniecība un arī fitorekultivācija (Farinon 2020).

Fitorekultivācijā var tikt izmantoti dažādi augi, piemēram, plaši tiek pielietotas dažādas graudzāles un vītols (Pandey et al. 2016), tomēr, pēc manām domām, īpaši nozīmīga varēt būt tieši sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) izmantošana, jo šim augam piemīt unikālas īpašības uzņemt sevī piesārņojošās vielas, piemēram, smagos metālus, tādejādi attīrot augsni, kā arī kaņepes ir viens no tiem augiem, kas ļoti efektīvi asimilē CO₂ (Pleiksnis et.al. 2015), tādēļ sējas kaņepes izmantošana būtu vēl nozīmīgāka un aktuālāka, jo ne tikai tiks samazināts piesārņojums, bet arī dots ieguldījums gaisa kvalitātes uzlabošanā un siltumnīcefekta gāzu saistīšanā. Turklāt šī auga audzēšanā nav nepieciešams izmantot pesticīdus, jo kaņepe var sasniegt pat 3 m garumu, un aug visai ātri, tāpēc spēj izkonkurēt nezāles. Vēl kaņepes lietderību piesārņotu vietu rekultivācijā izceļ tās dziļā un spēcīgā sakņu sistēma – tā var iesniegties 2 līdz 2,5 m dziļumam (Strazds et al.2012) un šādā dziļumā arī attīrīt augsni.

Pārskatot interneta resursus, var secināt, ka Latvijā fitorekultivācija nav pārāk populāra un nav veikta sējas kaņepes izmantošana piesārņotu vietu rekultivācijā, kā arī nav bijis daudz pētījumu par šo tēmu. Tādēļ šis bakalaura darbs varētu sniegt informāciju, par kaņepes izmantošanas iespējām arī šajā jomā, sniedzot plašākas zināšanas par piesārņotu vietu rekultivāciju ar fitorekultivācijas metodēm. Iespējams, ka nākotnē šāda veida pētījumus varētu turpināt, šo tēmu izvēršot plašāk, lai kaņepju audzēšana piesārņotās vietās varētu kļūt par atzītu, lietderīgu un efektīvu metodi piesārņotu vietu rekultivācijā.

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot, cik efektīvi sējas kaņepe (*Cannabis sativa L.*) spēj akumulēt dažādus ķīmiskos elementus, augot augsnēs dzelzceļa tuvumā Vecumnieku pagastā.

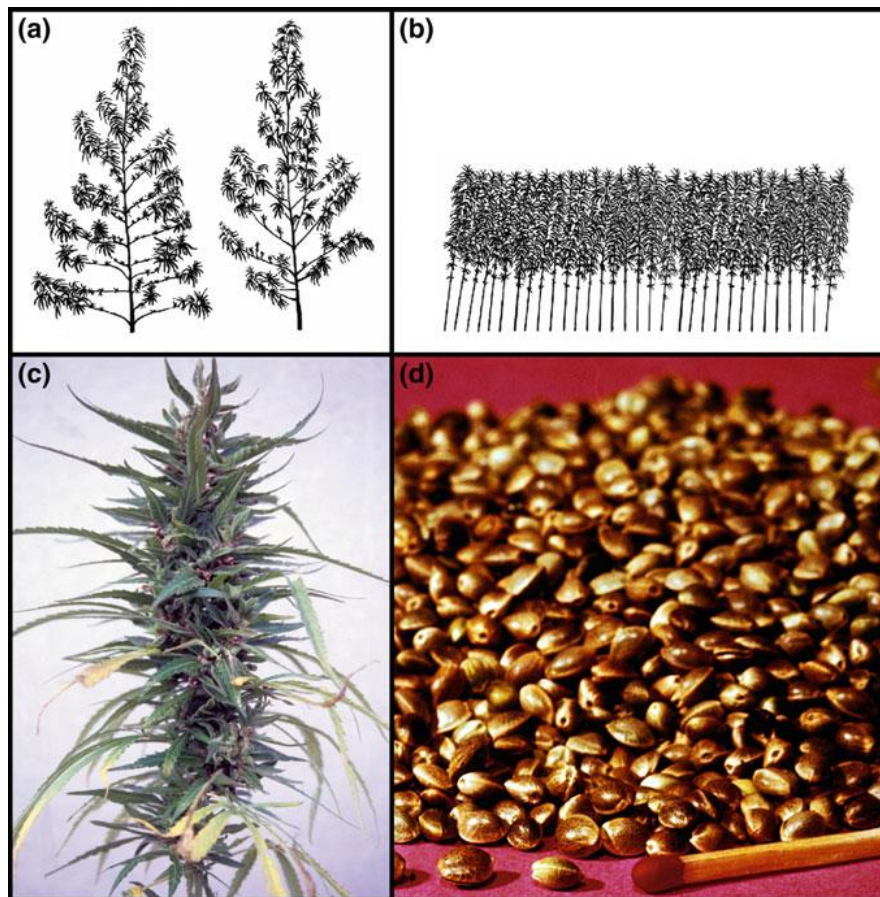
Darba uzdevumi ir :

1. Sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) stādu audzēšana augsnēs dažādā attālumā no dzelzceļa.
2. Izaudzēto stādu paraugu ķīmiska analīze, nosakot ķīmisko elementu koncentrāciju.
3. Augsnes paraugu ķīmiska analīze, nosakot ķīmisko elementu koncentrāciju.

1.LITERATŪRAS APSKATS

1.1 Sējas kaņepes *Cannabis sativa L.* Vispārīgs raksturojums

Sējas kaņepes *Cannabis sativa L.* pieder *Cannabinaceae* jeb kaņepju dzimtai, taču agrāk tās tikušas pieskaitītas gan zīdkoku (*Moraceae*) gan nātru (*Urticaceae*) dzimtām (Strazds et al. 2012). Arī tālākā klasifikācija sugas iekšienē ir visai sarežģīta, jo selekcijas rezultātā ir radīti dažādi sējas kaņepes paveidi, kas ir atšķirīgi gan izskata, gan īpašību ziņā. Izšķir divus galvenos sējas kaņepes paveidus. Šķiedras kaņepe tiek kultivēta šķiedras ieguvei, šie augi sasniedz vislielāko garumu, to šķiedrai ir vislielākā izturība. Kaņepes, kas tiek audzētas sēklas ieguvei atšķiras ar lielākām sēklām, mazāku garumu, tās vairāk tiek pielietotas pārtikā (Small 2017). Galvenās atšķirības starp šķiedras un sēklas kaņepju paveidiem parādītas 1.1.attēlā.



1.1.att. Galvenās šķiedras un sēklas kaņepju paveidu atšķirības. **a** attēlota šķiedras kaņepe, kas ir lielāka izmēros. **b** un **c** ir attēlots sēklas kaņepju paveids, kas atšķiras ar mazāku garumu un kompaktāku sēklu novietojumu, kas ļauj vieglāk iegūt sēklu ražu (Small 2017).

Latvijā vispopulārākais ir tieši sēklu kaņepju paveids, jo pastāv plašas iespējas kaņepju sēklu izmantošanā, taču tiek iegūta un pārstrādāta arī kaņepju šķiedra. Ir divas vietējās Latvijas

kaņepju šķirnes, kas ir reģistrētas Eiropas augu šķirņu katalogā – šķirnes ‘Adzelvieši’ un ‘Pūriņi’ – kas ir arī vienīgās ģenētisko resursu saglabājamās kaņepju šķirnes. Vēl populāra ir arī somu šķirne ‘Fenola’, kas tāpat kā abas iepriekš minētās šķirnes ir vairāk piemērotas sēklu iegūšanai. Šķiedras iegūšanai Latvijā biežāk izmanto šķirnes ‘Uso’ un ‘Zenit’ (Kronberga, Pāvula S.a.).

Sējas kaņepe ir viengadīgs, 50 – 200 cm garš lakstaugs, kas izceļas ar specifisku smaržu (Strazds et al. 2012). Šis ir viens no vecākajiem kultūraugiem, no kura tiek iegūtas sēklas, eļļa un šķiedra. Arheoloģiskie pētījumi liecina, ka sējas kaņepes izcelsmes vieta ir Ķīna, no kurienes tās ir izplatījušās pa Vidējiem Austrumiem, Āfriku un Eiropu, un 16.gadsimtā arī pa Ameriku (Chandra et al. 2017).

Kaņepe ir divmāju augs – vīrišķie un sievišķie ziedi atrodas uz dažādiem augiem, taču selekcijas rezultātā ir iegūta arī vienmājas versija. Stublājs ir stāvs, nedaudz šķautņains, vienkāršs, var arī zarot, tas nogatavošanās gaitā pārkokojas. Lapas ir ar kātu, uz stublāja pretējas, bet augšējās var būt arī pamīšus. Lapas plātne ir piecstaraini vai septiņstaraini dalīta lancetiskās vai lineārās plūksnās ar smailu galu un zāgzobainu malu. Ziedi blāvi zaļi ar purpursarkanām drīksnām – vīrišķie ziedi atrodas zarainās skarveida ziedkopās, to apziednis ir kausveidīgs ar skropstanīnu malu, bet sievišķie ziedi novietojušies seglapu žāklēs vārpveida ziedkopās, to apziednis ir īss, kausveidīgs. Zied jūnijā – jūlijā, auglis ir brūns, spīdīgs riekstiņš, kas var saturēt līdz pat 35 % eļļas. Kaņepēm ir labi attīstīta mietsakne, no kuras aug liels skaits sazarotu sānsakņu. Atkarībā no augsnes īpašībām, mietsakne var iestiepties 2 – 2,5 m dziļumā, savukārt sānsaknes var izplesties 60 – 80 cm rādiusā. Sievišķajiem augiem vienmēr ir spēcīgāka sakņu sistēma nekā vīrišķajiem, jo tiem ir ilgāks veģetācijas periods (Strazds et al. 2012).

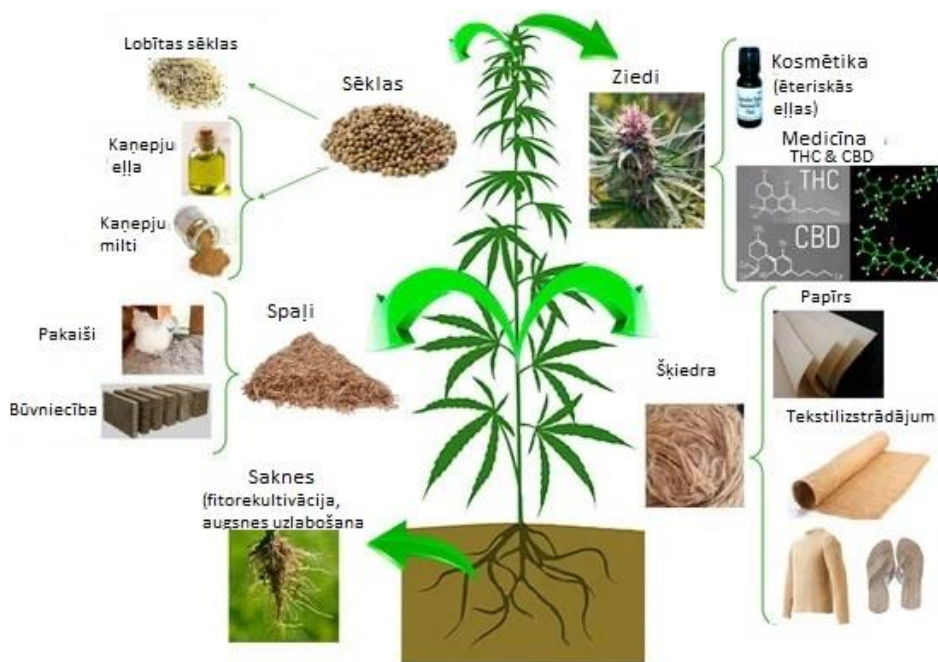
Viena no nozīmīgākajām un arī interesantākajām kaņepes kā augs iezīmēm ir tā spēja ražot uz lipīdiem bāzētus dabiskus savienojumus, ko sauc par kanabinoīdiem. Ir identificēti vairāk nekā 100 dažādi kanabinoīdi, kas atšķiras gan ar sastāvu, gan ietekmi (Vagi et al. 2020). Viszināmākais no tiem ir tetrahidrokanabidiols (THC), kam piemīt narkotiskas īpašības, tomēr sējas kaņepē šīs vielas saturs ir ļoti niecīgs – lai sējas kaņepes drīkstētu audzēt, Eiropas Savienībā ir noteikts THC koncentrācijas limits, kas nedrīkst pārsniegt 0,2% (EMCDDA 2018). Citi ne – narkotiskie savienojumi ir kanabidiols (CBD), kam piemīt izteiktas ārstnieciskas īpašības, kanabidiola skābe (CBDA), kanabigerols (CBG) un kanabihromēns (CBC) (Vagi et al. 2020). Ir dažādi pieņēmumi par kanabinoīdu nozīmi augā, viens no tiem ir, ka kanabinoīdiem varētu būt zināma loma kaņepes aizsardzībā no UV starojuma (Bilodean et al. 2019).

Sējas kaņepes tiek audzētas ļoti dažādos pasaules reģionos, un tas norāda uz augs plašo spēju pielāgoties dažādiem vides apstākļiem. Tomēr arī kaņepi ir prasības pret atbilstošiem augsnes un klimata apstākļiem, lai tā augtu optimāli un nestu vislabāko ražu. Kaņepes var augt uz dažādām augsnēm, taču vispiemērotākās būtu ar organiskām vielām bagātas smilšmāla augsnes, kas ir labi aerētas, ar labu ūdens noturēšanas spēju. Optimālais augsnes pH ir ap 6, jo kaņepes slikti aug skābās augsnēs. Šis augs ir labi piemērots Latvijas klimata apstākļiem, jo nav pārāk prasīgas pret temperatūru – piemēram, 8 – 10 °C temperatūrā sēklu dīgšana prasītu 8 – 10 dienas, taču tiek uzskatīts, ka optimālākā gaisa temperatūra būtu starp 16 un 27 °C, lai gan kaņepe var

izturēt arī līdz – 5 °C lielu salu. Vislielākais mitruma daudzums ir nepieciešams pirmajās sešās augšanas nedēļās, pēc tam kaņepe spēj izturēt arī sausākus apstākļus dziļo sakņu dēļ. Sējas kaņepe tiek uzskatīta par kultūru, ko var audzēt bez pesticīdiem, jo tā efektīvi noēno nezāles, kā arī to apdraud ļoti maz kaitēkļu (Adesina et al. 2020).

1.2 Sējas kaņepes *Cannabis sativa* L. pielietojums

Kaņepes dzimtene ir Āzija, no kurienes šis augs ir izplatījies pa visu pasauli. Audumi no kaņepju šķiedras tika veidoti jau 8000 gadus pirms mūsu ēras, kas padara sējas kaņepi par vienu no vecākajiem kultūraugiem pasaulē. Šis ir augs ar ārkārtīgi plašu pielietojumu sākot ar celtniecības materiālu un audumu ražošanu līdz pat pārtikai un biomasas ražošanai (Crini et al. 2020). Grafiski plašās kaņepes izmantošanas iespējas ir parādītas 1.2.attēlā.



1.2.att. Kaņepes plašās izmantošanas iespējas dažādās nozarēs (Farinon 2020).

Viens no pasaulē izplatītākajiem sējas kaņepju audzēšanas mērķiem ir šķiedras ieguve, kuras tālāka pārstrāde sniedz plašās izmantošanas iespējas. Kaņepju šķiedra ir viens no izturīgākajiem un noturīgākajiem dabiskajiem materiāliem, kuru pielietojums ietver tādas jomas kā tekstilrūpniecība, celtniecības materiālu ražošana, papīra ražošana, kā arī to var izmantot dzīvnieku pakaišiem. Izšķir divus kaņepju šķiedras veidus: pirmais ir garā ārējā šķiedra, ko vairāk izmanto papīra industrijā un kompozītmateriālu ražošanā, savukārt otrs veids ir īsā, iekšējā šķiedra, ko izmanto dzīvnieku pakaišiem un būvniecībā (Adesina et al. 2020).

Kā jau minēts, viens no šīs šķiedras pielietojuma veidiem ir audumu ražošana. Audumam no kaņepju šķiedras piemīt labas izturības īpašības, tas ir labi elpojošs, spēj labi uzturēt vienmērīgu valkātāja temperatūru, kā arī pasargāt no UV stariem. Dēļ šīs augstās izturības, audumus no kaņepju šķiedras izmanto arī tauvu, tīklu un buru izgatavošanā. Audumi no kaņepju šķiedras vēsturiski ir ļoti plaši izmantoti – vecākais zināmais audums ir izgatavots no kaņepju šķiedras, tāpat arī Levi Strausa oriģinālie džinsi un pirmais ASV karogs (Crini et al. 2020).

Vēl viens pielietojums kaņepju šķiedrai ir papīra ražošana – šāds papīrs tika veidots jau Senajā Ķīnā. Kaņepju papīrs ir izturīgāks, labāk panes mitrumu, kā arī laika gaitā tik ļoti nenodzeltē kā no koksnes gatavotais papīrs. Interesanti, ka pirmās Bībeles kopijas bija veidotas no kaņepju papīra, kā arī ASV konstitūcija tika rakstīta uz šāda papīra. (Crini et al. 2020). Kaņepju šķiedras materiāli tiek plaši izmantoti arī būvniecībā, piemēram, kā siltināmie materiāli. Šiem materiāliem piemīt tādas noderīgas īpašības, kā ūdens un uguns izturība, viegls svars, izturība, zemas izmaksas, kā arī noturība pret kaitēkļiem un pelējumu. Kaņepju spaļi ir lieliski pakaiši mājdzīvniekiem, piemēram, zirgiem, jo labi uzsūc mitrumu (Crini et al. 2020).

Otrs plašākais kaņepju izmantošanas veids ir eļļas ieguve un pārtika. Lai gan ir cilvēki, kuriem arī industriālās kaņepes, kuras praktiski nesatur THC, asociējas ar narkotiskām vielām, tomēr lielāka sabiedrības daļa atzīst kaņepju produktu augsto uzturvērtību un ieguvumus veselībai. Kaņepju sēklas satur astoņas cilvēkam ikdienā nepieciešamās aminoskābes (Adesina et al. 2020), kā arī kaņepju sēklu produkti ir lielisks proteīna un tauku avots, turklāt tie nesatur glutēnu. Sēklās esošā eļļa satur omega 6 un omega 3 taukskābes, turklāt tādā attiecībā, kas ir visoptimālākā cilvēka veselībai. Kaņepju sēklas arī satur dažādus vitamīnus, piemēram, vitamīnu E, un dažādas organismam nepieciešamās minerālvielas, kā fosfors, kalcijs, magnijs un dzelzs (Crini et al. 2020). Sējas kaņepju eļļu ir iespējams izmantot ne tikai pārtikā, bet arī kosmētikā un higiēnā, ražojot, piemēram, šampūnus krēmus un losjonus, pateicoties tās pozitīvajām ietekmēm uz matiem, ādu un veselību kopumā (Adesina et al. 2020).

Kaņepes izmantošana dažādās vides nozarēs ir sākusies salīdzinoši nesen. Latvijā, ar labiem rezultātiem, ir veikti pētījumi par sējas kaņepes izmantošanas iespējām bioenerģijas ražošanā, kur atzīts, ka kaņepe šim mērķim labi atbilst arī Latvijas klimatiskajos apstākļos (Poisa, Adamovics 2010). Kaņepju biomasu ir iespējams izmantot bioplastmasas ražošanā, ir tikusi pētīta arī kaņepju izmantošana augsnes attīrīšanā no radioaktīvajiem elementiem, pesticīdiem un smagajiem metāliem, kaņepes pat ir tikušas izmantotas augsņu attīrīšanā Černobiļas katastrofas ietekmētajā apkārtnē. (Crini et al. 2020). Turklāt vēl viens kaņepju audzēšanas pozitīvais aspekts ir fakts, ka šie augi ļoti efektīvi spēj asimilēt atmosfērā esošo CO₂, pat 4 – 5 reizes efektīvāk kā augošs mežs (Pleiksnis et al. 2015), tādējādi nesot tiešu labumu gaisa kvalitātes uzlabošanā.

1.3 Augsnes piesārņojums ar smagajiem metāliem

Saskaņā ar likuma “Par piesārņojumu” definīciju, piesārņota vieta ir augsne, zemes dzīles, ūdens, dūņas, kā arī ēkas, ražotnes vai citi objekti, kas satur piesārņojošas vielas, savukārt potenciāli piesārņota vieta - augsne, zemes dzīles, ūdens, dūņas, kā arī ēkas, ražotnes vai citi

objekti, kuri, pēc nepārbaudītas informācijas, satur vai var saturēt piesārņojošas vielas (Par piesārņojumu 2001).

Ir dažādi veidi, kā klasificēt augsnes piesārņojumu. Viens no tiem - iedalījums punktveida un difūzajā piesārņojumā : punktveida augsnes piesārņojumu izraisa konkrēts objekts vai notikums, piemēram, noplūde, bet difūzā piesārņojuma izcelsme ir grūtāk identificējama, tas var būt konstatējams uzreiz lielās platībās, un rasties, piemēram, no atmosfēras nosēdumiem. Vēl augsnes piesārņojumu var klasificēt pēc piesārņotāju veida : organiskie piesārņotāji, piemēram, piesārņojums ar naftas produktiem, pesticīdiem, neorganiskie piesārņotāji, kas iedalās nemetāliskajos un metāliskajos elementos, no kuriem smagie metāli ir viens no būtiskākajiem augsnes piesārņotājiem, jo nav bioloģiski noārdāmi un uzkrājas gan augsnē, gan dzīvajos organismos (Rodriguez Eugenio et al. 2018).

Jēdziens “smagie metāli” attiecas uz metālu grupu ar relatīvi lielu atommasu, kas pārsniedz $4,5 \text{ g/cm}^3$ un augstu blīvumu, kas, nonākot vidē, rada toksicitātes risku. Smago metālu avoti var būt dažādi – sākot no raktuvēm un rūpnīcām, līdz pat degvielai, krāsām un atmosfēras nosēdumiem, kas rodas sadegot fosilajiem kurināmajiem. Izplatītākie no tiem ir, piemēram, svins, kadmījs, cinks, varš, dzīvsudrabs, niķelis, kobalts, hroms un citi (Rodriguez Eugenio et al. 2018). Smago metālu bīstamību rada jau pieminētā uzkrāšanās vidē, ietekme uz dabas procesiem un dzīvajiem organismiem augstās toksicitāte, kā arī kaitējums veselībai, piemēram, kancerogēnās īpašības (Pasricha et al. 2021).

Tā kā, atkarībā no augsnes īpatnībām, nelielos daudzumos dažādi smagie metāli augsnē var atrasties tās minerālā sastāva dēļ, vai nonākt augsnē citu dabisku procesu rezultātā, piemēram, vulkānu izvirdumos (Rodriguez Eugenio et al. 2018), tiek noteiktas robežvērtības smago metālu saturam augsnēs, atkarībā no augsnes granulometriskā sastāva. Latvijā šādas robežvērtības ir noteiktas varam, svinam, cinkam, niķelim, arsēnam, kadmijam, hromam un dzīvsudrabam. Izšķir mērķlielumu (A), kas ir vērtība, kas norāda maksimālo līmeni, kuru pārsniedzot nevar nodrošināt ilgtspējīgu augsnes un grunts kvalitāti, piesardzības robežlielumu (B), ar ko apzīmē maksimālo piesārņojuma līmeni, kuru pārsniedzot iespējama negatīva ietekme uz cilvēku veselību vai vidi, kā arī līmeni, kāds jāsasniedz pēc sanācijas, ja sanācijai nav noteiktas stingrākas prasības, un kritisko robežlielumu (C), kas norāda, ka, to sasniegto vai pārsniedzot, augsnes un grunts funkcionālās īpašības ir nopietni traucētas vai piesārņojums tieši apdraud cilvēku veselību vai vidi (Noteikumi par augsnes .. 2005). Šie lielumi apkopoti 1.1 tabulā.

Latvijas augsnes kvalitātes normatīvi (Noteikumi par augsnes .. 2005)

Metāls, mērvienība	Smilts			Mālsmilts			Smilšmāls			Māls		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Cu, mg/kg	4	30	150	7	40	150	12	50	150	19	60	150
Pb, mg/kg	13	75	300	13	100	500	16	100	500	23	200	500
Zn, mg/kg	16	250	700	24	250	700	46	350	700	70	350	700
Ni, mg/kg	3	50	200	8	75	200	16	75	200	28	100	200
As, mg/kg	2	10	40	2,5	10	40	3	15	40	5,5	20	40
Cd, µg/kg	80	3000	8000	90	3000	8000	180	4000	8000	200	4000	10000
Cr, mg/kg	4	150	350	11	150	350	22	170	350	40	170	350
Hg, µg/kg	250	2000	10000	540	2000	10000	800	3000	10000	800	3000	10000

Tā kā dažiem no smagajiem metāliem ir nozīmīga loma un funkcijas dzīvajos organismos, tad smagos metālus mēdz iedalīt divās grupās – pirmajā grupā ietilpst dzelzs, mangāns, varš, kobalts, cinks, selēns un molibdēns, kas ir mikroelementi, un to negatīvā ietekme izpaužas pie palielinātām koncentrācijām, savukārt otrajā grupā ietilpst tādi smagie metāli, kā arsēns, kadmījs, svins, dzīvsudrabs, plutonijs, kuri neveic nekādas funkcijas dzīvajos organismos un ir ļoti toksiski (Gonzalez Heano, Ghneim-Herrera 2021). Turpmāk aplūkoti nozīmīgākie smagie metāli augsnē, to antropogēnie avoti un negatīvā ietekme.

Kadmījs ir viens no bīstamākajiem augsnes piesārņotājiem, kas augsnē var atrasties gan dabisku, gan antropogēnu procesu rezultātā. Dabā kadmījs atrodas dažādu iežu sastāvā, kā arī var nonākt augsnē pateicoties tādiem faktoriem kā vulkānu izvirdumi vai mežu ugunsgrēki. Izplatītākie antropogēnie kadmija avoti ir krāsaino metālu ieguve, dzelzs un tērauda ražošana, ogļu dedzināšana, kā arī minerālmēsļu un notekūdeņu dūņu izmantošana lauksaimniecībā. Tā kā tiek izmantoti kadmiju saturoši fosfātu mēslošanas līdzekļi, kadmija saturs lauksaimniecības augsnēs var būt augstāks nekā teritorijās, kuras lauksaimniecībā neizmanto. Eiropā vidējais kadmija saturs lauksaimniecības augsnēs ir 0,06 – 0,6 mg/kg. No lauksaimniecības augsnēm kadmījs var tikt pārnesti uz augiem, kur tas uzkrājas, tādējādi nonākot barības ķēdē (Bandow, Simon 2016).

Kobalts Zemes garozā ir salīdzinoši retāk izplatīts, taču tāpat sastopams dažādu iežu sastāvā. Šis ir viens no smagajiem metāliem, kas ir nozīmīgs mikroelements augiem un dzīvniekiem, tas ietilpst vitamīna B12 sastāvā. Tomēr, lai arī kobaltam ir liela nozīme, augstas kobalta koncentrācijas var radīt piesārņojumu un apdraudēt veselību. Antropogēnie kobalta avoti ir fosilā kurināmā sadedzināšana, vara un niķeļa kausēšana, akumulatoru ražošana, fosfātu mēslošanas līdzekļu izmantošana. Visvairāk kobalta piesārņojumam ir pakļautas augsnes rūpniecības un transporta teritoriju tuvumā (Jiang et al. 2022).

Hroms ir viens no pasaulē nozīmīgākajiem piesārņotājiem savas lielās izplatības un augstā toksiskuma dēļ. Tāpat kā lielākā daļa smago metālu, arī hroms augsnē var atrasties dabisku apstākļu dēļ, tomēr būtiskākais ir antropogēnais piesārņojums. Hroma nozīmīgākie avoti ir tā savienojumu izmantošana dažādos rūpniecības procesos. Hroms vidē ir sastopams galvenokārt trīsvērtīgajā Cr(III) un sešvērtīgajā Cr(IV) stāvoklī. Cr(III) ir augiem un dzīvniekiem nepieciešams mikroelements, kamēr Cr(IV) ir ļoti toksisks un tam piemīt pat mutagēna un kancerogēna iedarbība (Bedemo et al. 2016).

Niķelis dabiski augsnē var atrasties iežu sastāvā, vai nonākt ar atmosfēras nosēdumiem, taču antropogēnie niķeļa avoti ir sakausējumu ražošanas, rūpniecības, krāsvielu ražošanas, rūpnieciskajiem notekūdeņiem. Nelielās devās niķelis ir būtisks mikroelements augiem, arī dzīvniekiem, bet augstākās koncentrācijās rada toksiskumu, var izraisīt vēzi, ietekmē plaušu darbību. Kā citi smagie metāli, arī niķelis var vidē un dzīvajos organismos uzkrāties, radot ilglaicīgas sekas (Naggar et al. 2021).

Varš ir viens no augu augšanai neaizstājamajiem mikroelementiem, tomēr pārāk augstas vara koncentrācijas var radīt negatīvas sekas. Dabā varš ir samērā plaši izplatīts tam atrodoties augsnē un iežos, bet vara antropogēnie avoti ir fungicīdu un pesticīdu pārmērīga lietošana, rūpniecība, notekūdeņi, lopkopības teritorijās piesārņojuma avoti var būt arī ar varu bagāti cūku un mājputnu mēsli. Nepiesārņotās lauksaimniecības augsnēs vara koncentrācija svārstās no 5 – 30 mg/kg, kas ir arī optimālais vara saturs augsnē augiem (Adrees et al. 2015).

Molibdēns arī ir viens no mikroelementiem, taču tā nepieciešamās koncentrācijas ir nelielas. Nepiesārņotās augsnēs vidējā molibdēna koncentrācija pasaulē ir 1,1 mg/kg. Molibdēns tiek uzskatīts par samērā jaunu piesārņotāju, tā antropogēnie avoti ir kalnrūpniecība, smērvielu un krāsvielu ražošana, sakausējumi, dažādi katalizatori. Dzīvniekiem pārāk augstas molibdēna koncentrācijas var izraisīt anēmiju, augšanas aizkavēšanos un pat priekšlaicīgu nāvi (Yang, Wang 2021).

Svins ir ļoti toksisks pat mazās koncentrācijās, turklāt ir viens no tiem smagajiem metāliem, kas nav nepieciešams augu augšanai un attīstībai, kas padara to par vienu no bīstamākajiem augsnes piesārņotājiem. Tā kā svins ir ticis izmantots jau pirms 1000 – 3000 gadiem, turklāt tas bioloģiski nenoārdās, tā uzkrāšanās augsnē un piesārņojuma veidošanās ir notikusi ļoti ilgā laika periodā (Orellana et al. 2019). Svina antropogēnie avoti ir krāsvielu un akumulatoru ražošana, svinu saturošas degvielas, lodmetālu izmantošana, kalnrūpniecība, pesticīdu izmantošana, keramikas rūpniecība, svinu saturošas munīcijas izmantošana un citi (Rejendran et al. 2022). Augstas svina koncentrācijas augsnē ietekmē augu augšanu, kavē dīgšanu, barības vielu uzņemšanu, fermentu aktivitāti un citus toksiskuma izraisītus riskus, turklāt, uzkrājoties augu audos, svins nonāk barības ķēdē (Zulfiqar et al. 2019).

Cinks Zemes garozā ir samērā plaši izplatīts, tas ietilpst dažādu iežu un minerālu sastāvā, kā arī ir 23 izplatītākais elements augsnē. Cinks ir arī nozīmīgs mikroelements augiem un dzīvniekiem, tomēr pārāk lielas koncentrācijas rada toksicitātes risku, arī rada fotosintēzes

traucējumus augiem. Dabiskais cinka līmenis augsnēs svārstās no 10 – 100 mg/kg. Antropogēnie cinka avoti, kas rada piesārņojumu ir cinka ieguve un kausēšana (Natasha et al. 2022).

Šāda piesārņojuma bīstamības dēļ ir svarīgi censties nepieļaut smago metālu nonākšanu vidē, bet ja tas ir noticis – veikt piesārņotās vietas rekultivāciju.

1.4 Piesārņotu vietu rekultivācija

Ir svarīgi saglabāt tīru apkārtējo vidi, lai ilgtermiņā nodrošinātu labvēlīgus, veselību neapdraudošus dzīves apstākļus gan mums pašiem, gan citiem dzīvajiem organismiem. Tādēļ, ja piesārņojums jau ir nonācis apkārtējā vidē, ir jāveic piesārņotās vietas rekultivācija, kas dažos literatūras avotos tiek dēvēta arī par sanāciju. Ar jēdzienu rekultivācija jeb sanācija saprot piesārņotas vietas attīrīšanu un atveseļošanu vismaz līdz tādai pakāpei, ka turpmāk cilvēka veselība vai vide netiek apdraudēta un attiecīgo teritoriju iespējams izmantot noteiktai saimnieciskai darbībai (Par piesārņojumu 2001).

Ir ļoti daudz dažādu veidu, kā piesārņojums nonāk apkārtējā vidē. Ir skaidrs, ka vislielāko piesārņojumu rada tieši rūpniecība, taču liela nozīme ir arī transportam, militārajai darbībai un lauksaimniecībai. Piesārņojums no šīm nozarēm var būt gan neorganisks, piemēram, piesārņojums ar smagajiem metāliem, gan arī organiskas izcelsmes, piemēram, piesārņojums ar naftas produktiem vai dažādiem pesticīdiem (Kibblewhite 2019). Ir svarīgi izvēlēties pareizās rekultivācijas metodes atkarībā no piesārņotās vietas īpatnībām un piesārņojuma veida.

Pastāv dažādas vides rekultivācijas metodes. Visbiežāk šīs metodes iedala *in situ* un *ex situ* metodēs. *In situ* nozīmē, ka augsnes, grunts vai gruntsūdeņu piesārņojuma samazināšana vai likvidēšana tiek veikta uz vietas piesārņotajā teritorijā, piesārņoto materiālu fiziski nepārvietojot, savukārt *ex situ* metodes paredz piesārņotā materiāla, piemēram, augsnes vai grunts izrakšanu un pārvietošanu piesārņotās vietas teritorijā, vai arī transportējot to ārpus piesārņotās vietas uz speciāli ierīkotu vietu piesārņojuma attīrīšanai vai uzglabāšanai (Potenciāli piesārņotu vietu ..2019). Otrs rekultivācijas metožu iedalījums ir pēc to pielietojuma un iedarbības veida – izšķir fizikālās, ķīmiskās un bioloģiskās metodes, kuras paralēli var būt gan *in situ*, gan *ex situ* metodes (Lombi, Hamon 2005).

Ex situ metodes ir labāk pielietojamas vietās ar augstu grunta piesārņojuma līmeni. Veicot *ex situ* rekultivāciju, var tikt veikta izrakstās augsnes attīrīšana, apstrādājot to ar dažādiem šķīdumiem, karsējot, izmantotas fotooksidācijas metodes, arī dehalogenizācija un citas metodes (Lombi, Hamon 2005). *Ex situ* priekšrocības ir iespēja darbus uzsākt ātri, turklāt šai metodei nav nepieciešama pastāvīga uzraudzība. Taču risks var rasties piesārņotā materiāla transportēšanas laikā, kā arī metode ir ekonomiski izdevīga tikai ja piesārņotās vietas platība ir neliela. Kā vēl vienu mīnusu var minēt dabiskās ainavas izmainīšanu (Rokasgrāmata piesārņotu vietu plānošanā 2014).

Metožu ziņā *in situ* rekultivācija ir daudzveidīgāka. Tā ietver tādas metodes kā elektrokinētiskā attīrīšana, grunts solidifikācija un stabilizācija jeb cementēšana, piesārņojuma atsūkņēšana no gruntsūdens virsmas, vakuumatīrīšana, arī bioloģiskās rekultivācijas metodes, kas sevī ietver augu izmantošanu (fitorekultivācija) vai mikroorganismu izmantošanu (mikrobioloģiskā rekultivācija) (Rokasgrāmata piesārņotu vietu plānošanā 2014). Salīdzinot ar *ex situ* metodēm, *in situ* priekšrocības ir zemākas izmaksas, mazāki riski apkārtējai videi, kā arī nav nepieciešams izmantot dažādus transportlīdzekļus augsnes vai grunts pārvietošanai (Lombi, Hamon 2005). Tomēr visām metodēm ir savas priekšrocības un trūkumi, kas ierobežo to efektivitāti, tāpēc izvēloties rekultivācijas metodes, ir svarīgi apzināt konkrētās vietas īpatnības, lai varētu izmantot tieši to metodi, kas būs visefektīvākā.

1.5 Fitorekultivācija

Ar jēdzienu fitorekultivācija tiek apzīmēta rekultivācijas metode, kurā piesārņojuma samazināšanu veic augi, piesārņojumu noārdot, uzkrājot vai stabilizējot. Šī rekultivācijas metode ir salīdzinoši jauna, jēdziens “fitorekultivācija” tika radīts 1983.gadā, apvienojot grieķu vārdus *phyto* – augi, un *remedium* – atjaunot, attīrīt. (Tonelli et al.). Salīdzinot ar citām rekultivācijas metodēm, fitorekultivācija ir ekonomiski izdevīga, vienkārša, kā arī estētiski pievilcīga metode. Īpaši piemērota fitorekultivācija ir smago metālu attīrīšanai no augsnes (Shah, Daverey 2020). Ir iespējams izdalīt dažādas fitorekultivācijas stratēģijas, no kurām nozīmīgākās ir fitostabilizācija, fitoekstrakcija, fitovolatizācija un fitofiltrācija (Yan et al. 2020).

Fitostabilizācija izpaužas kā pret piesārņojumu ļoti noturīgu augu izmantošana, lai, pateicoties to plašajai sakņu sistēmai, tiktu samazināta piesārņojošo vielu bioloģiskā pieejamība, novēršot tālāku piesārņojuma izplatīšanos (Shah, Daverey 2020). Šī metode būtu pielietojama gadījumos, kad augsnē ir pārāk augsts piesārņojuma līmenis, kas neatļauj izmantot citas fitorekultivācijas stratēģijas. Fitostabilizācijā izmantojamajiem augiem jāpiemīt tādām īpašībām, kā labi attīstītai, plašai sakņu sistēmai, labai noturībai pret piesārņojumu, kā arī tiem jāakumulē sevī pēc iespējas mazāk piesārņojošo vielu, lai tās nenonāktu barības ķēdēs. Šādi augi ir, piemēram, parastā smilga, ložņu āboliņš, arī koki, piemēram, vītols (Burges et al. 2018).

Fitoekstrakcija ir vispopulārākā un plašāk pielietotā fitorekultivācijas stratēģija, kuras laikā piesārņojums ne tikai tiek mobilizēts augsnē, bet arī pārvietots uz auga virszemes daļām, tādā veidā attīrot augsni. Arī pašā fitoekstrakcijas procesā var izdalīt vairākus posmus : augsnes attīrīšana sākas ar piesārņotāju, kas visbiežāk ir smagie metāli, mobilizāciju augu sakņu zonā, jeb rizosfērā, to uzņemšanu saknēs, kam seko smago metālu jonu pārnese uz auga virszemes daļām (Yan et al. 2020). Visbiežāk metāli uzkrājas vakuolā, bet uzkrāšanās var notikt arī, piemēram, šūnu sienīnās, visbiežāk oksīdu veidā (Gavrilescu 2022). Fitoekstrakcijā izmantojamām augu sugām ir jābūt augstai noturībai pret piesārņotāju toksisko iedarbību, augstai spējai pārvietot piesārņotājus no saknēm uz virszemes daļām, tiem jābūt ātri augošiem ar augstu ražību un biomasu, nepieciešama arī plaša un dziļa sakņu sistēma, kā arī šiem augiem jābūt nepievilcīgiem

augēdājiem un kaitēkļiem, lai nepieļautu piesārņojuma nonākšanu barības ķēdēs (Yan et al. 2020).

Svarīgs ir arī jēdziens par hiperakumulētājiem, ar ko apzīmē augus, kas spēj sevī uzņemt salīdzinoši augstas smago metālu koncentrācijas, neizrādot fitotoksicitātes simptomus. 2017.gadā jau bija zināmas vairāk nekā 700 hiperakumulatoru sugas (Pasricha et al. 2021). Latvijas apstākļos augošās pazīstamākās hiperakumulētāju sugas apkopotas 1.2.tabulā.

1.2.tabula

Hiperakumulētāju sugas (Pasricha et.al. 2021)

Nosaukums	Latīniskais nosaukums	Smagie metāli
Parastā smilga	<i>Agrostis capillaris</i>	As
Mieži	<i>Hordeum vulgare</i>	Hg
Rapsis	<i>Brassica napus</i>	Pb, Zn
Saulespuķe	<i>Helianthus annuus</i>	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn
Sējas lucerna	<i>Medicago sativa</i>	Cr, Pb
Sereptas sinepe	<i>Brassica juncea</i>	Cd, Cr, Zn
Parastā ciņusmilga	<i>Deschampsia cespitosa</i>	As, Cd, Pb, Zn
Parastais kviesis	<i>Triticum aestivum</i>	Pb
Sarkanā auzene	<i>Festuca rubra</i>	Hg
Baltā balanda	<i>Chinopodium album L.</i>	Pb

Galvenās pazīmes, kas augus - hiperakumulētājus atšķir no pārējiem augiem ir : daudz augstāka smago metālu mobilizācijas un spēja un uzņemšanas ātrums, ātrāka smago metālu pārnese no saknes uz auga virszemes daļām, kā arī ievērojama tolerance pret šo piesārņojumu un izcilas detoksikācijas spējas (Pasricha et al.2021).

Fitovolatilizācija ir fitorekultivācijas stratēģija, kurā augi uzņem piesārņojumu no augsnes, un pārvērš toksiskos elementus mazāk toksiskā gaistošā formā lai pēc tam tos izdalītu atmosfērā transpirācijas ceļā. Šādu pieeju ir iespējams izmantot organisko piesārņotāju, arī dažu smago metālu attīrīšanai no augsnes, izmantojot, piemēram, sinepes (Yan et al. 2020). Bieži vien šo metodi izmanto ar dzīvsudrabu piesārņotu augšņu attīrīšanā, pārveidojot dzīvsudraba jonus mazāk toksiskā formā (Pasricha et al. 2021).

Fitofiltrācija no pārējām fitorekultivācijas stratēģijām atšķiras ar to, ka tā tiek izmantota, lai attīrītu piesārņotus virszemes ūdeņus un notekūdeņus, nevis augsni, izmantojot augu saknes, dzinumus, vai jaunus dīgļstus (Yan et.al. 2020). Tiek izmantoti dažādi mitru vietu augi – dažādi ūdens makrofīti, ūdens sūnas, kas spēj efektīvi akumulēt lielu daudzumu piesārņojuma (Sut-Lohmann et al. 2020).

Fitorekultivācijas efektivitāti ietekmē ne tikai augu spēja uzņemt tādu piesārņojumu kā smagos metālus, bet nozīmīga loma ir arī augsnes fizikāli ķīmiskajām īpašībām. Viens no nozīmīgākajiem augsnes faktoriem, kas ietekmē smago metālu pieejamību augiem ir pH.

Augsnes pH, kas ir zemāks par 5 nodrošina augstāku smago metālu mobilitāti un tādejādi padara tos vieglāk pieejamus augiem. Arī organisko vielu daudzums augsnē ir ļoti nozīmīgs – ne tikai

tāpēc, ka tās ir ļoti nepieciešamas augu augšanai, bet arī tāpēc, ka metālu joniem piemīt tieksme veidot spēcīgus kompleksus ar organiskajiem ligandiem, kas padara tos mazāk pieejamus augiem, līdz ar to samazinot fitorekultivācijas efektivitāti (Shah, Daverey 2020). Arī Latvijā veiktā pētījumā apstiprinājās, ka augsnēs ar mazāku organisko vielu saturu augošie augi spēja akumulēt vairāk piesārņojuma, nekā augi, kuri auga augsnes, kas bagātākas ar organiskajām vielām (Vincēviča-Gaile, Kļaviņš 2012). Trešais augsnes faktors, kas ietekmē augu spēju uzņemt augsni piesārņojošās vielas ir tās granulometriskais sastāvs. Tas skaidrojams ar to, ka smalkākai augsnei, piemēram, mālam vai smilšmālam ir lielāks virsmas laukums nekā rupjākai augsnei, piemēram, smiltij, tāpēc tās spēj saturēt daudz lielāku piesārņojuma daudzumu, tādejādi padarot to augiem pieejamāku. Bez šīm augsnes īpašībām svarīgi ir arī ar augiem saistītie mikroorganismi, kas palīdz pārveidot, piemēram, smagos metālus augiem pieejamā formā, arī ietekmē augsnes pH, tādejādi palielinot fitorekultivācijas efektivitāti (Shah, Daverey 2020).

Nozīmīgākās fitorekultivācijas priekšrocības ir zemās izmaksas, metode ir viena no sabiedrībai pieņemtajām, jo netiek veikta tehniska iejaukšanās, arī apkārtnes veģetācija kā koki un krūmi netiek ietekmēti. Vēl jāatzīmē tas, ka fitorekultivācija neietekmē piesārņotās vietas augsni un tās struktūru, augsne šādi var pat tikt labāk pasargāta no erozijas, turklāt izmantoto augu biomasu pastāv iespējas izmantot pēc fitorekultivācijas pabeigšanas, tādejādi neradot liekus atkritumus (Farraji et al. 2016).

Lai arī fitorekultivācijai kā piesārņojuma samazināšanas metodei ir arī dažādi trūkumi, kā piemēram, tā ir salīdzinoši lēns process, jo tā ir atkarīga no augu augšanas ātruma, bioloģiskajiem cikliem, piemērota pārsvarā maz un vidēji piesārņotām vietām, jo vietās ar pārāk augstu piesārņojuma līmeni augi nespēs augt un ies bojā (Shah, Daverey 2020), ir vērts šo metodi turpināt pētīt un pilnveidot, jo tā ir lēta, videi draudzīga un ilgtspējīga rekultivācijas metode, kurai ir liels potenciāls nākotnē. Latvijā fitorekultivācija kā piesārņotu vietu rekultivācijas metode nav veikta, taču ir veikti daži pētījumi, kuros secināts, ka Latvijas apstākļiem piemēroti augi varētu būt lucerna (*Medicago sativa L.*), vītols (*Salix spp.*) un papele (*Populus spp.*) (Valujeva et al. 2018).

1.6 Sējas kaņepes *Cannabis sativa L.* izmantošana fitorekultivācijā

Sējas kaņepes lielais potenciāls attīrīt ar smagajiem metāliem piesārņotas augsnes tika atklāts 1998.gadā Ukrainā, kur kaņepes tika audzētas, lai samazinātu augsnes piesārņojumu Černobiļas apkārtnē (Ahmad et al. 2015). Sējas kaņepei piemīt visas fitorekultivācijai nepieciešamās īpašības - tai ir ļoti augsta spēja akumulēt sevī smagos metālus, kā arī pesticīdus un pat radioaktīvo piesārņojumu. Kaņepes dziļā sakņu sistēma nodrošina augsnes attīrīšanu līdz pat 2 m dziļumam, kā arī saknes var stabilizēt augsni, neļaujot piesārņojumam izplatīties tālāk.

Ekonomiski izdevīgāku kaņepes izmantošanu fitorekultivācijā padara tās lielā biomasa, kas varētu radīt iespējas kaņepi izmantot arī pēc fitorekultivācijas beigām (Rheay et al 2020).

Ir notikuši dažādi pētījumi par sējas kaņepes spēju akumulēt dažādus smagos metālus. Piemēram, Ahmad et al. 2015 pētījumā tika secināts, ka visefektīvāk sējas kaņepe spēj uzņemt varu, kadmiju un niķeli. Šajā pētījumā tika arī noskaidrots, ka kaņepe ir arī visai noturīga pret ilgstošu smago metālu iedarbības izraisīto stresu, kas varētu ļaut šo augu izmantot vietās ar samērā augstu smago metālu koncentrāciju (Ahmad et al. 2015).

Citā pētījumā, kur tika pārbaudīta sējas kaņepes spēja augt ar kadmiju piesārņotās augsnes, tika secināts, ka vislielākajās koncentrācijas kadmiji akumulējas tieši auga saknēs un saknēm ir arī vislielākā noturība pret augstām piesārņotāja koncentrācijām. Taču arī šajā pētījumā apstiprinājās kaņepes spēja izturēt augstas smago metālu koncentrācijas neaizejot bojā (Linger et al. 2005), kas ļauj secināt, ka šī auga izturīgās saknes un augstā tolerances spēja pret ilgstošu smago metālu iedarbību ir vienas no kaņepes izmantošanas fitorekultivācijā lielākajām priekšrocībām, jo sējas kaņepe spēj augt vietās, kur citi augi dēļ augstās piesārņojuma koncentrācijas aizietu bojā.

Ir arī novērots, ka kaņepes smagos metālus dažādās auga daļās akumulē atšķirīgi. Piemēram, De Vos et al. 2022 pētījumā tika novērots, ka, piemēram, svins un cinks lapās uzkrājas lielākos daudzumos, nekā šķiedrās, savukārt kadmiji vairāk uzkrājas tieši šķiedrās. Tika secināts, ka arī dažādām sējas kaņepes šķirnēm piemīt dažādas spējas uzkrāt smagos metālus, kas nozīmē, ka šķirnes izvēle un auga daļas, kurās smagie metāli uzkrājas visvairāk ietekmē potenciālās biomasas tālākas izmantošanas iespējas (De Vos et al. 2022).

Tomēr fakts, ka kaņepes, kas audzētas rekultivācijas mērķiem, uzkrāj smagos metālus praktiski visās auga daļās, ierobežo tās tālāku izmantošanu. Smago metālu koncentrācija augā var būt pārāk augsta, lai būtu pilnībā droši pēc rekultivācijas beigām iegūto biomasu un sēklas izmantot pārtikā vai, piemēram, tekstilrūpniecībā, taču tika atklāts, ka šādi audzētas kaņepes joprojām var izmantot laku vai rūpniecisko eļļu ražošanā no sēklām, kā arī šķiedras iegūšanā, jo ir ticis pierādīts, ka smago metālu akumulācija neietekmē kaņepes šķiedras kvalitāti (Linger et al. 2002). Vēl pēc fitorekultivācijas beigām paveras plašas iespējas iegūto kaņepju biomasu izmantot biodīzeļdegvielas, biogāzes vai bioetanolā ražošanā (Rheay et al. 2020), kas ir ļoti nozīmīgi, jo augsne tiek attīrīta no piesārņojuma, turklāt pēc tam biomasa tiek izmantota videi draudzīgas enerģijas ražošanā, kas palielina šī auga pozitīvo ietekmi uz vidi.

Neraugoties uz daudzajām īpašībām, kas parāda sējas kaņepes piemērotību izmantošanai fitorekultivācijā, spriežot pēc visai nelielā pētījumu daudzuma par šo tēmu, var secināt, ka sējas kaņepe tomēr ir maz izmantota piesārņojuma samazināšanā, vairāk priekšroka tiek dota citām kultūrām. Taču ir notikuši pētījumi par kaņepju biomasas, visbiežāk šķiedras materiālu spējām saistīt smagos metālus, jeb par to biosorbcijas spējām. Izrādās, ka šādi kaņepju šķiedra var tikt izmantota arī ūdeņu attīrīšanā no smagajiem metāliem, turklāt šāda metode ir efektīva, lēta un videi draudzīga (Morin – Crini et al. 2019).

Analizējot pieejamos literatūras avotus par šo tēmu var secināt, ka ir nepieciešams veikt pētījumus par sējas kaņepes izmantošanu piesārņotu vietu rekultivācijā, lai pilnīgāk izprastu šī auga spējas uzkrāt piesārņojošās vielas, kā arī par tālākajām kaņepes izmantošanas iespējām pēc rekultivācijas beigām.

2. MATERIĀLI UN METODEDES

2.1. Izmantotie materiāli

Tika izmantotas sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) šķirnes “Adzelvieši” sēklas, ko audzē z/s “Virši”. Saimniecība, izmantojot bioloģiskās lauksaimniecības metodes, ar sējas kaņepju audzēšanu nodarbojas jau 10 gadus, audzējot kaņepes sēklu ieguvei, no sēklām ražojot dažādus produktus, piemēram, kaņepju eļļu, kaņepju sviestu, grauzdētas kaņepju sēklas u.c. produktus.

Kaņepju šķirne “Adzelvieši” ir Latvijā radīta šķirne, kas ir reģistrēta Eiropas augu šķirņu katalogā. Pateicoties tam, ka šķirne ir radīta Latvijā, tā ir pilnībā adaptējusies augšanai Latvijas klimatiskajos apstākļos. Kā jau šķirne, kas radīta sēklas iegūšanai, arī šķirne “Adzelvieši” izceļas ar labām garšas īpašībām, augstu eļļas saturu sēklās, kā arī ļoti labu uzglabāšanas spēju.

Smago metālu satura noteikšanai tika izmantotās vielas un reaģenti :

- slāpekļskābe (HNO_3), 70% (*ACS Reagent Grade, Sigma-Aldrich*),
- ūdeņraža peroksīds (H_2O_2), 30% (*ACS Reagent Grade, VWR Chemicals*),
- destilēts ūdens.

Augsnes pH un organisko vielu satura noteikšanā izmantotās vielas un reaģenti:

- kālija dihromāts ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$),
- Ortofosforskābe (H_3PO_4)
- Difenilamīna šķīdums sērskābē
- Mora sāls $(\text{NH}_4)_2[\text{SO}_4]\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, (*Roth*)
- Kālija hlorīds (KCl)
- Destilēts ūdens

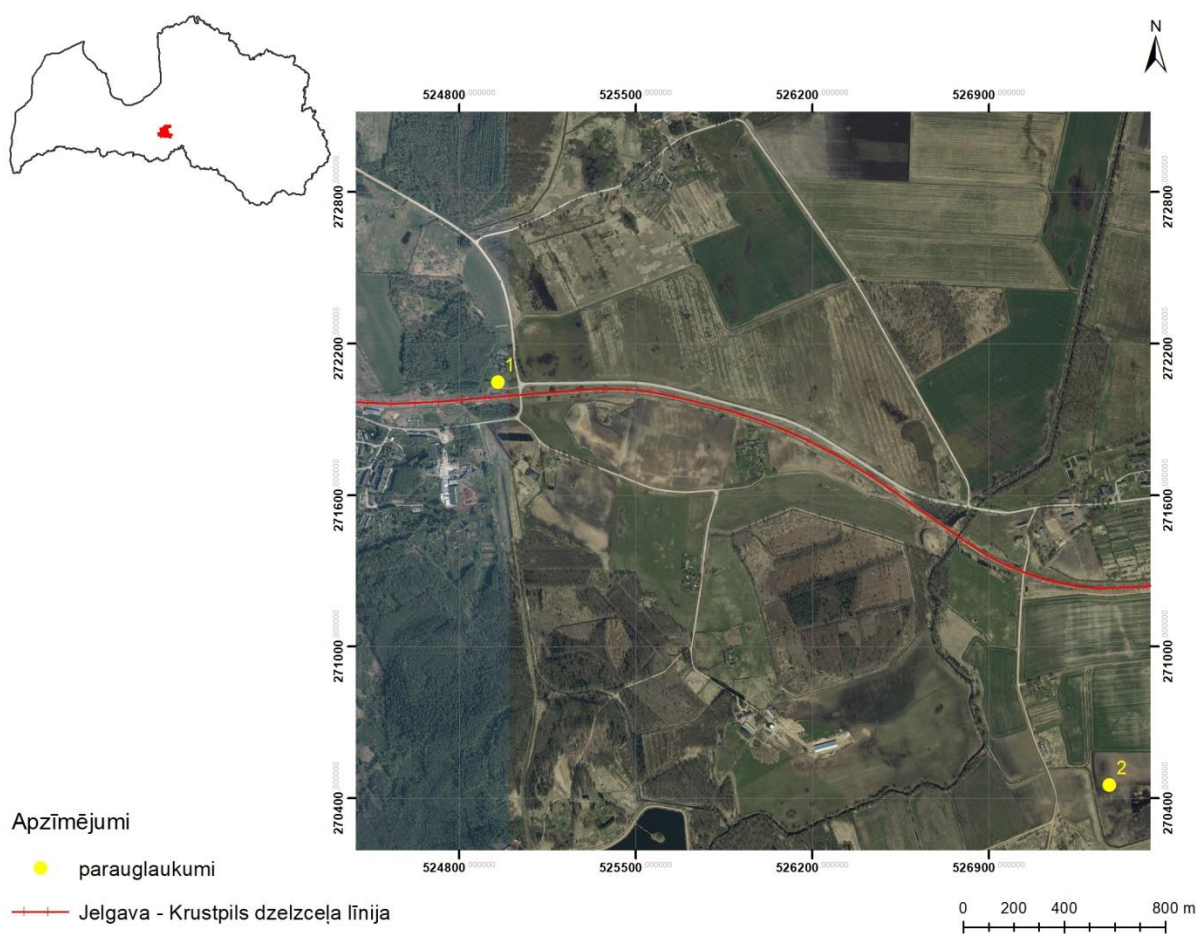
Izmantotie laboratorijas trauki un iekārtas : 0,5 mm siets, 0,25 mm siets, kafijas dzirnaviņas paraugu sasmalcināšanai, analītiskie svāri, pipetes, laboratorijas burciņas, pH-metrs, multifunkcionālais orbitālais ktatītājs BioSan PSU – 20i, elektriskā plītiņa BioSan, mēģenes, teflona kapsulas, mikroviļņu mineralizācijas iekārta Milestone Ethos EASY, induktīvi saistītās plazmas spektrofotometrs ar optiskās emisijas detekciju (ICP – OES) Thermo scientific iCAP 7000 series.

2.2 Paraugu ievākšana

Pētījuma veikšanai tika izvēlēti divi parauglaukumi dažādos attālumos no dzelzceļa līnijas Jelgava – Krustpils Vecumnieku pagastā, parauglaukumu izvietojums kartē redzams 2.1.attēlā. Pirmais parauglaukums atrodas aptuveni 60 m attālumā no dzelzceļa līnijas, pamatojoties uz pieņēmumu, ka tuvāk dzelzceļa līnijai, augsnē varētu būt augstāks smago metālu saturs. Otrs

parauglaukums atrodas aptuveni 780 m attālumā no dzelzceļa līnijas tīrumā, kur jau aptuveni 10 gadus, ievērojot augu sekas nomaiņu tiek audzētas sējas kaņepes.

Augsnes paraugi parauglaukumos tika ievākti pirms kaņepju sēšanas 2021.gada maija sākumā. No katra parauglaukuma tika ievākti paraugi aptuveni 20 cm dziļumā. Papildus parauglaukumos tika noteikts augsnes tips, apakštips, raksturoti augsnes horizonti, to granulometriskais sastāvs, lai labāk varētu aprakstīt augsnes īpašību ietekmi uz smago metālu pārvietošanos no augsnes uz augu. Kaņepju paraugi tika ievākti 2021.gada vasarā trīs dažādās kaņepes attīstības fāzēs. Pirmie paraugi tika ievākti jau augšanas sākuma fāzē drīz pēc izdīgšanas, ievācot jaunus dīgstus.. Pēc tam paraugi tika ievākti ziedēšanas laikā, papildu stublāju un lapu paraugiem ievācot arī ziedu paraugus. Pēdējie paraugi tika ievākti, kad augs jau ir pilnībā nobriedis un izveidojis sēklas, ievācot stublāju, lapu, un arī sēklu paraugus.



2.1..attēls. Parauglaukumu un Vecumnieku pagasta atrašanās vietas kartē. Karti sagatavoja darba autore Arc Map 10.7.1 vidē, par pamatu izmantojot 6.cikla ortofoto.

2.3 Paraugu apstrāde un analīze

Pēc augsnes paraugu ievākšanas, augsne tika izžāvēta un noglabāta pirms nogādāšanas laboratorijā. Pēc tam augsne tika izsijāta ar 0,5 mm sietu, lai atdalītu smalkākās frakcijas, kuras tika izmantotas analīzēm. Kaņepju paraugi pēc ievākšanas tika izžāvēti līdz gaissausiem, pirms analīžu veikšanas tie tika sasmalcināti kafijas dzirnaviņās (*Bosch*).

Kīmisko elementu noteikšana: Izmantojot analītiskos svarus, teflona kapsulās tika iesvērti aptuveni 0,5 g kaņepju paraugu un 0,2 g augsnes paraugu, pierakstot precīzu iesvara masu. Iesvara masas apkopotas tabulā 1.pielikumā. Paraugi tika pārlieti ar 9 mL 70% slāpekļskābes (HNO_3) un 1 mL 30% ūdeņraža peroksīda (H_2O_2). Teflona kapsulas tika noslēgtas un ievietotas mikroviļņu mineralizācijas iekārtā, kur paraugi tika mineralizēti 200 °C temperatūrā 15 minūtes. Pēc kapsulu atdzišanas tās tika atvērtas un paraugi tika filtrēti ar dejonizētu ūdeni līdz 50 mL atzīmei. Gatavie paraugi tika analizēti izmantojot induktīvi saistītās plazmas spektrofotometru ar optiskās emisijas detekciju (ICP-OES Thermo scientific iCAP 7000 series), analīzes veica laborants K.Viligurs.

pH noteikšana: Lai noteiktu augsnes paraugu pH, laboratorijas burciņās tika iesvērti 10 g augsnes paraugu. No katra parauglaukuma augsnes viens paraugs tika apstrādāts ar 50 ml destilēta ūdens, bet otrs ar 50 ml KCl. Paraugi tika likti kratītājā uz 1 stundu, pēc tam izfiltrēti. pH tika noteikts izmantojot pH-metru.

Organisko vielu saturs noteikšana: Izmantojot analītiskos svarus mēģenēs tika iesvērti aptuveni 0,2 g 1.parauglaukuma augsnes un 0,1 g 2.parauglaukuma augsnes. Iesvara masas redzamas tabulā 2.pielikumā. Iesvērtie augsnes paraugi tika pārlieti ar 10 ml kālija dihromāta un likti karsēties uz elektriskās plītiņas uz laiku 5 minūtes no burbuļošanas sākuma. Pēc uzkaršēšanas un atdzesēšanas tika pievienots 2 ml H_3PO_4 un 7 pilieni difenilaīna šķīduma sērskābē. Tālāk paraugi tika titrēti ar mora sāli līdz šķīduma krāsas maiņai uz zaļu. Organisko vielu saturs aprēķināšanai izmantota formula :

$$A=(V_o*2-V_x)*100*K/m,$$

kur :

A – Trūdvielu daudzums, %

V_o – Mora sāls tilpums, kas izlietots titrējot 5 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, ml

V_x – Mora sāls tilpums, kas izlietots titrējot paraugu, ml

m – augsnes iesvara masa, g

K – 0,0010362, I; sērekovala koeficients, kur 1 ml izlietota 0,2 N Mora šķīdums atbilst 0,0010362 g trūdvieļu.

2.4 Aprēķini un datu analīze

Datu apstrāde, attēlošana grafiski, standartnoviržu un standartklūdu aprēķini, kā arī korelāciju matricas izveide tika veikta izmantojot datorprogrammu MS Excel. Karte tika sagatavota datorprogrammā Arc Map 10.7.1.

Piesārņojuma indekss tika aprēķināts izmantojot formulu (Kowalska et al. 2018) :

$$PI = \frac{Cn}{Bn}, \text{ kur}$$

PI – Piesārņojuma indekss

Cn – Ķīmiskā elementa koncentrācija paraugā

Bn – Elementa fona vērtība (*background*) Zemes garozā

Ģeoakumulācijas indekss tika aprēķināts pēc formulas (Sappa et al. 2020) :

$$GI = \ln\left(\frac{Cn}{1,5 \cdot Bn}\right), \text{ kur}$$

GI – Ģeoakumulācijas indekss

Cn – Ķīmiskā elementa koncentrācija paraugā

Bn – Elementa fona vērtība (*background*) Zemes garozā

Tiek izmantots koeficients 1,5, lai koriģētu litogēnās un antropogēnās ietekmes uz fona vērtībām.

Elementu bagātināšanās faktors tika aprēķināts pēc formulas (Sappa et al.2020):

$$EF = \frac{Cn/Cref}{Bn/Bref}, \text{ kur}$$

EF – Elementu bagātināšanās faktors

Cn – Ķīmiskā elementa koncentrācija paraugā

Cref – Atsauces elementa koncentrācija paraugā

Bn – Elementa fona vērtība (*Background*) Zemes garozā

Bref – Atsauces elementa fona vērtība Zemes garozā

Kā atsauces elementi visbiežāk tiek izvēlēti, piemēram, Al, Fe, Mn, Ti, kam raksturīga augsta stabilitāte augsnē, nav novērojama vertikālā mobilitāte. Šajā bakalaura darbā kā atsauces elements tika izvēlēts Al, jo tas ir augsnē ļoti stabils un ietilps daudzu minerālu sastāvā.

3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1 Augšnes paraugu raksturojums

Ievācot augsnes paraugus tika noteikts augsnes apakštīps un granulometriskais sastāvs. Augšnes profili no abiem parauglaurkumiem redzami 3.pielikumā. Sākotnēji tika noteikts, ka abas augsnes ir velēnu podzolaugsnes, bet pēc organisko vielu satura 2.parauglaurkuma augsne vairāk atbilst trūdainajai podzolaugsnei. 1.parauglaurkuma granulometriskais sastāvs gan virskārtā, gan dziļāk ir smalka smilts, bet 2.parauglaurkuma augsnei – virskārtā smalka smilts, kas vēlāk pāriet mālsmilī, un 70 cm dziļumā smilšmālā.

Augsnes pH: pH ir liela nozīme ļoti daudzos augsnes procesos, tajā skaitā dažādu ķīmisko elementu pieejamībā augiem. Tika noteikts gan aktīvais skābums ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), gan apmaiņas un aktīvā skābuma summa (pH_{KCl}). Iegūtie rezultāti atainoti 3.1.tabulā. Aktīvo skābumu veido brīvie H^+ joni, kas atrodas augsnes šķīdumā, savukārt apmaiņas skābumu rada uz augsnes koloīdiem absorbētie H^+ un Al^{3+} joni. Aktīvā un apmaiņas skābuma summa veido augsnes kopējo skābumu, tāpēc pH_{KCl} plašāk tiek izmantots augsnes raksturošana (Nikodemus et al. 2008).

3.1.tabula

Augsnes paraugu pH

Parauglaurkuma Nr.	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}
1.	6,97	6,15
2.	6,61	5,90

Redzams, ka otrajā parauglaurkumā ir nedaudz lielāks augsnes skābums, tomēr atšķirības nav pārāk lielas, abas augsnes varētu raksturot kā viegli skābas. Salīdzinot ar aplūkoto literatūru var secināt, ka abu parauglaurkumu augsnes pH ir optimāls sējas kaņepes audzēšanai.

Organisko vielu saturs: Organiskās vielas ir viens no nozīmīgākajiem augsnes auglības rādītājiem, kā arī tās spēj saistīt un veidot kompleksus savienojumus ar metālu joniem, kas var samazināt smago metālu pieejamību augiem (Nikodemus et al. 2008). Iegūtie rezultāti atainoti 3.2.tabulā.

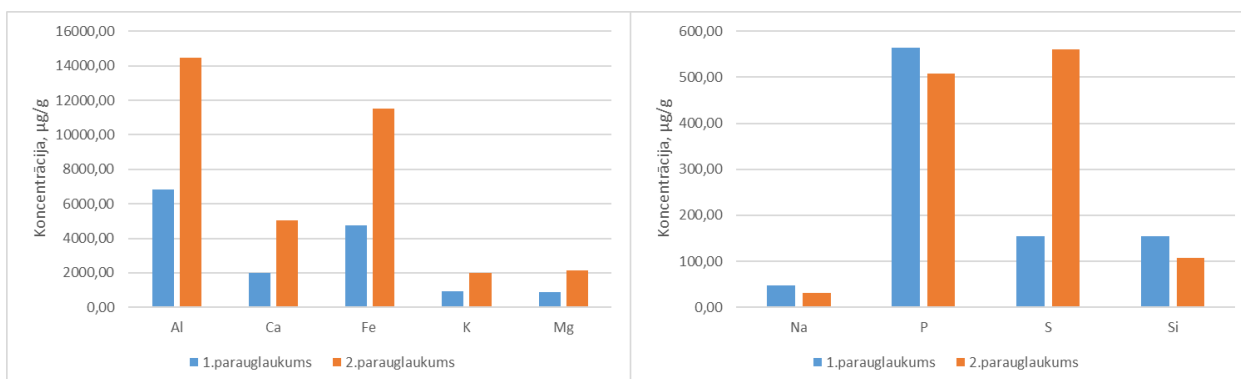
3.2.tabula

Organisko vielu saturs augsnes paraugos

Parauglaurkuma Nr.	Atkārtojums	Organisko vielu daudzums, %
1.	1.	12,46
	2.	6,25
	3.	9,61
2.	1.	17,03
	2.	6,17
	3.	15,87

Aplūkojot iegūtos rezultātus, var secināt, ka 1.parauglaurkuma 1.atkārtojums un 2.parauglaurkuma 2.atkārtojums diezgan ievērojami atšķiras no pārējām vērtībām, tāpēc aprēķinot standartnovirzi un standartkļūdu šie dati netika ņemti vērā. Tādejādi novērtēts, ka 1.parauglaurkuma organisko vielu saturs ir $7,93 \pm 1,19$ % un 2.parauglaurkumā $16,45 \pm 0,58$ %. Ņemot vērā, ka velēnu podzolaugsnēs organisko vielu saturs parasti ir 1,5 – 4%, bet nepārsniedz 10%, var secināt, ka abas augsnes ir bagātas ar organiskajām vielām, turklāt otrā parauglaurkuma augsne pēc apakštipa vairāk atbilst trūdainajai podzolaugsnei, kurā organisko vielu saturs Ap horizontā sasniedz 10 – 20 % (Nikodemus et al. 2008).

Makroelementu saturs: Par makroelementiem sauc tos ķīmiskos elementus, kuru daudzums augsnē pārsniedz 0,001% . Tiem ir arī ļoti liela nozīme augu augšanā un attīstībā (Nikodemus et al. 2008). Noteikto makroelementu (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Si) koncentrācija augsnes paraugos parādīta grafiski 3.1.attēlā.



3.1.attēls. Makroelementu koncentrācija augsnes paraugos.

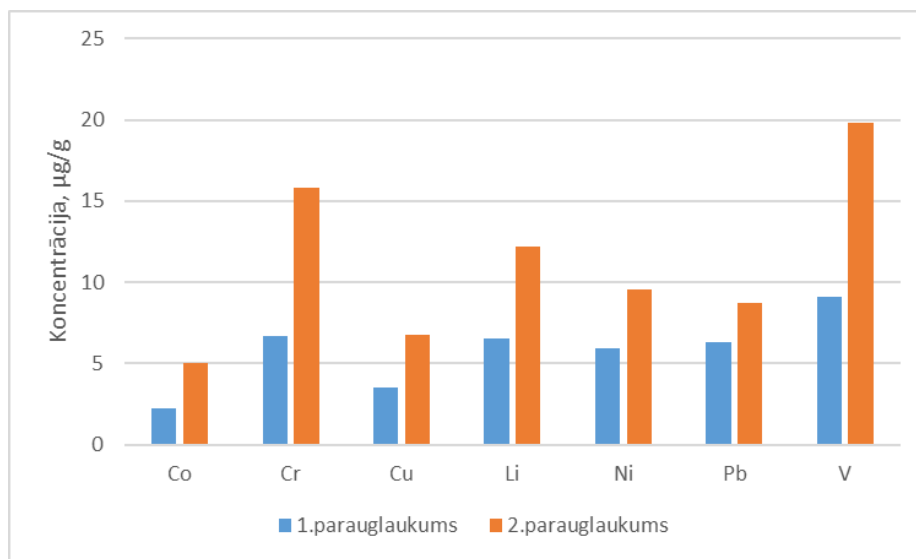
Grafikos redzams, ka vislielākās koncentrācijas abos parauglaurkumos sasniedz alumīnijs un dzelzs, kam seko kalcijs. Vērojams, ka 2.parauglaurkumā gandrīz visu makroelementu saturs ir ievērojami augstāks nekā 1.parauglaurkumā, izņēmums ir tikai nātrijs, fosfora un silīcija gadījumā. To varētu skaidrot tā, ka 2.parauglaurkums ierīkots tīrumā, kas ilgstoši izmantots lauksaimniecības vajadzībām, un visticamāk ir ticis mēslots.

1.parauglaurkumā alumīnija koncentrācija ir $6847,60 \pm 87,06$ µg/g, kalcija koncentrācija $1979,81 \pm 25,22$ µg/g, dzelzs koncentrācija $4743,08 \pm 45,14$ µg/g, kālijam tā ir $951,79 \pm 13,62$ µg/g, magnijam $875,08 \pm 16,77$ µg/g, fosfora koncentrācija $563,82 \pm 19,08$ µg/g, silīcija koncentrācija $154,9 \pm 10,3$ µg/g, sēram $154,42 \pm 1,87$ µg/g, bet nātrijs koncentrācija ir $47,08 \pm 13,54$ µg/g.

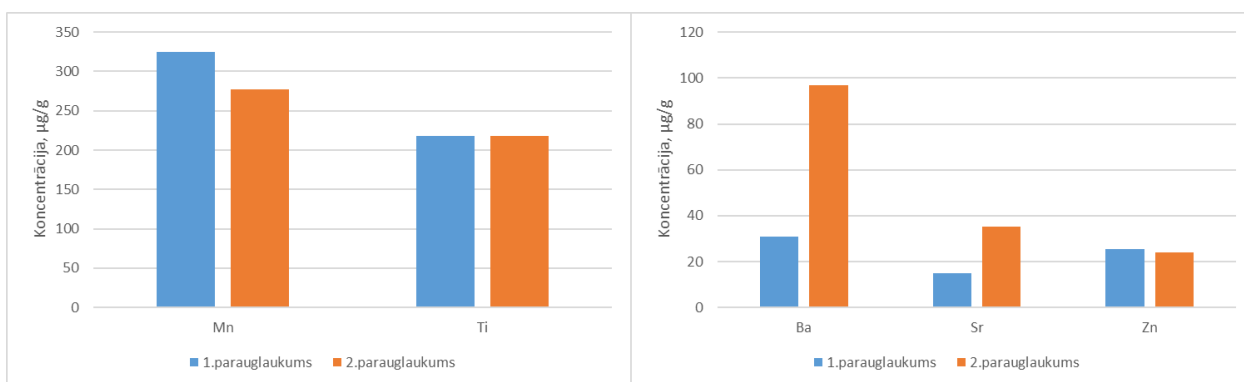
2.parauglaurkumā alumīnija koncentrācija ir $14454,00 \pm 430,07$ µg/g, kalcija koncentrācija $5044,82 \pm 62,61$ µg/g, dzelzs koncentrācija $11533,14 \pm 73,92$ µg/g, kālijam tā ir $1984,18 \pm 37,32$ µg/g, magnijam $2154,00 \pm 11,66$ µg/g, fosfora koncentrācija $508,10 \pm 4,54$ µg/g, silīcija

koncentrācija $106,70 \pm 6,77 \mu\text{g/g}$, sēram $560,22 \pm 12,66 \mu\text{g/g}$, bet nātrija koncentrācija ir $31,90 \pm 5,95 \mu\text{g/g}$.

Mikroelementu un smago metālu saturs: Par mikroelementiem augsnē sauc tos ķīmiskos elementus, kuru saturs ir mazāks par 0,001% (Nikodemus et al. 2008). Liela daļa no tiem arī ir nepieciešama augu augšanai un attīstībai, taču daudz mazākās devās, kā arī ir tādi smagie metāli, kas augiem nav nepieciešami un veido augsnes piesārņojumu. Mikroelementu un smago metālu (Ba, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn) koncentrācijas augsnē atainotas grafiski 3.2.un 3.3.attēlos.



3.2.attēls. Mikroelementu un smago metālu Co, Cr, Cu, Li, Ni, Pb un V koncentrācija augsnes paraugos.



3.3.attēls. Mikroelementu un smago metālu Mn, Ti, Ba, Sr un Zn koncentrācija augsnes paraugos.

Grafikos redzams, ka arī mikroelementu un smago metālu koncentrācijas lielākajā daļā gadījumu (izņemot Mn un Zn) augstākas ir 2.parauglaukumā. To varētu skaidrot tādejādi, ka 2.parauglaukumā tika konstatēts smalkāks granuloetriskais sastāvs – mālsmilts paraugu ievākšanas dziļumā, bet 1.parauglaukumā tā bija smilts. Jo smalkāks ir granulometriskais sastāvs,

jo lielāks augsnes daļiņu virsmas laukums, līdz ar to tā var saturēt lielākas dažādu ķīmisko elementu koncentrācijas.

Bārija koncentrācija pirmajā parauglaukumā ir $30,96 \pm 0,42$ $\mu\text{g/g}$, bet 2.parauglaukumā tā sasniedz $96,70 \pm 2,19$ $\mu\text{g/g}$. Lai arī Latvijā nav noteikti robežlielumi bārija saturam augsnēs, pēc Reimann et al. 2018 Eiropas lauksaimniecības augšņu ģeoķīmiskās kartēšanas projektā aprēķinātajām robežvērtībām Ziemeļeiropā tās svārstās 100 – 330 $\mu\text{g/g}$ robežās. Lietuvā šis robežlielums ir 600 $\mu\text{g/g}$, bet Dānijā 100 $\mu\text{g/g}$ (Reimann et al. 2018). Redzams, ka 2.parauglaukumā bārija koncentrācija augsnē ir tuvu 100 $\mu\text{g/g}$ robežvērtībai.

Kobalta saturs 1.parauglaukumā ir $2,24 \pm 0,13$ $\mu\text{g/g}$, bet 2.parauglaukumā $5,05 \pm 0,1$ $\mu\text{g/g}$. Latvijā vidējais kobalta saturs augsnē ir 0,6 – 9,7 $\mu\text{g/g}$ (Nikodemuss et al. 2008), tāpēc var secināt, ka iegūtie rezultāti atbilst vidējiem. Kobaltam Latvijā nav noteikti robežlielumi, taču pēc Reimann et al. 2018 Lietuvā tas ir 30 $\mu\text{g/g}$, Somijā 20 $\mu\text{g/g}$. Šajā pētījumā aprēķinātās robežvērtības Ziemeļeiropas reģionam svārstās starp 11 – 31 $\mu\text{g/g}$ (Reimann et al. 2018).

Hroma saturs 1.parauglaukumā ir $6,71 \pm 0,11$ $\mu\text{g/g}$, bet 2.parauglaukumā $15,84 \pm 1,13$ $\mu\text{g/g}$. Hromam noteiktais mērķlielums A pēc Ministru kabineta noteikumiem Nr.804 ir 4 – 40 $\mu\text{g/g}$, atkarībā no granulometriskā sastāva (smilts 4 $\mu\text{g/g}$, mālsmilts 11 $\mu\text{g/g}$), savukārt kritiskais robežlielums ir 350 $\mu\text{g/g}$. Lietuvā un Somijā noteiktie hroma robežlielumi ir 100 $\mu\text{g/g}$, bet Dānijā 500 $\mu\text{g/g}$, savukārt Eiropas lauksaimniecības augšņu ģeoķīmiskās kartēšanas projektā aprēķinātās robežvērtības ir 36,9 – 118 $\mu\text{g/g}$. Redzams, ka abos parauglaukumos ir pārsniegti Ministru kabineta noteikumos noteiktie mērķlielumi A.

Vara koncentrācija 1.parauglaukumā ir $3,49 \pm 0,04$ $\mu\text{g/g}$, bet 2.parauglaukumā $6,74 \pm 0,55$ $\mu\text{g/g}$. Vidējais vara saturs Latvijas augsnes ir 2,5 – 12,4 $\mu\text{g/g}$ (Nikodemuss et al.2008). Ministru kabineta noteikumos Nr.804 mērķlielumi (A) svārstās no 4 – 19 $\mu\text{g/g}$ atkarībā no granulometriskā sastāva, bet piesardzības robežlielumi (B) ir 30 – 60 $\mu\text{g/g}$, kritiskais robežlielums visa veida augsnēm noteikts 150 $\mu\text{g/g}$. Pēc Reimann et al. 2018 Lietuvā un Somijā šis robežlielums ir 100 $\mu\text{g/g}$, bet Dānijā 500 $\mu\text{g/g}$, savukārt viņu aprēķinātās robežvērtības ir 23 – 75 $\mu\text{g/g}$ Ziemeļeiropā (Reimann et al.2018).

Litija saturs 1.parauglaukumā ir 6,57 $\mu\text{g/g}$, bet 2.parauglaukumā $12,21 \pm 0,65$ $\mu\text{g/g}$. Tā kā trūkst informācijas par litija vidējo saturu Latvijas augsnēs un iespējamajiem robežlielumiem, salīdzināšanai iespējams izmantot tikai Reimann et al. 2018 projekta datus, kur aprēķinātās robežvērtības ir no 20 – 58 $\mu\text{g/g}$ (Reimann et al.2018).

Mangāna saturs 1.parauglaukumā $324,44 \pm 5,89$ $\mu\text{g/g}$, un 2.parauglaukumā $276,8 \pm 0,98$ $\mu\text{g/g}$. Vidējais mangāna saturs augsnē Latvijā ir 58 – 402 $\mu\text{g/g}$ (Nikodemus et al.2008), līdz ar to arī mangāna koncentrācija nepārsniedz Latvijas vidējās vērtības. Reimann et al.2018 aprēķinātie mangāna robežlielumi ir 641 – 2018 $\mu\text{g/g}$, bet Lietuvā robežlielums ir 1500 $\mu\text{g/g}$ (Reimann et al.2018).

Niķeļa koncentrācija 1.parauglaukumā ir $5,91 \pm 0,29$ $\mu\text{g/g}$, bet 2.parauglaukumā $9,53 \pm 1,91$ $\mu\text{g/g}$. Latvijā noteiktais mērķlielums A niķelim ir 3 – 28 $\mu\text{g/g}$ (smiltij 3 $\mu\text{g/g}$, mālsmiltij 8 $\mu\text{g/g}$),

kas abos parauglāukumos ir nedaudz pārsniegti, bet kritiskais robežlielums ir 200 µg/g. Pēc Reimann et al.2018 datiem Lietuvā robežlielums niķelim augsnē ir 75 µg/g, Dānijā 30 µg/g, bet Somijā 50 µg/g. Viņu aprēķinātie robežlielumi Ziemeļeiropā ir 24 – 99 µg/g (Reimann et al.2018).

Svina koncentrācija 1.parauglāukumā ir 6,34±0,44 µg/g , bet 2.parauglāukumā 8,76±0,2 µg/g. Pēc Latvijas normatīviem mērķlielumi A ir 13 – 23 µg/g, līdz ar to tie nav pārsniegti, bet kritiskais robežlielums ir 300 – 500 µg/g. Lietuvā šis robežlielums ir 100 µg/g, Dānijā 40 µg/g, bet Somijā 60 µg/g (Reimann et al. 2018). Reimann et al.2018 projektā aprēķinātie robežlielumi ir 18 – 35 µg/g Ziemeļeiropā.

Stroncija koncentrācija 1.parauglāukumā 14,98 ± 0,12 µg/g, 2.parauglāukumā 35,06 ± 0,25 µg/g. Iztrūkst informācijas par šī elementa vidējām vērtībām vai robežlielumiem Latvijā, kā arī citās valstīs, taču Reimann et al.2018 aprēķinātās robežvērtības ir 42 – 114 µg/g (Reimann et al.2018), līdz ar to var secināt, ka robežlielumi nav pārsniegti, taču 2.parauglāukuma vērtība ir diezgan tuvu 42 µg/g robežlielumam.

Titāna saturs 1.parauglāukumā ir 217, 68 ± 7,62 µg/g, 2.parauglāukumā 366,05 ± 2,99 µg/g. Arī par titāna vidējo saturu vai robežvērtībām gan Latvijā, gan citās valstīs trūkst, taču Reimann et al.2018 aprēķinātās robežvērtības Ziemeļeiropai ir 859 – 3846 µg/g.

Vanādija saturs 1.parauglāukumā ir 9,14±0,02 µg/g un 2.parauglāukumā 19,83±0,37 µg/g. Lietuvā vanādijs ir noteikts robežlielums 150 µg/g, bet Somijā 100 µg/g (Reimann et al.2018). Reimann et al. 2018 aprēķinātie robežlielumi ir 51 – 105 µg/g.

Cinka koncentrācija 1.parauglāukumā ir 25,47±0,08 µg/g , bet 2.parauglāukumā 23,96±0,17 µg/g. Vidējais cinka saturs Latvijas augsnēs ir 8,5 – 45, 8 µg/g (Nikodemus et al.2008), bet Ministru kabineta noteikumos Nr.804 mērķlielums A ir 16 – 70 µg/g (smiltij 16 µg/g, mālsmiltij 24 µg/g), bet kritiskais robežlielums ir 700 µg/g, kas ļauj secināt, ka 1.parauglāukumā mērķlielums (A) ir pārsniegts, un 2.parauglāukuma vērtība ir ļoti tuva mērķlielumam. Lietuvā cinka robežvērtība ir 300 µg/g, Dānijā tā ir 500 µg/g, bet Somijā 200 µg/g (Reimann et al.2018). Reimann et al.2018 aprēķinātās cinka robežvērtības Ziemeļeiropas reģionam ir 73 – 139 µg/g.

Atsevišķiem elementiem koncentrācijas augsnē bija zem noteikšanas robežas, attiecīgi As mazāk par 5 µg/g, B mazāk par 10 µg/g, Cd mazāk par 0,21 µg/g, Mo mazāk par 0,6 µg/g, Sb mazāk par 3 µg/g un Tl mazāk par 3 µg/g. Arī Se 2.parauglāukumā bija zem noteikšanas robežas, kas ir mazāk par 5 µg/g, bet 1.parauglāukumā noteiktā Se koncentrācija ir 5,90 ± 0,93 µg/g.

Piesārņojuma indekss: parāda konkrētā smagā metāla piesārņojuma pakāpi augsnē. Ja indeksa vērtība ir mazāka par 1, augsne nav piesārņota, vērtības starp 1 un 2 norāda uz zemu piesārņojumu, vērtības starp 2 un 3 uz vidēju piesārņojuma līmeni, vērtības 3 – 5 uz augstu piesārņojumu, bet ja piesārņojuma indekss ir lielāks par 5, tad augsne uzskatāma par ļoti piesārņotu. 3.3.tabulā apkopotu aprēķinātie piesārņojuma indeksi. Fona vērtības Zemes garozā tika atrastas literatūras avotos (Rudnick et al.2003).

Smago metālu piesārņojuma indeksi augsnes paraugos

Elements	Fona vērtība (Bn) μg/g	PI 1. parauglaukumā	PI 2. parauglaukumā
Co	17	0,13	0,30
Cr	85	0,079	0,19
Cu	25	0,14	0,27
Fe	44900	0,11	0,26
Mn	900	0,36	0,31
Ni	44	0,13	0,22
Pb	17	0,37	0,52
V	107	0,09	0,19
Zn	71	0,36	0,34

Kā redzams tabulā, visiem smagajiem metāliem piesārņojuma indeksa vērtības ir stipri mazākas par 1, kas nozīmē, ka augsne ne 1. ne 2. parauglaukumā nav uzskatāma par piesārņotu.

Ģeoakumulācijas indekss arī tiek pielietots, lai noteiktu augsnes piesārņojumu. Šis indekss parāda augsnes mikroelementu akumulēšanos attiecībā pret šo elementu fona līmeni. Pēc ģeoakumulācijas indeksa tiek iedalītas 7 klases : nepiesārņota augsne ($GI \leq 0$), nepiesārņota līdz vidēji piesārņota augsne ($0 < GI \leq 1$), vidēji piesārņota augsne ($1 < GI \leq 2$), vidēji līdz stipri piesārņota ($2 < GI \leq 3$), stipri piesārņota ($3 < GI \leq 4$), stipri līdz ļoti stipri piesārņota ($4 < GI \leq 5$) un ļoti stipri piesārņota augsne ($GI \geq 5$) (Sappa et al. 2020). Aprēķinātās GI vērtības atainotas 3.4.tabulā.

Smago metālu ģeoakumulācijas indeksi augsnes paraugos

Elements	Fona vērtība, μg/g	GI 1.parauglaukumā	GI 2.parauglaukumā
Co	17	-2,43	-1,62
Cr	85	-2,94	-2,09
Cu	25	-2,37	-1,72
Fe	44900	-2,65	-1,76
Mn	900	-1,43	-1,58
Ni	44	-2,41	-1,93
Pb	17	-1,39	-1,07
V	107	-2,87	-2,09
Zn	71	-1,43	-1,49

Kā redzams, visiem elementiem GI vērtības ir negatīvas, kas norāda uz to, ka augsne nav uzskatāma par piesārņotu nevienā no parauglaukumiem.

Elementu bagātināšanās faktors palīdz noteikt, vai smagajiem metāliem augsnē ir antropogēna izcelsme, kā arī cik izteikta ir augsnes bagātināšanās ar šiem elementiem. Ja EF ir robežās no 0,05 līdz 1,5, tas norāda, ka elementu izcelsme ir dabiska, bet ja tas ir lielāks par 1,5, tas norāda uz antropogēniem avotiem. Ja EF ir mazāks par 2, tas liecina, ka bagātināšanās

nenotiek, vai arī tā ir zema, EF starp 2 un 5 norāda uz vidēju bagātināšanos, EF starp 5 un 20 norāda uz stipru bagātināšanos, ja EF ir robežās starp 20 un 40, tas liecina par ļoti augstu bagātināšanos, bet ja tas ir augstāks par 40, tas nozīmē ārkārtīgi augstu bagātināšanos ar konkrēto elementu (Sappa et al. 2020). 3.5.tabulā ir apkopotas aprēķinātās EF vērtības.

3.5.tabula

Elementu bagātināšanās faktors augsnes paraugos

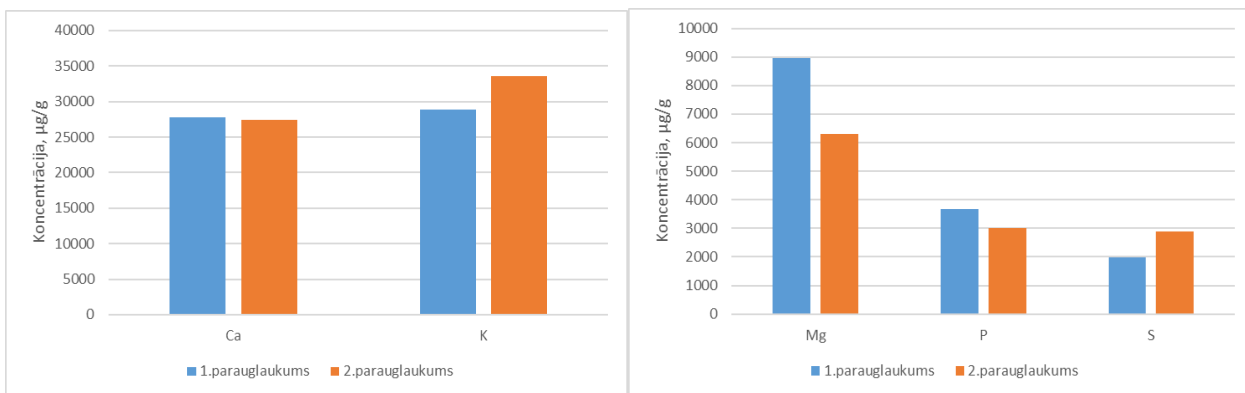
Elements	Fona vērtība, µg/g	EF 1.parauglaukumā	EF 2.parauglaukumā
Co	17	1,37	1,46
Cr	85	0,82	0,92
Cu	25	1,45	1,33
Fe	44900	1,10	1,27
Mn	900	3,75	1,52
Ni	44	1,40	1,07
Pb	17	3,89	2,54
V	107	0,89	0,91
Zn	71	3,73	1,66

Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka gan 1., gan 2.parauglaukumā antropogēna izcelsme ir Mn, Pb un Zn, turklāt 1.parauglaukumā šo elementu EF vērtības iekļaujas robežās starp 2 un 5, kas norāda uz vidēju bagātināšanos ar šiem metāliem. Tā kā Zn 1.parauglaukumā ir pārsniegts MK noteikumos minētais mērķlielums (A), un 2.parauglaukumā koncentrācija ir ļoti tuva šim mērķlielumam, ņemot vērā EF vērtību var secināt, ka abos parauglaukumos vērojams nedaudz paaugstināts cinka saturs.

3.2 Sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) paraugu raksturojums

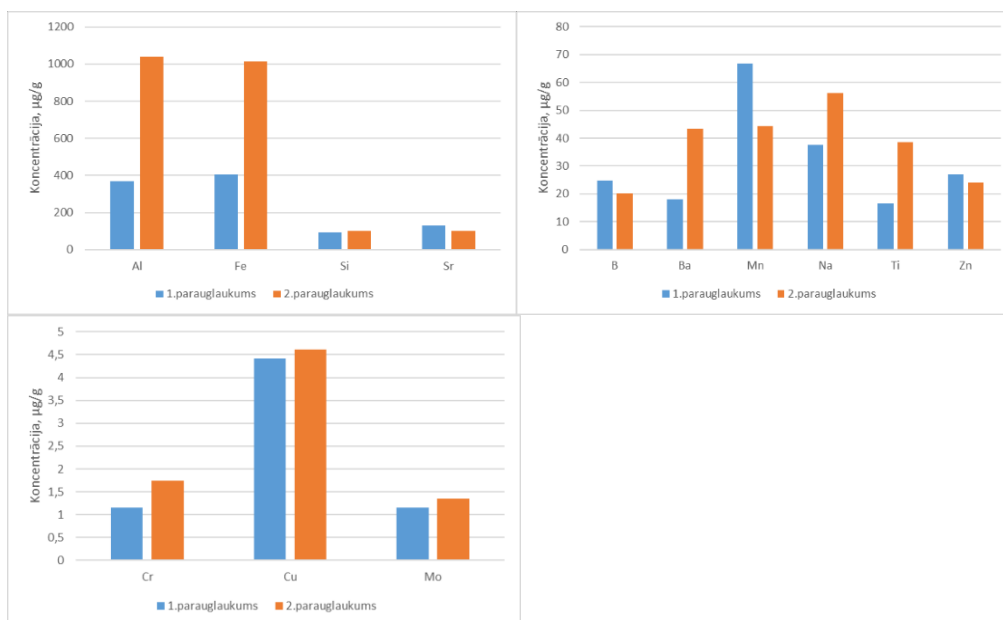
Ķīmiskie elementi no abiem parauglaukumiem tika analizēti dažādās auga attīstības stadijās – jaunie dzinumi neilgi pirms izdīgšanas, ziedēšanas laikā, atsevišķi analizējot lapu, stublāja un ziedu paraugus un laikā, kad nobriedušas sēklas, izdalot lapu, stublāja un sēklu paraugus, lai novērtētu ķīmisko elementu akumulācijas raksturu dažādās auga daļās visā sējas kaņepes attīstības laikā. Rezultāti par dažādu ķīmisko elementu akumulāciju attēloti grafikos 3.4. – 3.11.attēlos. Ķīmisko elementu koncentrācijas visos paraugos redzamas 4. – 6.pielikumā.

Dīgstos ķīmisko elementu koncentrācija parādīta 3.4.un 3.5.attēlos. Redzams, ka vislielākās koncentrācijas gan 1.gan 2.parauglaukumā sastāda K un Ca, kam seko Mg, P un S.



3.4.attēls. Ca, K, Mg, P un S koncentrācija dīgstos.

K koncentrācija 1.parauglaidumā ir $28867,15 \pm 577,36$ µg/g, bet 2.parauglaidumā tā sasniedz $33541,43 \pm 1997,10$ µg/g. Ca koncentrācija dīgstos no 1.parauglaiduma ir $27813,25 \pm 288,44$ µg/g, arī 2.parauglaidumā tā ir līdzīga $27356,08 \pm 2156,02$ µg/g. Vismazākās koncentrācijas ir Mo – 1.parauglaidumā $1,15 \pm 0,04$ µg/g, 2.parauglaidumā $1,35 \pm 0,03$ µg/g, un Cr – 1.parauglaidumā $1,15 \pm 0,08$ µg/g, bet 2.parauglaidumā $1,74 \pm 0,01$ µg/g.

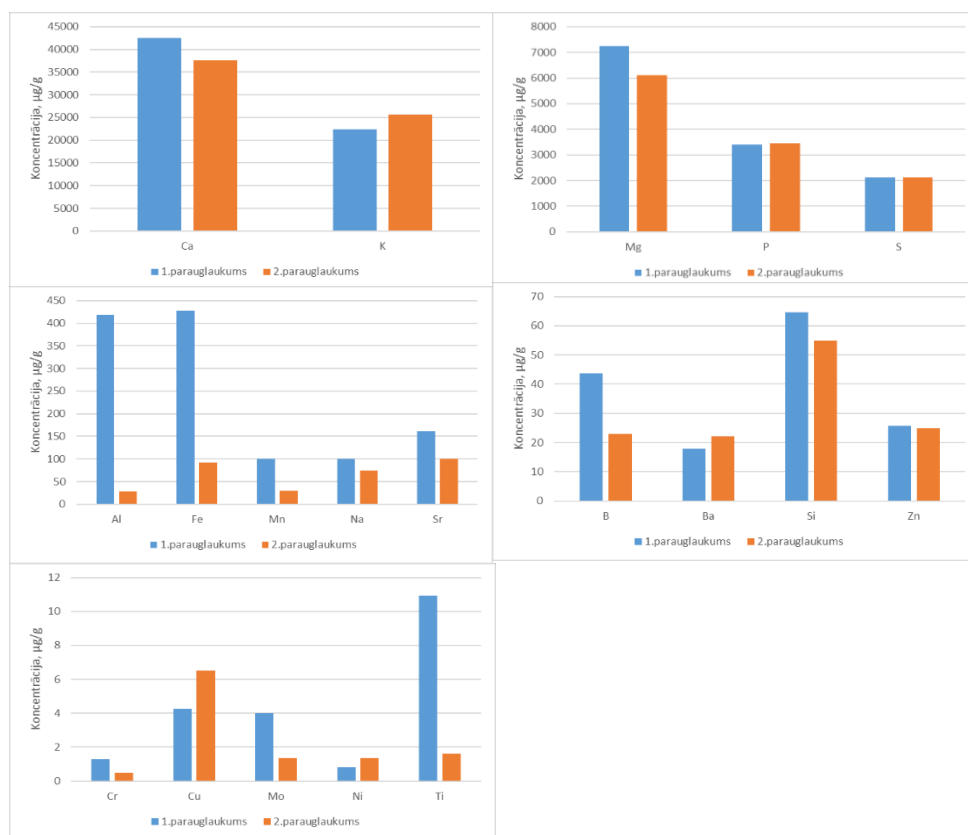


3.5.attēls. Al, Fe, Si, Sr, B, Ba, Mn, Na, Ti, Zn, Cr, Cu un Mo koncentrācija dīgstos.

Grafikos redzams, ka daļai elementu, īpaši Al, Fe, Na un Ti 2.parauglaidumā konstatēta ievērojami augstāka koncentrācija, nekā 1.parauglaidumā. Izņēmums ir Mg un Mn, kam augstākas koncentrācijas ir 1.parauglaidumā, arī Ca, P, Sr, B un Zn koncentrācijas 1.parauglaidumā ir nedaudz augstākas nekā 2.parauglaidumā. Atšķirības starp pirmo un otro parauglaidumu varētu skaidrot ar to, ka lielai daļai elementu augstākas koncentrācijas augsnē ir tieši 2.parauglaidumā, līdz ar to tie varētu būt vieglāk pieejami, kā arī 2.parauglaidumā ir augstāks organisko vielu saturs, kas uzlabo makroelementu uzņemšanas spēju.

Vairākiem elementiem koncentrācijas dīgstos ir zem noteikšanas robežas – tie ir As mazāk par 5 µg/g, Be mazāk par 0,011 µg/g, Cd mazāk par 0,21 µg/g, Co mazāk par 0,3 µg/g, Li mazāk par 7 µg/g, Ni mazāk par 0,3 µg/g, Pb mazāk par 1,1 µg/g, Sb mazāk par 3 µg/g, Se mazāk par 5 µg/g, Tl mazāk par 3 µg/g, V mazāk par 0,8 µg/g. Tajā pat laikā 2.paraugļaukumā dīgstos konstatēta Co koncentrācija $0,31 \pm 0,02$ µg/g, 2.paraugļaukumā vienā no paraugiem konstatēta Ni koncentrācija 0,80 µg/g, kā arī 2.paraugļaukumā konstatēta V koncentrācija $1,63 \pm 0,34$ µg/g.

Lapās ziedēšanas laikā visaugstākās koncentrācijas arī konstatētas Ca un K, kam seko Mg, P un S. Tomēr lapās šajā laikā Ca koncentrācija pārsniedz K koncentrāciju. Ķīmisko elementu daudzums lapās ziedēšanas laikā parādīts 3.6.attēlā.



3.6.attēls. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācija lapās ziedēšanas laikā.

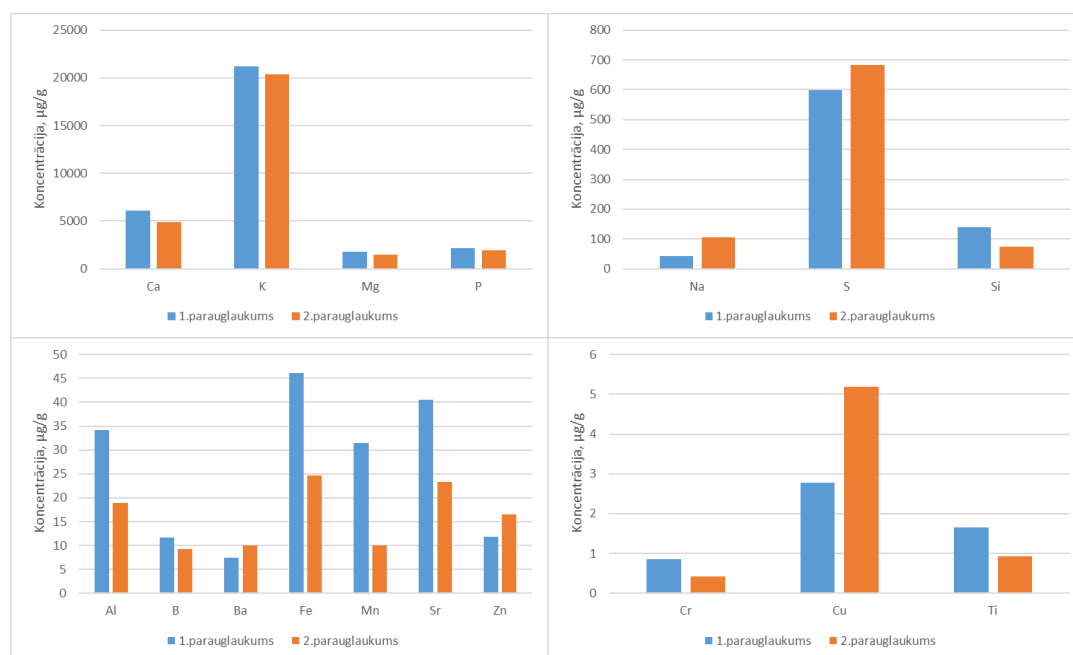
Ca koncentrācija augstāka ir 1.paraugļaukumā, un sasniedz $42462,63 \pm 488,51$ µg/g, bet 2.paraugļaukumā tā ir $37570,84 \pm 388,96$ µg/g. K koncentrācija 1.paraugļaukumā ir $22410,51 \pm 11,24$, un 2.paraugļaukumā $25677,00 \pm 603,61$ µg/g. Viszemākās koncentrācijas lapās ziedēšanas laikā uzrāda Cr un Ni. Cr koncentrācija 1.paraugļaukumā ir $1,31 \pm 0,21$ µg/g, bet 2.paraugļaukumā 0,48 µg/g. Ni koncentrācija 1.paraugļaukumā ir $0,83 \pm 0,05$ µg/g un µg/g 2.paraugļaukumā $1,36 \pm 0,06$ µg/g.

Grafikos redzams, ka atšķirībā no situācijas dīgstos, ziedēšanas laikā Al un Fe koncentrācija 2.paraugļaukumā ir ievērojami samazinājusies, līdzīga situācija ir arī ar Ti, līdz ar to šiem elementiem ziedēšanas laikā lapās 1.paraugļaukumā ir stipri augstāka koncentrācija, nekā

2.parauglaurumā. Kopumā novērojams, ka lielākajai daļai elementu 1.parauglaurumā šajā laikā novērojamas augstākas koncentrācijas, nekā 2.parauglaurumā.

Arī lapas ziedēšanas laikā vairākiem elementiem koncentrācija bija zem noteikšanas vērtības : As mazāk par 5 µg/g, Be mazāk par 0,011 µg/g, Cd mazāk par 0,21 µg/g, Co mazāk par 0,3 µg/g, Li mazāk par 7 µg/g, Pb mazāk par 1,3 µg/g, Sb mazāk par 3 µg/g, Se mazāk par 5 µg/g, Tl mazāk par 3 µg/g, V mazāk par 0,8 µg/g. Tajā pat laikā Pb koncentrācija vienā no paraugiem, kas ievākts 1.parauglaurumā konstatēta 1,3 µg/g, un Se koncentrācija vienā no 1.parauglauruma paraugiem 8,73 µg/g.

Stublājā ziedēšanas laikā konstatētas krietni mazākas elementu koncentrācijas nekā lapās šajā pašā laikā. Augstākās koncentrācijas tāpat ir K un Ca, kam seko P un Mg, bet zemākās koncentrācijas ir Cr un Ti. Elementu koncentrācijas stublājā ziedēšanas laikā ir parādītas 3.7.attēlā.



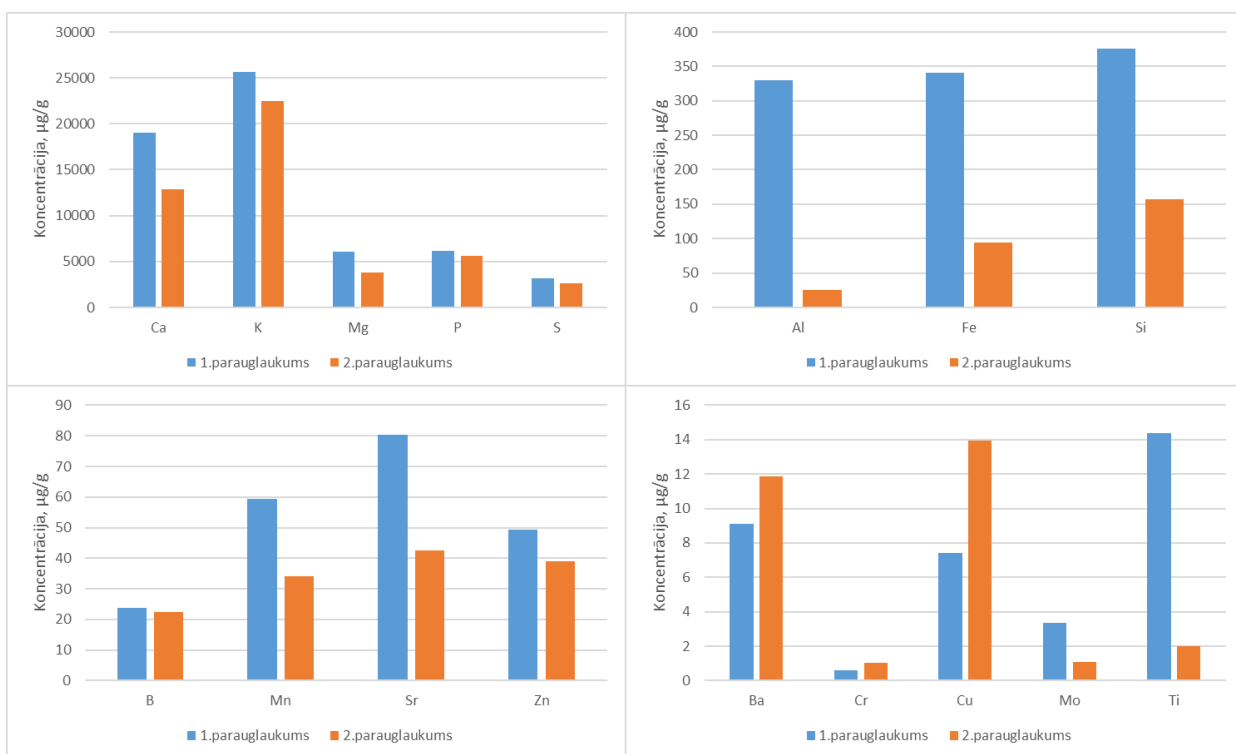
3.7.attēls. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācijas stublājā ziedēšanas laikā.

K koncentrācija 1.parauglaurumā sasniedz $21212,74 \pm 505,14$ µg/g, bet 2.parauglaurumā $20330,74 \pm 57,93$ µg/g. Ca koncentrācija stublājā ziedēšanas laikā, salīdzinot ar lapām, ir ievērojami zemāka – 1.parauglaurumā $6057,39 \pm 329,34$ µg/g, bet 2.parauglaurumā $4863,42 \pm 388,96$ µg/g. Turpretī Ti koncentrācija 1.parauglaurumā ir $1,65 \pm 0,12$ µg/g, 2.parauglaurumā $0,93 \pm 0,22$ µg/g. Cr koncentrācija 1.parauglaurumā ir $0,860 \pm 0,001$ µg/g, bet 2.parauglaurumā $0,42 \pm 0,14$ µg/g.

Redzams, ka lielai daļai elementu stublājā ziedēšanas laikā gan 1., gan 2.parauglaurumā ir visai līdzīgas vērtības ar tikai nelielām atšķirībām. Izņēmumi ir Al, Fe, Mn un Sr, kur 1.parauglaurumā koncentrācijas ir ievērojami augstākas nekā 2.parauglaurumā.

Stublājā ziedēšanas laikā vairākiem elementiem koncentrācija bija zem noteikšanas vērtības : As mazāk par 5 µg/g, Be mazāk par 0,011 µg/g, Cd mazāk par 0,21 µg/g, Co mazāk par 0,3 µg/g, Li mazāk par 7 µg/g, Mo mazāk par 0,6 µg/g, Ni mazāk kā 0,3 µg/g, Pb mazāk par 1,3 µg/g, Sb mazāk par 3 µg/g, Se mazāk par 5 µg/g, Tl mazāk par 3 µg/g, V mazāk par 0,8 µg/g. Tajā pat laikā 2.parauglukumā vienā no paraugiem konstatēta Cd koncentrācija 0,22 µg/g, Mo koncentrācija 1.parauglukumā konstatēta $0,69 \pm 0,11$ µg/g, un 2.parauglukumā vienā no paraugiem Ni koncentrācija 0,6 µg/g.

Ziedos vislielākā koncentrācija ir K, kam seko Ca, bet vismazākās koncentrācijas ir Mo un Cr. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācijas ziedos parādītas 3.8.attēlā.



3.8.attēls. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācijas ziedos.

K koncentrācija ziedos sasniedz 25677,00 µg/g 1.parauglukumā un $22519,00 \pm 67,99$ µg/g, savukārt Ca koncentrācija 1.parauglukumā ir 19074,78 µg/g, bet 2.parauglukumā $12830,02 \pm 1548,34$ µg/g. Turpretī Cr koncentrācija 1.parauglukumā ir 0,59 µg/g, 2.parauglukumā 1,03 µg/g. Mo koncentrācija ziedos 1.parauglukumā ir 3,34 µg/g, un 2.parauglukumā $1,11 \pm 0,04$ µg/g.

Grafikos, kas ataino ķīmisko elementu koncentrācijas ziedos redzams, ka gandrīz visu elementu koncentrācijas ir augstākas 1.parauglukumā nekā 2.parauglukumā, izņēmums ir tikai Ba, Cr un Cu, turklāt tādiem elementiem kā Al, Fe, Mn, Sr un Ti šīs atšķirības ir ļoti izteiktas.

Vairākiem ķīmiskajiem elementiem koncentrācijas ziedos bija zem noteikšanas robežas. Šie elementi ir: As mazāk par 5 µg/g, Be mazāk par 0,011 µg/g, Cd mazāk par 0,21 µg/g, Co mazāk par 0,3 µg/g, Li mazāk par 7 µg/g, Na mazāk par 20 µg/g, Ni mazāk kā 0,3 µg/g, Pb mazāk par

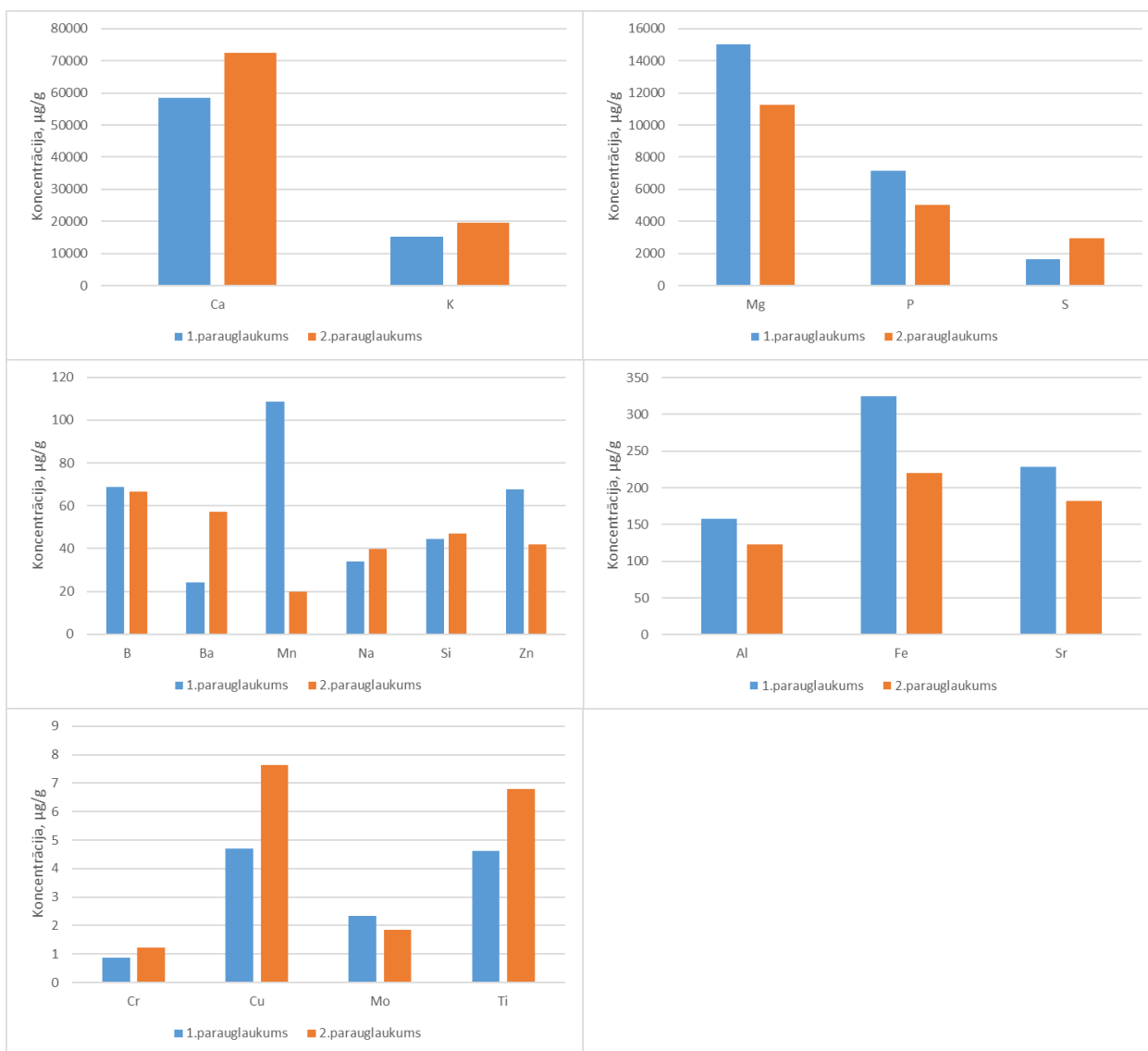
1,3 µg/g, Sb mazāk par 3 µg/g, Se mazāk par 5 µg/g, Tl mazāk par 3 µg/g, V mazāk par 0,8 µg/g. Tomēr dažiem elementiem atsevišķos paraugos tika noteiktas šādas koncentrācijas : Be 1.parauglukumā 0,02 µg/g un Co vienam paraugam 1.parauglukumā 0,43 µg/g un vienam paraugam 2.parauglukumā 4,40 µg/g.

Salīdzinot ar Amendola et al. 2021 pētījumu, kur kaņepju ziedos noteikti tādi ķīmiskie elementi kā Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb un Se, vairākos gadījumos ar Co, Cr un Mo koncentrācijas ziedos ir līdzīgas, bet Fe un Cu ir tikai nedaudz zemākas koncentrācijas. Arī Pb un Se varētu būt līdzīgās koncentrācijās, jo Amendola et al. pētījumā koncentrācijas ziedos šiem elementiem bija attiecīgi 1,5 un 0,15 µg/g, kamēr bakalaura darbā šie elementi bija zem noteikšanas robežas, kas ir Pb mazāk par 1,3 µg/g un Se mazāk par 5 µg/g. Lai arī Amendola et al. pētījumā nebija minētas šo elementu koncentrācijas augsnē, fakts, ka tikai Cd, Mn un Ni koncentrācijas šajā pētījumā bija ievērojami augstākas, ļauj secināt, ka ziedu ķīmisko sastāvu smago metālu u.c mikroelementu koncentrācija augsnē ietekmē nedaudz.

Lapās laikā, kad nobriedušas sēklas visaugstākās koncentrācijas ir Ca, pēc tam K, bet viszemākās koncentrācijas – Cr un Mo. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācijas attēlotas grafiski 3.9.attēlā.

Ca koncentrācija 1.parauglukumā ir $58476,98 \pm 3060,59$ µg/g, bet 2.parauglukumā $72583,46 \pm 2555,12$ µg/g, kas ir arī augstākais Ca saturs no visiem paraugiem. K koncentrācija 1.parauglukumā ir $15334,83 \pm 1618,33$ µg/g un 2.parauglukumā $19523,94 \pm 1348,13$ µg/g. Turpretī Cr koncentrācija 1.parauglukumā ir $0,87 \pm 0,06$ µg/g, 2.parauglukumā $1,22 \pm 0,11$ µg/g. Mo koncentrācija 1.parauglukumā ir $2,33 \pm 0,31$ µg/g, bet 2.parauglukumā $1,84 \pm 0,34$ µg/g.

Salīdzinot smago metālu koncentrācijas lapās ar citiem pētījumiem, piemēram, De Vos et al.2020, Linger et al. 2002, var secināt, ka liela ietekme ir šo metālu koncentrācijai augsnē, taču līdzīgi ir tas, ka gandrīz visiem aplūkotajiem elementiem lapās ir vērojamas augstākas koncentrācijas nekā citās auga daļās.

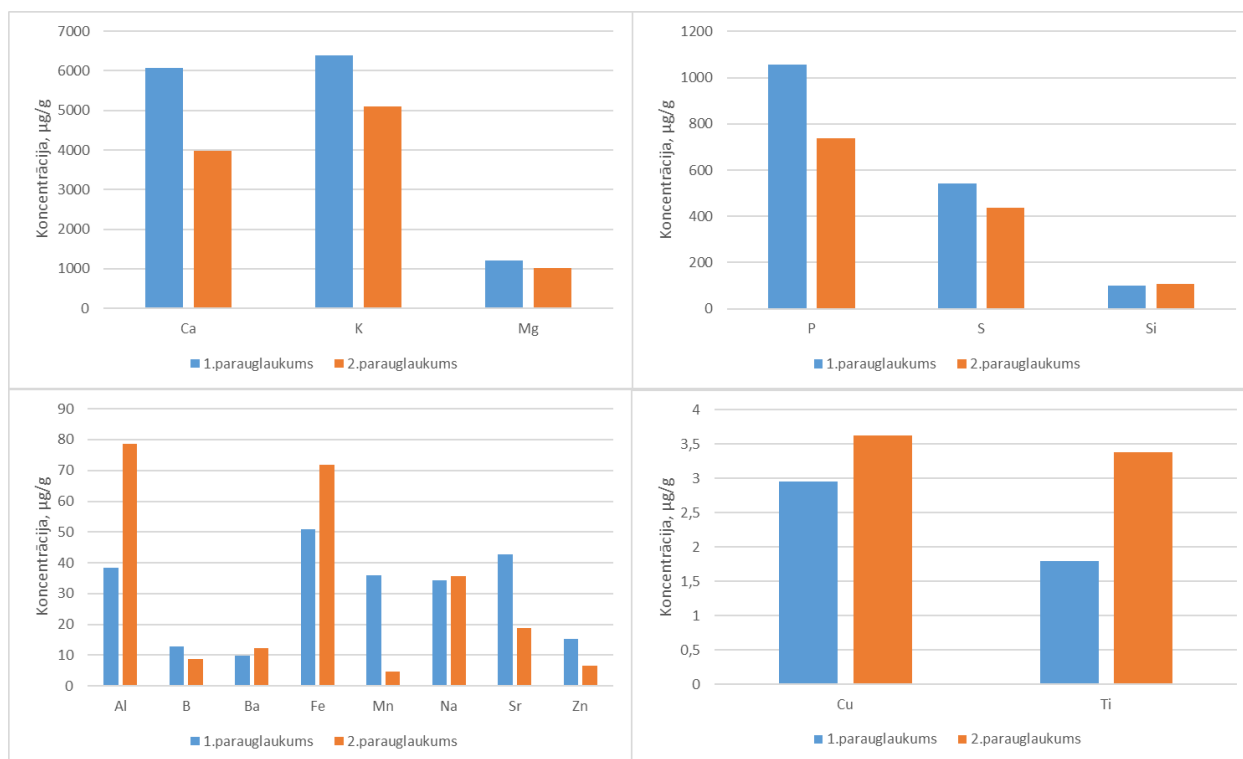


3.9.attēls. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācijas lapās laikā, kad nobriedušas sēklas.

Redzams, ka lielai daļai elementu koncentrācijas abos parauglaidumos ir līdzīgas vai atšķiras nedaudz. Vislielākā atšķirība starp 1.un 2.parauglaidumu ir Mn, kur 1.parauglaidukumā ir konstatēta ievērojami augstāka koncentrācija, ko var skaidrot ar to, ka Mn koncentrācija augsnē 1.parauglaidumā bija lielāka, kā arī 1.parauglaidumā ir mazāks organisko vielu saturs augsnē, kas var uzlabot smago metālu pieejamību augiem.

Vairākiem elementiem koncentrācijas ir zem noteikšanas robežas : As mazāk par 5 µg/g, Be mazāk par 0,011 µg/g, Cd mazāk par 0,21 µg/g, Co mazāk par 0,3 µg/g, Li mazāk par 7 µg/g, Ni mazāk kā 0,3 µg/g, Pb mazāk par 1,3 µg/g, Sb mazāk par 3 µg/g, Se mazāk par 5 µg/g, Tl mazāk par 3 µg/g, V mazāk par 0,8 µg/g. Tomēr Ni vienā paraugā no 2.parauglaiduma konstatēta koncentrācija 1,02 µg/g, un arī Pb vienā paraugā no 2.parauglaiduma 1,50 µg/g.

Stublājā laikā, kad nobriedušas sēklas augstākās koncentrācijas uzrāda K un Ca, kamēr viszemākās koncentrācijas ir Cr. Noteikto elementu koncentrācijas parādītas grafikos 3.10.attēlā.



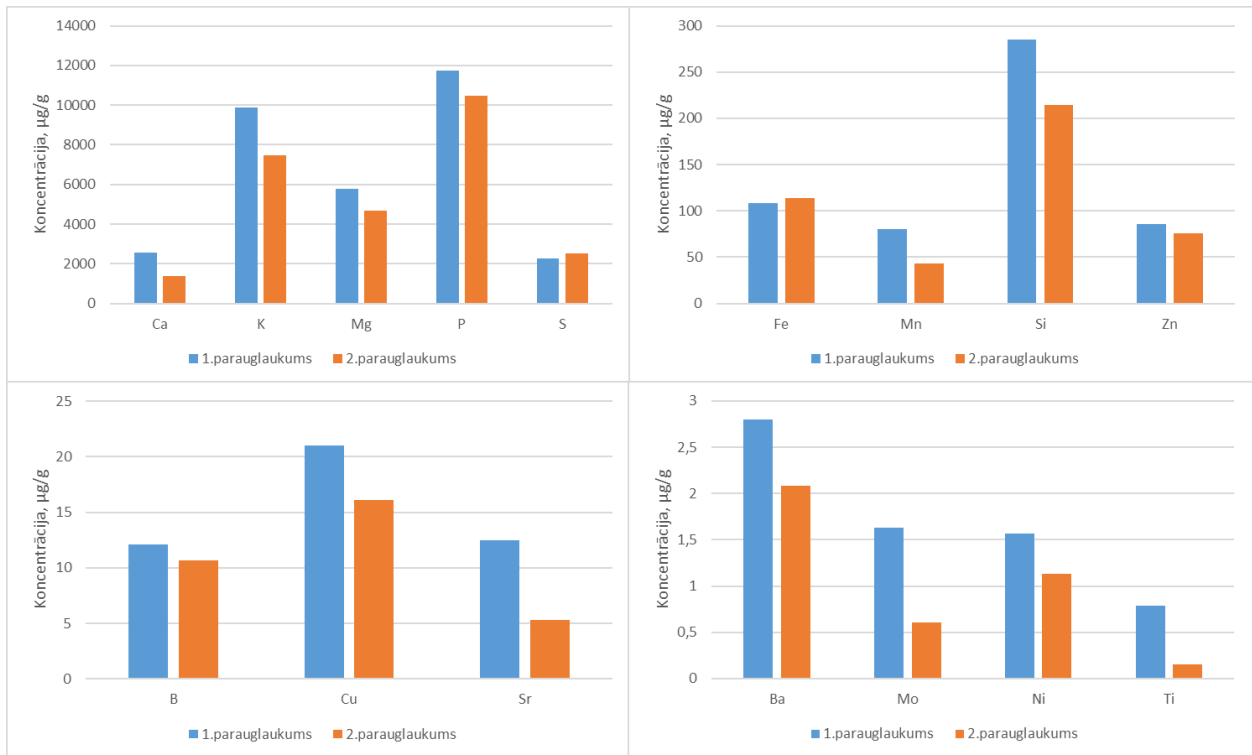
3.10.attēls. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācijas stublājā laikā, kad nobriedušas sēklas.

K koncentrācija 1.parauglūkumā ir $6384,40 \pm 93,48 \mu\text{g/g}$, bet 2.parauglūkumā $5099,04 \pm 382,84 \mu\text{g/g}$. Ca koncentrācija 1.parauglūkumā ir $6065,39 \pm 618,78 \mu\text{g/g}$ un 2.parauglūkumā $3970,83 \pm 99,70 \mu\text{g/g}$. Savukārt Ti koncentrācija 1.parauglūkumā ir $1,80 \pm 0,13 \mu\text{g/g}$, bet 2.parauglūkumā $3,38 \pm 2,15 \mu\text{g/g}$.

Grafikos redzams, ka līdzīgi kā ziedēšanas laikā, arī laikā kad jau nobriedušas sēklas, gandrīz visiem noteiktajiem elementiem koncentrācijas ir zemākas nekā lapās un dīgstos. Redzams, ka tādi elementi kā Ca, K un P uzrāda lielākas koncentrācijas 1.parauglūkumā, taču 2.parauglūkumā ievērojami augstākas koncentrācijas ir Al un Fe.

Stublājā ziedēšanas laikā vairākiem elementiem koncentrācija bija zem noteikšanas vērtības : As mazāk par $5 \mu\text{g/g}$, Be mazāk par $0,011 \mu\text{g/g}$, Cd mazāk par $0,21 \mu\text{g/g}$, Co mazāk par $0,3 \mu\text{g/g}$, Cr mazāk par $0,5 \mu\text{g/g}$, Li mazāk par $7 \mu\text{g/g}$, Mo mazāk par $0,6 \mu\text{g/g}$, Ni mazāk kā $0,3 \mu\text{g/g}$, Pb mazāk par $1,3 \mu\text{g/g}$, Sb mazāk par $3 \mu\text{g/g}$, Se mazāk par $5 \mu\text{g/g}$, Tl mazāk par $3 \mu\text{g/g}$, V mazāk par $0,8 \mu\text{g/g}$. Tomēr vienā paraugā no 1.parauglūkuma tika konstatēta Cr koncentrācija $0,53 \mu\text{g/g}$, un vienā paraugā no 2.parauglūkuma Cr koncentrācija $0,51 \mu\text{g/g}$.

Sēklās visaugstāko koncentrāciju uzrādīja P, kam seko K. Sēklās koncentrācija zem noteikšanas robežas paraugos bija vairāk elementiem, nekā citās auga daļās, tai skaitā Al, Cr un Na. Noteikto elementu koncentrācijas atainotas grafiski 3.11.attēlā.



3.11.attēls. Noteikto ķīmisko elementu koncentrācija sēklās.

P koncentrācija sēklās sasniedz $11737,42 \pm 78,87 \mu\text{g/g}$ 1.parauglūkumā un $10459,19 \pm 223,18 \mu\text{g/g}$, kas ir P augstākais rādītājs no visiem paraugiem visās kaņepes daļās. K koncentrācija 1.parauglūkumā ir $9880,9 \pm 353,33 \mu\text{g/g}$, bet 2.parauglūkumā $7452,60 \pm 34,94 \mu\text{g/g}$.

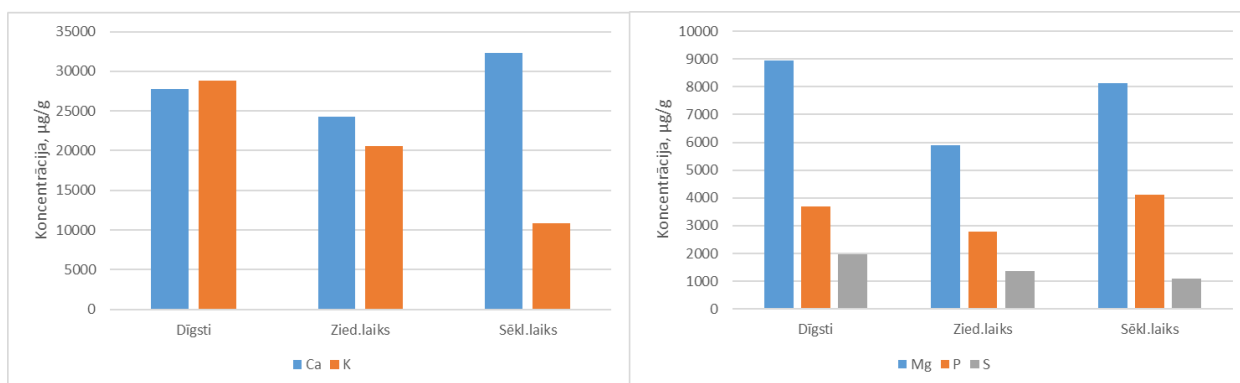
Ķīmisko elementu koncentrācijas sēklās atšķiras no pārējām auga daļām, piemēram, tādi elementi kā Cu, Ni un Zn savas augstākās koncentrācijas uzrāda tieši sēklās, taču Al, Ba, Cr, Na, Sr, Ti sēklās ir ievērojami mazāk nekā lapās vai stublājā. Redzams arī, ka sēklās augstākas koncentrācijas visiem noteiktajiem elementiem, izņemot S, vērojamas 1.parauglūkumā, līdzīga tendence bija vērojama arī ziedos.

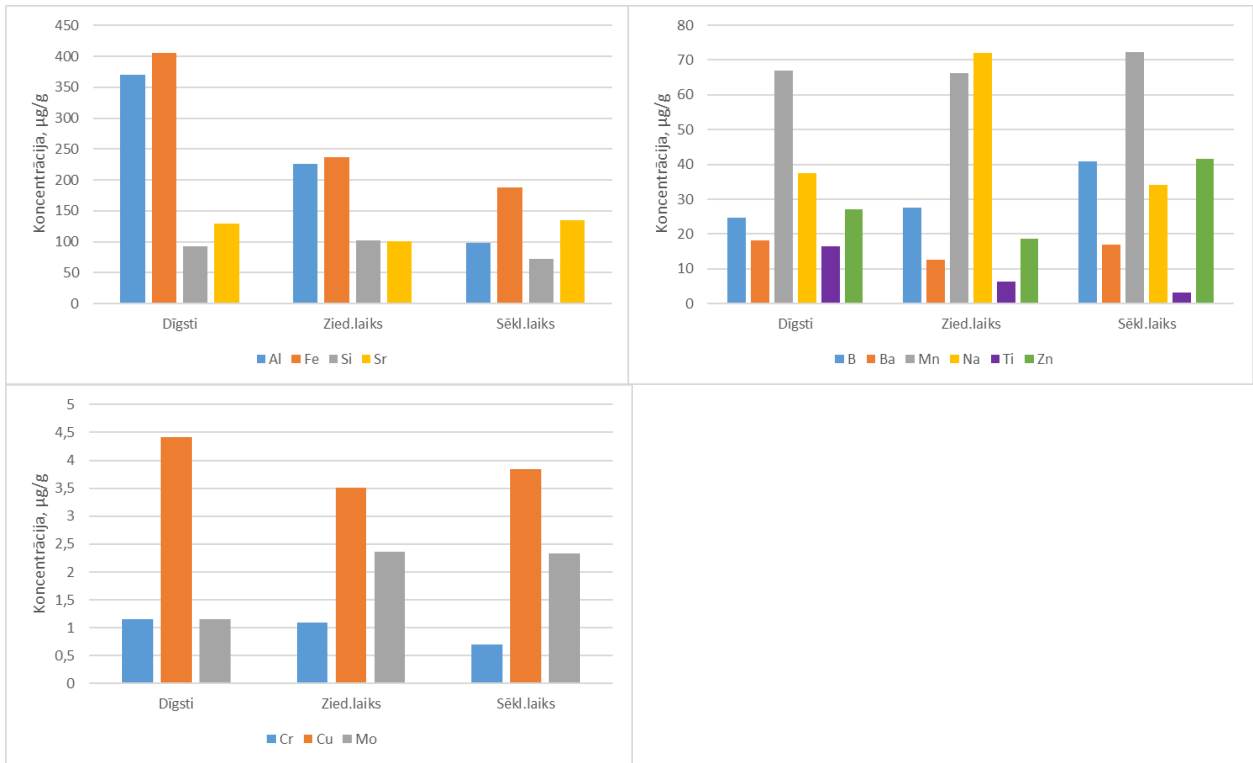
Salīdzinot ķīmisko elementu koncentrācijas sēklās ar Korkmaz et al. 2010 pētījumu, var secināt, ka vairākiem ķīmiskajiem elementiem – Fe, Mn, un Mo koncentrācijas ir ļoti līdzīgas, bet tādiem elementiem kā Ni, Cu un Zn bakalaura darbā noteiktās koncentrācijas ir pat augstākas. Lai arī Korkmaz et al. pētījumā nebija norādītas šo elementu koncentrācijas augsnē, bija minēts, ka sēklas iegūtas no tīrumiem, kuros audzē kaņepes sēklu iegūšanai, kas ļauj secināt, ka augsnes nav uzskatāmas par piesārņotām. Līdz ar to var spriest, ka kaņepju sēklās ir dabīgi augsts Fe, Mn un Zn līmenis. Tomēr, salīdzinot Ni koncentrāciju sēklās ar Linger et al. 2002 pētījumu, kur augsnē ir stipri lielāka Ni koncentrācija, arī Ni saturs kaņepju sēklās bija ievērojami augstāks, kas nozīmē, ka ar Ni piesārņotās augsnēs augušu kaņepju sēklas nav piemērotas tālākai izmantošanai.

Zem noteikšanas robežas koncentrācijas bija : Al mazāk par 2 $\mu\text{g/g}$, As mazāk par 5 $\mu\text{g/g}$, Be mazāk par 0,011 $\mu\text{g/g}$, Cd mazāk par 0,21 $\mu\text{g/g}$, Co mazāk par 0,3 $\mu\text{g/g}$, Cr mazāk par 0,5 $\mu\text{g/g}$, Li mazāk par 7 $\mu\text{g/g}$, Mo mazāk par 0,6 $\mu\text{g/g}$, Na mazāk par 20 $\mu\text{g/g}$, Pb mazāk par 1,3 $\mu\text{g/g}$, Sb mazāk par 3 $\mu\text{g/g}$, Se mazāk par 5 $\mu\text{g/g}$, Tl mazāk par 3 $\mu\text{g/g}$, V mazāk par 0,8 $\mu\text{g/g}$. Tomēr tika konstatētas vērtības: Al koncentrācija 1.parauglukumā $7,45 \pm 2,64 \mu\text{g/g}$, Cr koncentrācija vienā no 1.parauglaukuma paraugiem 0,51 $\mu\text{g/g}$, Mo koncentrācija 1.parauglukumā $1,63 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$ un vienā no 2.parauglaukuma paraugiem 0,61 $\mu\text{g/g}$, Tl koncentrācija vienā no 2.parauglaukuma paraugiem 3,75 $\mu\text{g/g}$.

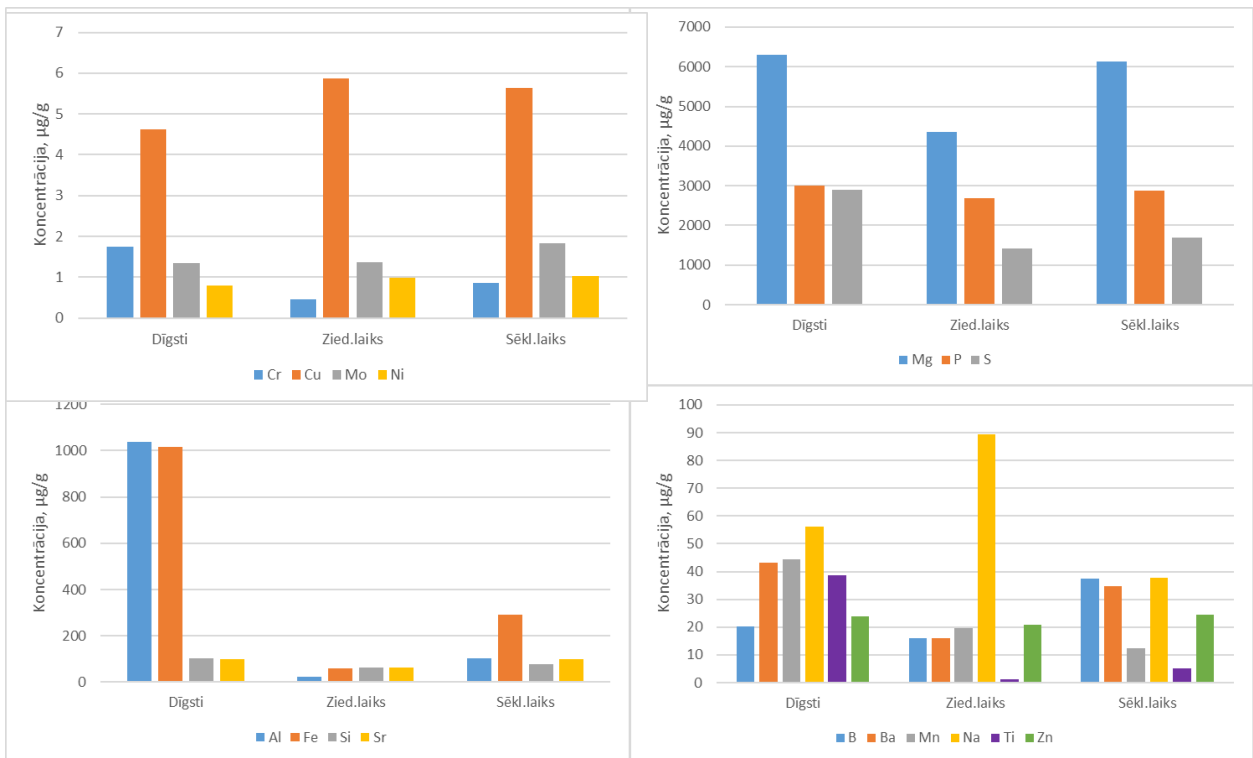
3.12.un 3.13.attēlos parādīta ķīmisko elementu vidējā koncentrācija biomasā dažādās sezonās – neilgi pēc izdīgšanas, ziedēšanas laikā un laikā, kad nobriedušas sēklas. Redzams, ka vairākiem elementiem, piemēram, B, Ca, P, Mn, Mo, Zn 1.parauglukumā koncentrācijām ir tendence palielināties, taču tādiem elementiem, kā K, Al, Fe, Ti, koncentrācijas visaugstākās ir dīgstos, un ar laiku tās samazinās. Vērojams arī, ka dažiem elementiem, piemēram, S, Si, Sr, Cr, Cu koncentrācijas 1.parauglukumā mainās nedaudz.

2.parauglukumā augam attīstoties biomasā palielinās Ca, B, Cu, Mo, koncentrācijas, bet samazinās, K, Mn, Ti, S, Al un Fe vidējās koncentrācijas. Līdzīgas koncentrācijas visā augšanas periodā saglabājas līdzīgas tādiem elementiem kā Mg, Ni, P, Sr, Zn.





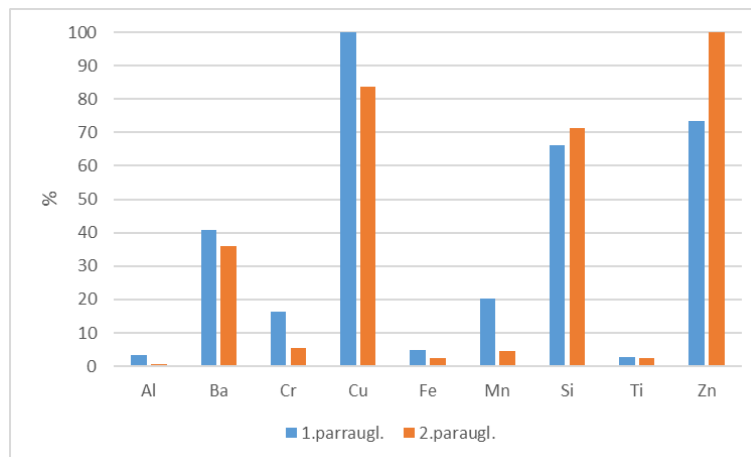
3.12.attēls. Vidējās koncentrācijas izmaiņas biomasā atkarībā no sezonas 1.parauglukumā.



3.13.attēls. Vidējās koncentrācijas izmaiņas biomasā atkarībā no sezonas 2.parauglukumā.

3.3 Datu analīzes rezultāti

Elementu pārnese no augsnes uz augu: Lai noskaidrotu, cik augsta ir ķīmisko elementu akumulācijas spēja sējas kaņepē, tika aprēķināts ķīmisko elementu daudzums %, kas no augsnes tiek pārnests uz augu ziedēšanas laikā. Vairākiem elementiem – Ca, K, Mg, Na, P, S un Sr – vidējās koncentrācijas biomasā bija lielākas nekā augsnē, tādēļ pārsniedz 100 % un grafiski nav attēlotas. Līdzīga situācija arī ar B, un Mo, kuru koncentrācijas augsnes paraugos ir zem noteikšanas robežas, bet kaņepju paraugos tās ir augstākas. 3.14.attēlā grafiski parādīta elementu pārnese no augsnes uz augu.



3.14.attēls Ķīmisko elementu pārnese no augsnes uz augu ziedēšanas laikā

Redzams, ka gandrīz visiem elementiem, izņemot Si un Zn, augstāka pārnese ir 1.parauglā, kas būtu saistāms ar to, ka 1.parauglā ir mazāks organisko vielu saturs, kas padara smagos metālus augiem vieglāk pieejamus.

Salīdzinot ķīmisko elementu pārnese no augsnes uz auga biomasu ar citiem pētījumiem – Linger et al. 2002, De Vos et al. 2022, Angelova et al.2004, Husain et al. 2019, var secināt, ka Ni pārnese no augsnes uz lapām gan šajos pētījumos, gan bakalaura darbā ir līdzīga : aptuveni 11 – 16 %. Pb un Zn pārnese no augsnes uz augu pie mazākām koncentrācijām augsnē bija augstāka, kamēr pie stiprāk piesārņotām augsnēm, pārnese no augsnes uz augu % samazinājās. Līdz ar to var spriest, ka vairāku smago metālu fitorekultivācija izmantojot sējas kaņepi būtu efektīva tikai pie neliela piesārņojuma līmeņa. Zn gadījumā gan De Vos et al., gan Angelova et al. pētījumā Zn koncentrācija kaņepju lapās bija ļoti tuva bakalaura darbā iegūtajām koncentrācijām, lai gan Zn koncentrācijas augsnēs šajos pētījumos bija pat 20 – 30 reizes augstākas, kas ļauj secināt, ka sējas kaņepe neder Zn fitorekultivācijai.

Korelāciju analīze: tika veikta, lai noskaidrotu vai, un cik stipri noteiktie ķīmiskie elementi korelē viens ar otru – kāda ir to savstarpējā ietekme uz akumulēšanos augā. Korelāciju matricas tabula redzama 3.15.attēlā. Pēc korelāciju matricas rezultātiem var secināt, ka

korelācijas pastāv un ir statistiski būtiskas starp 30 elementu pāriem, lielākoties parādot saakarības, ka makroelementu uzņemšanu augā ietekmē mikroelementi. Toties starp smagajiem metāliem pastāv šādas korelācijas : Cr koncentrāciju sējas kaņepē ietekmē Al un Ba, Fe koncentrāciju Al, Ba un Cr, Mn korelē ar Mg, Mo ar B, Zn koncentrācija korelē ar Cu.

Ar korelāciju palīdzību var izskaidrot augstāku elementu koncentrāciju starp parauglaukumiem, piemēram, papildus granulometriskā sastāva un organisko vielu daudzuma ietekmei stublājā ziedēšanas laikā augstākas koncentrācijas 1.parauglaukumā nekā 2.parauglaukumā ir elementiem, kas savstarpēji korelē, kā arī 2.parauglaukumā augstākas koncentrācijas nekā 1.parauglaukumā ir Zn un Cu, kas savā starpā korelē.

	Al	B	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Na	P	S	Si	Sr	Ti	Zn
Al	1																	
B	0,10256	1																
Ba	0,488636	0,662583	1															
Ca	0,22558	0,943508	0,804818	1														
Cr	0,773153	0,344229	0,6226	0,450414	1													
Cu	-0,25614	-0,16975	-0,30608	-0,2701	-0,16318	1												
Fe	0,982832	0,260448	0,558698	0,364196	0,800719	-0,22177	1											
K	0,632903	0,177402	0,467068	0,347388	0,602691	-0,27429	0,635479	1										
Mg	0,265107	0,892364	0,548803	0,876073	0,409678	-0,01259	0,421032	0,291764	1									
Mn	0,251877	0,470214	-0,06857	0,341694	0,258502	0,135525	0,359233	0,084049	0,691314	1								
Mo	0,15578	0,501622	0,080724	0,434159	0,061965	-0,18328	0,206803	-0,09455	0,512157	0,604478	1							
Na	-0,00314	-0,16357	-0,12406	-0,08675	-0,2301	0,286926	-0,03644	0,256432	-0,07823	-0,04256	0,424631	1						
P	-0,11864	0,138397	-0,19785	-0,00243	-0,02935	0,868944	-0,05387	-0,22104	0,350644	0,467485	-0,00513	-0,06614	1					
S	0,461207	0,375827	0,441434	0,434981	0,558613	0,487401	0,50263	0,448596	0,53677	0,294998	0,22138	0,034902	0,565676	1				
Si	-0,06831	-0,44232	-0,52338	-0,54406	-0,2794	0,641276	-0,12066	-0,17329	-0,29528	0,097025	-0,03698	-0,24778	0,584704	0,283273	1			
Sr	0,314598	0,930673	0,676779	0,945627	0,46967	-0,38122	0,449907	0,38018	0,913277	0,542437	0,508547	-0,13084	-0,08912	0,327673	-0,54166	1		
Ti	0,979042	0,113572	0,538097	0,251375	0,770288	-0,28758	0,959829	0,668506	0,247259	0,1747	0,089417	-0,09688	-0,19006	0,426115	-0,08045	0,320221	1	
Zn	-0,1066	0,259669	-0,1317	0,097964	-0,03398	0,793699	-0,0236	-0,2564	0,443617	0,528619	0,092666	-0,1296	0,979583	0,537986	0,5078	0,078409	-0,17497	1

3.15.attēls. Korelāciju matricas rezultātu tabula.

SECINĀJUMI

1. Augstākais smago metālu saturs sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) paraugos konstatēts dzelzij dīgstos un lapās ziedēšanas laikā, kā arī cinkam sēklu paraugos.
2. Ķīmisko elementu uzkrāšanās visās sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) daļās nav vienmērīga – lielākajai daļai noteikto ķīmisko elementu augstākās koncentrācijas ir tieši lapās, kamēr viszemākās koncentrācijas konstatētas sēklās un stublājā. Tomēr tādiem smagajiem metāliem kā Cu, Ni un Zn augstākās koncentrācijas konstatētas tieši sēklās.
3. Augsto Ni uzkrāšanos sēklās apstiprina arī dažādi literatūras avoti, kas ļauj secināt, ka sēklas, kas iegūtas no fitorekultivācijā izmantotām kaņepēm, ja augsnē ir bijis Ni piesārņojums, būs tālākai izmantošanai nederīgas augstās Ni koncentrācijas dēļ.
4. Tā kā liela daļa smago metālu stublājā uzkrājas mazāk nekā citās auga daļās, ko apstiprina arī literatūras avoti, pēc fitorekultivācijas beigām tos būtu iespējams tālāk izmantot, piemēram, bioenerģijas ražošanā vai būvmateriālu ražošanā, jo, kā liecina dažādi pētījumi (De Vos et al.2022), pat augot stipri piesārņotās augsnēs, smago metālu koncentrācijas stublājā ir zemākas par būvmateriālu un tekstilizstrādājumu kvalitātes robežlielumiem, līdz ar to tas paver turpmākas izmantošanas iespējas.
5. Tika secināts, ka dažādu ķīmisko elementu koncentrācijas sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) paraugos savstarpēji korelē – makroelementi un arī mikroelementi uzlabo dažādu ķīmisko elementu uzņemšanu, kas nozīmē, ka augiem pieejamie makro un mikro elementi augsnē var palielināt fitorekultivācijas efektivitāti.
6. Aplūkojot elementu pārnesi no augsnes uz augu (%) un salīdzinot to ar dažādiem literatūras avotiem, var secināt, ka fitorekultivācija ar sējas kaņepi (*Cannabis sativa L.*) būtu efektīvāka tādiem smagajiem metāliem kā Ni un Pb, jo to pārnese no augsnes uz augu (%) gan pie zemām koncentrācijām kā bakalaura darbā, gan pie citos pētījumos izmantotajām augstajām koncentrācijām ir līdzīga. Turpretī Zn koncentrāciju kaņepju paraugos piesārņojuma līmenis ietekmē maz, līdz ar to Zn fitorekultivācijai šis augs nebūs piemērots.
7. Salīdzinot elementu pārnesi no augsnes uz augu (%) ar dažādiem literatūras avotiem var secināt, ka fitorekultivācija ar sējas kaņepi (*Cannabis sativa L.*) būtu efektīva tikai gadījumos, ja piesārņojuma koncentrācija ir neliela, jo pie augstas piesārņojuma koncentrācijas augsnē elementu pārnese uz augu strauji samazinās.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Adesina, I., Bhowmik, A., Sharma, H., Shahbazi, A. 2020. A Review on the Current State of Knowledge of Growing Conditions, Agronomic Soil Health Practices and Utilities of Hemp in the United States. *Agriculture*.10, <https://doi.org/10.3390/agriculture10040129>
- Ahmad, R., Tehsin, Z., Malik, S. 2015. Phytoremediation Potential of Hemp (*Cannabis sativa* L.): Identification and Characterization of Heavy Metals Responsive Genes. *Clean – Soil Air Water*. 49, 195 - 201.
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Rehman, M., Irshad, M., Bharwana, S. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution research*. 22, 8148 – 8162.
- Amendola, G., Bocca, B., Pickardo, V., Pelosi, P., Baltistini, B., Ruggieri, F., Attard Barbini, D., De Vita, D., Messori, A., Di Santo, R., Costi, R. 2021. Toxicological aspects of cannabinoid, pesticide and metal levels detected in light cannabis inflorescences grown in Italy. *Food and Chemical Toxicology*. 156, [10.1016/j.fct.2021.112447](https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112447)
- Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V., Ivanov, K. 2004. Bio – accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton, and hemp). *Industrial Crops and Products*. 3, 197 – 205.
- Bandow, N., Simon, F. 2016. Significance of cadmium from artists' paints to agricultural soil and the food chain. *Environment Sciences Europe*. 28, <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0077-6>
- Bedemo, A., Chandravanshi, B., Zewge, T. 2016. Removal of trivalent chromium from aqueous solution using aluminium oxien hydroxide. *SpringerPlus*. 5, <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2983-x>
- Bilodean, S., Wo, B., Rutyikiri, A., MacPherson, S., Lofsrud, M. 2019. An Update on Plant Photobiology and Implications for Cannabis Production. *Cannabis Genomics, Breeding and Production*. 61 – 76.
- Burges, A. Alkorta, I., Epelde, L., Garbisu, C. 2018. From phytoremediation of soil contaminants to phytoremediation of ecosystem services in metal contaminated sites. *International Journal of Phytoremediation*. 20 (4), 384 – 397.
- Chandra, S., Lata, H., Khan, I., ElSohly, M. *Cannabis sativa* L: Botany and Horticulture. Chandra, S., Lata, H., ElSohly, M. (eds.) *Cannabis sativa* L. – Botany and Biotechnology. Switzerland, Springer International Publishing, 79 – 101.
- Crini, G., Lichtfouse, E. Chanet, G. Moren – Crini, N. 2020. Applications of hep in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages,

- nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment : a review. *Environment Chemistry Letters*. 18, 1451 – 1476.
- De Vos, B., Souza, M., Michels, E., Meers, E. 2022. Industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) in a phytoattenuation strategy: Remediation potential of a Cd, Pb and Zn contaminated soil and valorization potential of the fibers for textile production. *Industrial Crops and Products*.178, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114592>
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA). 2018. Cannabis Legislation in Europe: An Overview. Publications Office of the European Union: Luxembourg. Sk.02.03.2021.Pieejams <https://www.emcdda.europa.eu/system/files/publications/4135/TD0217210ENN.pdf>
- Farinon, B. 2020. Cannabis sativa L. Encyclopedia. Sk. 02.03.2021. Pieejams <https://encyclopedia.pub/1879>
- Farraji, H., Zaman, N., Tajuddin, R., Faraji, H. 2016. Advantages and disadvantages of phytoremediation: A concise review. *Environmental & Technological Sciences*.2, 69 – 75.
- Gavrilescu, M. 2022. Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in Biology*. 74, 21 – 31.
- Gonzalez Heano, S., Ghneim-Herrera, T. 2021. Heavy Metals in Soils and the Remediation Potential of Bacteria Associated With the Plant Microbiome. *Frontiers in Environmental Science*. 9, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.604216>
- Husain, R., Weeden, H., Bogush, D., Deguchi, M., Soleman, M., Potlakayala, S., Katam, R., Goldman, S., Rudronhatla, S. 2019. Enhanced tolerance of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) plants on abandoned mine land soil leads to overexpression of cannabinoids. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221570>
- Jiang, M., Wang, K., Zhao, Q., Wang, W. 2022. Technologies for the cobalt – contaminated soil remediation: A review. *Science of the Total Environment*. 813, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151908>
- Kibblewhite, M. 2019. Soil contamination: the unsettling legacy of industrialisation. European Environment Agency. Sk. 28.03.2021. Pieejams <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2019-content-list/articles/interview-soil-contamination-the-unsettling>
- Korkmaz, K., Kara, S., Ozkutlu, F., Gul, V. 2010. Monitoring of heavy metals and selected micronutrients in hempseed from North – Western Turkey. *African Journal of Agricultural Research*. 5(6), 463 – 467.
- Kowalska, J., Mazurek, R., Gsiorek, M., Zeleski, T. 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review. *Environmental Geochemistry and Health*. 40, 2395 – 2420.

- Kronberga, A., Pāvula, I. S.a. Kaņepju šķirnes sēklu ieguvei. Agroresursu un ekonomikas institūts. Sk. 26.03.2021. Pieejams https://www.arei.lv/sites/arei/files/files/articles/4986_001.pdf
- Kruse, D., Karus, M. S.a. History. HanfHaus. Sk. 17.03.2021. Pieejams <https://hanfhaus.de/en/history-i-2.html>
- Linger, P., Müssig, J., Fischer, H., Kobert, J. 2002. Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. *Industrial Crops and Products*. 16, 33 – 42.
- Linger, P., Ostwald, A., Haensler, J. 2005. *Cannabis sativa* L. growing on heavy metal contaminated soil: growth, cadmium uptake and photosynthesis. *Biologia Plantarum*. 49, 567 – 576.
- Lombi, E., Hamon, R. 2005. Remediation of polluted soils. Hillel, D. (eds.) *Encyclopedia of soils in the environment*. Columbia University, New York, USA, Academic Press, 379 – 385.
- Morin – Crini, N., Loiacono, S., Placet, V., Torri, G. 2019. Hemp-based adsorbents for sequestration of metals : a review. *Environment Chemistry Letters*. 17, 393 – 408.
- Natasha, N., Shahid, M., Bibi, I., Iqbal, J, Khalid, S., Murtaza, B., Bakhat, B., Farooq, A., Amjad, M., Hammad, H., Niazi, N., Arshad, M. 2022. Zinc in soil – plant – human system: A data analysis review. *Science of the Total Environment*. 808, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152024>
- Neggar, A., Ahmed, N., Mosa, A., Niazi, N., Yousaf, B., Sharma, B., Cai, Y., Chang, S. 2021. Nickel in soil and water: Sources, biochemistry, and remediation using biochar. *Journal of Hazardous Materials*. 419, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126421>
- Nikodemus, O., Kārklīņš, A., Kļaviņš, M., Melecis, V. 2008. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga : LU Akadēmiskais apgāds.
- Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem. Latvijas Republikas Ministru Kabineta noteikumi Nr.804. Pieņemti 25.10.2005.
- Orellana, E., Custodio, M., Bastos, M., Cuadrado, W. 2019. Lead in Agricultural soils and Cultivated Pastures Irrigated with River Water Contaminated by Mining activity. *Journal of Ecological Engineering*. 20 (8), 238 – 244.
- Pandey, V., Bajpai, O., Singh, N. 2016. Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54, 58 – 73.
- Par piesārņojumu. Pieņemts 15.03.2001. Latvijas Republikas Saeima.
- Pasricha, S., Mathur, V., Garg, A., Lenka, S., Verma, K., Agarwal, S. 2021. Molecular mechanisms underlying heavy metal uptake translocation and tolerance in hyperaccumulators – an analysis : Heavy metal tolerance in hyperaccumulators. *Environmental Challenges*. 4, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100197>

- Pleiksnis, S., Sinka, M., Sahmenko, G. 2015. Experimental justification for sapropel and hemp shives use as a thermal insulation in Latvia. *Environment. Technology. Resources*.1, 175 – 181.
- Poisa, L., Adamovics, A. 2010. Hemp (*Cannabis sativa L.*) as an Environmentally Friendly Energyplant. *Scientific Journal of Riga Technical University*. 5, 80 – 85.
- Potenciāli piesārņotu vietu apzināšana un izpēte. 2019. Innovative Sustainable Remediation. Sk.08.11.2020.Pieejams https://meteo.v/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Brosura_Potenciali%20piesarnotu%20vietu%20apzinasana%20un%20izpete_04_2019.pdf
- Rajendran, S., Priyo, T., Khoo, K., Hoang, T. 2022. A critical review on various remediation approaches for heavy metal contaminants removal from contaminated soils. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132363>
- Reimann, C., Fabian, K., Birke, M., Filzmoser, P., Demetriades, A., Negrel, P., Oorts, K., Matschullat, J., Caritat, P. 2018. GEMAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soils. *Applied Geochemistry*. 88, 302 – 318.
- Rheay, H., Omondi, E., Brewer, C. 2020. Potential of hemp (*Cannabis sativa L.*) for paired phytoremediation and bioenergy production. *GCB – Bioenergy*. 13 (4), 525 – 536.
- Rodriguez Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D. 2018. *Soil pollution : a hidden reality*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rokasgrāmata piesārņotu vietu plānošanā. 2014. Vidzemes plānošanas regions. Sk. 08.11.2020.Pieejams www.vidzeme.lv/upload/lv/Regionalie_petijumi/Rokasgramata_piesarnoto_vietu_planosana_i_pdf
- Rudnick, R., Gao, S. 2003. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*. 3, 1 – 64.
- Sappa, G., Barbieri, M., Andrei, F. 2020. Assessment of trace elements natural enrichment in topsoil by some Italian case studies. *SN Applied Sciences*. 1409, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03214-y>
- Shah, V. Davery, A. 2020. Phytoremediation : A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*. 18, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>
- Small, E. 2017. Classification of *Cannabis sativa L.* in Relation to Agricultural, Biotechnological, Medical and Recreational Utilization. Chandra, S., Lata, H., ElSohly, M. (eds.) *Cannabis sativa L. – Botany and Biotechnology*. Switzerland, Springer International Publishing, 1 – 63.

- Strazds, G., Stramkale, V. Laizāns, T. 2012. Ieteikumi rūpniecisko kanepju audzētājiem un pārstrādātājiem. Biznesa augstskola Turība. Rīga. Sk. 04.12.2020. Pieejams http://lathemp.lv/wp-content/uploads/2014/03/Rokasgramata_kanepju_audzetajiem_un_parstradatajiem.pdf
- Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., Macek, T. 2018. Phytoextraction of heavy Metals : A promising Tool for Clean – Up of Polluted Environment. *Front Plant Sci.* 9, <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01476>
- Sut-Lohmann, M., Jonczak, J., Raab, T. 2020. Phytofiltration of chosen metals by aquarium liverwort (*Monosoleum tenerum*). *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 188, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109844>
- Tonelli, F., Bhat, R., Dar, C., Hakeem, K. 2021. The history of phytoremediation. Bhat, R. Et.al. (eds.) *Phytoremediation. Biotechnological Strategies for Promoting Invigorating Environs.* London (etc.) Academic Press. 49 – 76.
- Yan, A., Weng, Y. Tan, S., Yosof, M., Ghosh, S., Chen, Z. 2020. Phytoremediation : A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal Polluted Land. *Frontiers in Plant Science.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Yang, P., Wang, S. 2021. Sorption and speciation of molybdate in soils : Implications for molybdenum mobility and availability. *Journal of Hazardous Materials.* 408, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124934>
- Vagi, E., Balazs, M., Komoczi, A., Mihalovits, M., Szekely, E. 2020. Fractionation of phytocannabinoids from industrial hemp residues with high-pressure technologies. *The Journal of Supercritical Fluids.* 164, 1 – 9.
- Valujeva, K., Burlakovs, J., Grīnfeldē, I., Pilecka, J., Jani, Y., Hogland, W. 2018. Phytoremediation as tool for prevention of contaminant flow to Hydrological systems. *Annual 24th International Scientific Conference Research for Rural Development.* Jelgava, 188 – 194.
- Vincēviča – Gaile, Z., Kļaviņš, M. 2012. Transfer of Metals in Food Chain: An Example with Copper and Lettuce. *Environmental and Climate Technologies.* 10, 21 – 24.
- Zulfiqar, U., Farooq, M., Hussain, S., Maqsood, M., Hussain, M., Ishfaq, M., Ahmad, M., Anjum, M. 2019. Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. *Journal of Environmental Management.* 250, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109557>

PIELIKUMI

Izmantotās augsnes iesvaru masas ķīmisko elementu analīzēm

Parauga Nr.	Nosaukums	Masa, g
1.	Dīgsti 1.1	0,5431
2.	Dīgsti 1.2	0,5696
3.	Dīgsti 2.1	0,5009
4.	Dīgsti 2.2	0,5092
5.	Stublājs (zied.l) 1.1	0,4157
6.	Stublājs (zied.l) 1.2	0,4990
7.	Stublājs (zied.l) 2.1	0,5037
8.	Stublājs (zied.l) 2.2	0,5216
9.	Lapas (zied.l) 1.1	0,3290
10.	Lapas (zied.l) 1.2	0,2538
11.	Lapas (zied.l) 2.1	0,5094
12.	Lapas (zied.l) 2.2	0,5046
13.	Ziedi 1.1	0,1089
14.	Ziedi 2.1	0,3138
15.	Ziedi 2.2	0,2629
16.	Lapas 1.1	0,5027
17.	Lapas 1.2	0,5006
18.	Lapas 2.1	0,4045
19.	Lapas 2.2	0,4080
20.	Stublājs 1.1	0,5097
21.	Stublājs 1.2	0,5455
22.	Stublājs 2.1	0,5242
23.	Stublājs 2.2	0,5135
24.	Sēklas 1.1	0,5016
25.	Sēklas 1.2	0,3914
26.	Sēklas 2.1	0,5456
27.	Sēklas 2.2	0,5136
28.	Augsne 1.1	0,2138
29.	Augsne 1.2	0,2155
30.	Augsne 2.1	0,2153
31.	Augsne 2.2	0,2738

Augsnes paraugu iesvara masas organisko vielu satura noteikšanai

Nr.	Parauglaukums	Masa, g
1.	1.parauglaukums	0,20242
2.	1.parauglaukums	0,33260
3.	1.parauglaukums	0,25382
4.	2.parauglaukums	0,10067
5.	2.parauglaukums	0,15709
6.	2.parauglaukums	0,10544

Augsnes profili



1.parauglākuma augsnes profils



2.parauglākuma augsnes profils

Ķīmisko elementu koncentrācijas noteikšanas rezultāti, µg/g

Nr.	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr
1.	374,13	<5	24,32	18,63	<0,011	27524,81	<0,21	<0,3	1,27
2.	366,11	<5	25,07	17,49	<0,011	28101,69	<0,21	<0,3	1,04
3.	966,31	<5	19,66	41,77	<0,011	25200,06	<0,21	0,33	1,76
4.	1113,31	<5	20,66	44,80	<0,011	29512,10	<0,21	0,29	1,73
5.	39,05	<5	12,00	7,45	<0,011	6386,74	<0,21	<0,3	0,87
6.	29,19	<5	11,20	7,34	<0,011	5728,05	<0,21	<0,3	0,86
7.	18,08	<5	9,24	9,90	<0,011	4892,28	0,22	<0,3	0,62
8.	19,69	<5	9,22	10,04	<0,011	4834,57	0,13	<0,3	0,22
9.	376,74	<5	42,91	17,79	<0,011	41974,12	<0,21	<0,3	1,01
10.	458,99	<5	44,42	17,90	<0,011	42951,15	<0,21	0,26	1,62
11.	27,24	<5	23,39	22,82	<0,011	37959,80	<0,21	<0,3	<0,5
12.	28,23	<5	22,46	21,56	<0,011	37181,88	<0,21	<0,3	0,48
13.	330,38	<5	23,89	9,11	0,02	19074,78	<0,21	0,43	0,59
14.	24,84	4,65	20,60	12,34	<0,011	11281,68	<0,21	<0,3	<0,5
15.	26,90	<5	24,37	11,37	<0,011	14378,35	<0,21	4,40	1,03
16.	151,34	<5	63,69	23,66	<0,011	55416,39	<0,21	<0,3	0,79
17.	164,26	<5	73,68	24,79	<0,011	61537,57	<0,21	<0,3	0,96
18.	119,54	<5	63,98	59,29	<0,011	70028,34	<0,21	0,30	1,07
19.	127,07	<5	68,88	55,21	<0,011	75138,58	<0,21	0,31	1,38
20.	34,97	<5	13,52	10,42	<0,011	6684,16	<0,21	<0,3	0,53
21.	41,57	<5	12,32	9,37	<0,011	5446,61	<0,21	<0,3	<0,5
22.	132,34	<5	9,20	12,83	<0,011	4070,53	<0,21	<0,3	0,51
23.	25,15	<5	8,12	11,98	<0,011	3871,13	<0,21	0,30	<0,5
24.	4,80	<5	11,76	3,47	<0,011	2164,17	<0,21	<0,3	<0,5
25.	10,09	<5	12,41	2,12	<0,011	2994,32	<0,21	<0,3	0,51
26.	<2	<5	10,38	1,93	<0,011	1284,52	<0,21	<0,3	<0,5
27.	<2	<5	10,90	2,23	<0,011	1442,22	<0,21	<0,3	<0,5
28.	6934,66	<5	<10	31,38	<0,011	1954,59	<0,21	2,43	6,55
29.	6760,54	<5	<10	30,53	<0,011	2005,03	<0,21	2,06	6,87
30.	14023,92	<5	<10	94,50	0,09	5107,43	<0,21	4,91	14,23
31.	14884,07	<5	<10	98,89	0,09	4982,20	<0,21	5,18	17,44

Nr.	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni
1.	4,43	408,39	29444,51	<7	8820,86	65,79	1,08	46,79	<0,3
2.	4,38	401,33	28289,78	<7	9084,19	68,03	0,97	28,40	<0,3
3.	4,38	965,62	35538,53	<7	5864,80	39,20	1,38	46,93	<0,3
4.	4,86	1062,93	31544,33	<7	6751,33	49,68	1,31	65,36	0,80
5.	3,15	53,04	21717,88	<7	1862,86	32,95	0,58	45,62	<0,3
6.	2,39	39,26	20707,60	<7	1694,96	30,08	0,80	40,06	<0,3
7.	5,35	23,24	20272,81	<7	1462,44	9,83	<0,6	132,76	0,60
8.	5,02	26,10	20388,66	<7	1452,65	10,08	<0,6	76,28	<0,3
9.	4,66	391,72	20002,98	<7	9927,61	98,10	4,12	101,03	0,90
10.	3,83	464,01	20025,47	<7	10152,57	103,69	3,92	<20	0,76
11.	6,41	89,83	23014,12	<7	7376,17	29,23	1,36	76,43	1,28
12.	6,60	94,34	21806,90	<7	7128,24	29,41	1,36	72,24	1,45
13.	7,41	340,64	25677,00	<7	6118,79	59,26	3,34	<20	<0,3
14.	10,76	78,45	22451,01	<7	3315,29	33,81	1,05	<20	<0,3
15.	17,10	109,71	22586,98	<7	4386,53	34,30	1,17	<20	<0,3
16.	4,65	323,93	16953,16	<7	14953,18	109,74	1,89	<20	<0,3
17.	4,77	326,54	13716,51	<7	15133,01	107,80	2,76	34,04	<0,3
18.	7,70	211,78	20872,07	<7	11375,42	21,51	1,36	54,65	1,02
19.	7,58	228,86	18175,81	<7	11144,61	18,56	2,31	25,28	<0,3
20.	3,13	49,52	6477,87	<7	1298,07	35,14	<0,6	31,50	<0,3
21.	2,79	52,28	6290,92	<7	1137,35	36,58	<0,6	36,96	<0,3
22.	3,82	109,15	5481,88	<7	1123,74	5,06	<0,6	36,48	<0,3
23.	3,44	34,67	4716,21	<7	904,32	4,44	<0,6	34,96	<0,3
24.	19,86	106,49	9527,57	<7	5769,12	79,55	1,60	<20	0,66
25.	22,09	109,47	10234,23	<7	5784,52	80,70	1,66	<20	2,49
26.	15,88	114,48	7417,66	<7	4669,97	43,07	<0,6	<20	1,44
27.	16,32	113,51	7487,54	<7	4670,32	42,66	0,61	<20	0,81
28.	3,44	4788,21	965,41	6,57	854,28	332,77	<0,6	<20	6,31
29.	3,54	4697,94	938,17	<7	887,82	316,11	<0,6	47,08	5,50
30.	7,52	11607,06	1946,86	11,55	2165,67	275,42	<0,6	31,90	12,23
31.	5,95	11459,22	2021,50	12,86	2142,34	278,18	<0,6	<20	6,83

Nr.	P	Pb	S	Sb	Se	Si	Sr	Ti	Tl	V	Zn
1.	3749,69	<1,1	2022,45	<3	<5	102,57	127,16	17,36	<3	<0,8	27,94
2.	3606,82	<1,1	1941,16	<3	<5	82,39	130,77	15,75	<3	<0,8	26,21
3.	2928,45	<1,1	2823,31	<3	<5	102,35	93,25	34,83	<3	1,29	23,47
4.	3073,79	<1,1	2986,42	<3	<5	101,51	105,75	42,23	<3	1,97	24,50
5.	2226,92	<1,1	620,15	<3	<5	150,79	42,54	1,77	<3	<0,8	12,19
6.	2114,27	<1,1	575,20	<3	<5	129,61	38,64	1,53	<3	<0,8	11,33
7.	1912,51	<1,1	678,73	<3	<5	67,56	23,38	0,71	<3	<0,8	16,92
8.	1982,38	<1,1	688,97	<3	<5	79,90	23,36	1,16	<3	<0,8	16,08
9.	3383,12	1,27	2161,77	<3	<5	56,32	159,87	5,91	<3	<0,8	25,52
10.	3420,26	<1,1	2065,82	<3	8,79	73,13	163,71	15,94	<3	<0,8	25,83
11.	3463,22	<1,1	2148,25	<3	<5	55,86	101,62	1,48	<3	<0,8	24,49
12.	3418,35	<1,1	2117,96	<3	<5	53,76	97,86	1,74	<3	<0,8	25,40
13.	6155,22	<1,1	3199,54	<3	<5	375,56	80,32	14,40	<3	<0,8	49,38
14.	5147,70	<1,1	2476,81	<3	<5	156,58	38,76	2,09	<3	<0,8	35,32
15.	6184,59	<1,1	2747,10	<3	<5	158,13	46,32	1,89	<3	<0,8	42,88
16.	7009,64	<1,1	1621,47	<3	<5	49,20	221,78	2,04	<3	<0,8	62,30
17.	7319,98	<1,1	1641,77	<3	<5	39,69	234,37	7,19	<3	<0,8	72,89
18.	5048,18	<1,1	2844,81	<3	<5	52,01	181,19	6,59	<3	<0,8	40,13
19.	4984,42	1,50	3034,00	<3	<5	42,11	183,81	7,02	<3	<0,8	43,24
20.	1073,58	<1,1	571,26	<3	<5	89,51	43,38	1,67	<3	<0,8	16,52
21.	1038,83	<1,1	509,39	<3	<5	109,39	42,00	1,93	<3	<0,8	14,33
22.	870,60	<1,1	487,37	<3	<5	157,84	19,73	5,53	<3	<0,8	7,13
23.	601,81	<1,1	385,28	<3	<5	52,98	17,80	1,22	<3	<0,8	6,23
24.	11816,29	<1,1	2254,83	<3	<5	280,74	11,09	0,62	<3	<0,8	86,61
25.	11658,54	<1,1	2320,79	<3	<5	290,05	13,91	0,95	<3	<0,8	85,46
26.	10682,38	<1,1	2508,47	<3	<5	228,77	5,12	0,10	3,75	<0,8	76,05
27.	10236,01	<1,1	2515,79	<3	<5	199,77	5,45	0,21	<3	<0,8	74,78
28.	582,90	5,71	152,54	<3	6,83	165,20	14,86	225,29	<3	9,17	25,36
29.	544,74	6,96	156,29	<3	4,98	144,60	15,10	210,06	<3	9,11	25,57
30.	512,63	9,04	572,88	<3	<5	113,47	34,81	363,06	<3	19,30	24,20
31.	503,56	8,48	547,56	<3	<5	99,93	35,31	369,04	2,57	20,36	23,72

Ķīmisko elementu vidējās koncentrācijas kaņepju paraugos, µg/g

	1.parauglaukums						
	dīgsti	Lapas(z)	Stub.(z)	ziedi	lapas	Stub.	sēklas
Al	370,12±4,0 1	417,86±4 1,12	34,12±4,9 3	330,38	157,80±6, 46	38,27±3,23	7,45±2,64
B	24,69±0,37	43,66±0,7 5	11,60±0,3 9	23,89	68,68±5,0 0	12,92±0,60	12,09±0,32
Ba	18,06±0,27	17,84±0,0 6	7,39±0,06	9,11	24,23±0,5 7	9,90±0,52	2,80±0,67
Ca	27813,25±2 88,44	42462,63 ±488,51	6057,39± 329,34	19074,78	58476,98± 3060,59	6065,38±618, 78	2579,24±4 15,07
Co	<0,3	0,26	<0,3	0,43	<0,3	<0,3	<0,3
Cr	1,15±0,08	1,31±0,21	0,86±0,00 1	0,59	0,87±0,06	0,53	0,51
Cu	4,41±0,01	4,25±0,29	2,77±0,27	7,41	4,71±0,04	2,96±0,12	20,97±0,79
Fe	404,86±2,5 0	427,87±2 5,56	46,15±4,8 7	340,64	325,24±0, 92	50,90±0,98	107,98±1,0 5
K	28867,15±5 77,36	22410,50 953	21212,74 ±505,14	25677	15334,83± 1618,33	6384,39±93,4 8	9880,90±3 53,33
Mg	8952,52±13 1,66	7252,207 569	1778,91± 83,92	6118,79	15043,10± 89,91	1217,71±80,3 6	5776,82±7, 70
Mn	66,91±0,79	100,89±1, 98	31,52±1,0 2	59,26	108,77±0, 69	35,86±0,51	80,12±0,41
Mo	1,15±0,04	4,02±0,07	0,69±0,08	3,34	2,33±0,31	<0,6	1,63±0,02
Na	37,60±9,19	101,03	42,84±2,7 8	<20	34,04	34,23±2,73	<20
Ni	<0,3	0,83±0,05	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1,57±0,65
P	3678,26±71 ,44	3401,69± 18,57	2170,59± 56,33	6155,22	7164,81±1 55,17	1056,21±17,3 8	11737,42± 78,87
S	1981,81±40 ,65	2113,79± 47,98	597,67±2 2,47	3199,54	1631,62±1 0,15	540,32±30,93	2287,81±3 2,98
Si	92,48±10,1 0	64,72±8,4 0	140,12±1 0,59	375,56	44,44±4,7 6	99,45±9,94	285,39±4,6 5
Sr	128,96±1,8 1	161,79±1, 92	40,59±1,9 5	80,32	228,07±6, 29	42,69±0,69	12,50±1,41
Ti	16,55±0,81	10,92±5,0 1	1,65±0,12	14,4	4,62±2,58	1,80±0,13	0,79±0,16
Zn	27,07±0,61	25,67±0,1 1	11,76±0,3 0	49,38	67,60±3,7 4	15,42±0,78	86,04±0,41

	2.parauglāukums						
	dīgsti	Lapas(z)	Stub.(z)	ziedi	lapas	Stub.	sēklas
Al	1039,81±73, 50	27,73±0,49	18,88±0,80	25,87±1,03	123,30±3, 77	78,75±53, 60	<2
B	20,16±0,50	22,92±0,46	9,23±0,01	22,48±1,89	66,43±2,4 5	8,66±0,54	10,64±0,26
Ba	43,28±1,52	22,19±0,63	9,97±0,07	11,85±0,49	57,25±2,0 4	12,40±0,4 2	2,08±0,15
Ca	27356,08±21 56,02	37570,84±3 88,96	4863,42±28 ,86	12830,02±15 48,34	72583,46 ±2555,12	3970,83± 99,70	1363,37±7 8,85
Co	0,31±0,01	<0,3	<0,3	4,40	0,310±0,0 03	0,30	<0,3
Cr	1,74±0,01	0,48	0,42±0,14	1,03	1,22±0,11	0,51	<0,5
Cu	4,62±0,17	6,50±0,07	5,19±0,12	13,93±2,24	7,64±0,04	3,63±0,14	16,10±0,16
Fe	1014,28±34, 4	92,09±1,59	24,67±1,01	94,08±11,05	220,32±6, 04	71,91±26, 3	113,99±0,3 4
K	33541,43±19 97,10	25677,00±6 03,61	20330,74±5 7,93	22519,00±67 ,99	19523,94 ±1348,13	5099,04± 382,84	7452,60±3 4,94
Mg	6308,07±443 ,27	6118,79±12 3,96	1457,54±4, 89	3850,91±535 ,62	11260,01 ±115,40	1014,03± 109,71	4670,15±0, 18
Mn	44,44±3,7	29,32±0,06	9,96±0,09	34,06±0,17	20,03±1,0 4	4,75±0,22	42,86±0,15
Mo	1,35±0,03	1,3602±0,0 004	<0,6	1,11±0,04	1,84±0,34	<0,6	0,61
Na	56,15±9,22	74,34±2,09	104,52±28, 24	<20	39,96±14, 69	35,72±0,7 6	<20
Ni	0,80	1,36±0,06	0,6	<0,3	1,02	<0,3	1,13±0,22
P	3001,12±72, 67	3440,78±22 ,43	1947,45±34 ,94	5666,15±518 ,45	5016,30± 31,88	736,20±1 34,40	10459,19± 223,18
S	2904,87±81, 55	2133,11±15 ,14	683,85±5,1 2	2611,96±135 ,15	2939,40± 94,59	436,32±5 1,04	2512,13±3, 66
Si	101,93±0,42	54,81±1,05	73,73±6,17	157,36±0,78	47,06±4,9 5	105,41±5 2,43	214,27±14, 50
Sr	99,50±6,25	99,74±1,88	23,37±0,01	42,54±3,78	182,50±1, 31	18,77±0,9 6	5,28±0,17
Ti	38,53±3,70	1,61±0,13	0,93±0,22	1,99±0,10	6,80±0,21	3,382,15	0,15±0,06
Zn	23,99±0,36	24,94±0,32	16,50±0,30	39,10±0,67	41,96±1,1 0	6,68±0,32	75,41±0,50

Ķīmisko elementu vidējās koncentrācijas augsnes paraugos, $\mu\text{g/g}$

Elements	1.parauglaurkums	2.parauglaurkums
Al	6847,60 \pm 87,06	14454,00 \pm 430,07
Ba	30,96 \pm 0,42	96,70 \pm 2,19
Be	<0,011	0,086 \pm 0,001
Ca	1979,81 \pm 25,22	5044,82 \pm 62,61
Co	2,24	5,05 \pm 0,1
Cr	6,71 \pm 0,11	15,84 \pm 1,13
Cu	3,49 \pm 0,04	6,74 \pm 0,55
Fe	4743,08 \pm 31,92	11533,14 \pm 52,27
K	951,79 \pm 13,62	1984,18 \pm 37,32
Li	6,57	12,21 \pm 0,65
Mg	871,05 \pm 16,77	2154,00 \pm 11,66
Mn	324,44 \pm 5,89	276,80 \pm 0,98
Na	47,08 \pm 15,54	31,90 \pm 5,35
Ni	5,91 \pm 0,29	9,53 \pm 1,92
P	563,82 \pm 19,08	508,10 \pm 4,54
Pb	6,34 \pm 0,44	8,76 \pm 0,2
S	154,42 \pm 1,87	560,22 \pm 12,66
Se	5,90 \pm 0,93	<5
Si	154,90 \pm 10,30	106,70 \pm 6,77
Sr	14,98 \pm 0,12	35,06 \pm 0,25
Ti	217,68 \pm 7,62	217,68 \pm 2,99
V	9,14 \pm 0,20	19,83 \pm 0,37
Zn	25,47 \pm 0,08	23,96 \pm 0,17