

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE  
AUGU FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

**LAUKSAIMNIECĪBĀ POTENCIĀLI IZMANTOJAMO  
KALCIJA/DZELZS OKSĪDU KOMPOZĪTMATERIĀLU  
IETEKME UZ AUGU AUGŠANU UN FIZIOLOĢISKO  
STĀVOKLI**

BAKALaura DARBS

Autors: **Katrīna Anna Ozoliņa**

Stud. Apl. Nr. ko21026

Darba vadītāji: Ph.D. Rūta Ozola-Davidāne  
profesors, Dr. Habil. Biol. Ģederts Ieviņš

RĪGA 2024

## KOPSAVILKUMS

Fosfors (P) ir būtiska augu barības viela, kā arī kritiska izejviela. Eiropas Savienība ir pilnībā atkarīga no P saturošu mēslošanas līdzekļu importa. Tas radījis aktualitāti izpētīt alternatīvus mēslošanas līdzekļus, piemēram, ražotus no notekūdeņiem. Šī darba mērķis ir novērtēt notekūdeņu attīrīšanā izmantojamo kalcija/dzelzs (CaFe) oksīdu kompozītmateriālu ietekmi uz *Triticum aestivum* un *Vicia faba* augšanu un fizioloģisko stāvokli un to potenciālu izmantošanai lauksaimniecībā. Darbā veica augu augšanas eksperimentus hidroponikas un augsnes sistēmās. Hidroponikas eksperimentos ar *Triticum aestivum* CaFe oksīdi no divām atradnēm un komerciāli pieejamais *Polonite* uzlaboja augu augšanu. Augsnes testos CaFe oksīds negatīvi ietekmēja *Vicia faba*, bet *Polonite* bija neitrāls efekts. Rezultāti norādīja, ka CaFe oksīdi ir potenciāli izmantojami lauksaimniecībā, taču nepieciešami turpmāki pētījumi par to īpašībām augsnē.

Atslēgvārdi: Kalcija/dzelzs oksīds; dīgstu un augu augšanas testi; fitotoksicitāte; barības vielu atgūšana; mēslošanas līdzekļi.

## SUMMARY

### **Effect of calcium/iron oxide composites with potential use in agriculture on plant growth and physiological state**

Phosphorus (P) is an essential plant nutrient and a critical resource. European Union is completely dependent on P-containing fertiliser import. This has made it relevant to research alternative fertilisers, for example, ones made from wastewater. This study aims to evaluate the effect of calcium/iron oxide (CaFe) composites used for wastewater treatment on *Triticum aestivum* and *Vicia faba* growth and physiology and their potential for use in agriculture. The study examined plant growth experiments in hydroponics and soil systems. In experiments in hydroponics with *Triticum aestivum* CaFe oxides from two deposits and commercially available *Polonite* increased plant growth. However, in soil experiments, CaFe oxide negatively affected *Vicia faba*, but *Polonite* had a neutral effect. Results showed that CaFe oxides have the potential to be used in agriculture. However, more research is needed about their characteristics in soil.

Keywords: calcium/iron oxide; shoot and plant growth tests; phytotoxicity; nutrient recovery; fertilisers.

## SATURA RĀDĪTĀJS

KOPSAVILKUMS.....	2
SUMMARY .....	3
IEVADS .....	5
1. LITERATŪRAS APSKATS .....	7
1.1. Augu minerālā barošanās un tās nodrošināšana mērenā klimata augsnēs .....	7
1.2. Augu minerālo barošanos nodrošinošo līdzekļu raksturojums .....	9
1.3. Augu minerālās barošanās pētījumu metodes .....	13
2. MATERIĀLI UN METODEDES.....	15
2.1. Pētījumā izmantotie minerālmateriālu paraugi .....	15
2.2. Pētījumā izmantotās augsnes apraksts .....	16
2.3. Vasaras kviešu <i>Triticum aestivum</i> dīgstu augšanas testi .....	16
2.4. Lauka pupu <i>Vicia faba</i> augšanas testi.....	17
2.5. Datu analīze .....	19
3. REZULTĀTI .....	20
3.1. Minerālmateriālu ietekme uz parasto kviešu <i>Triticum aestivum</i> dīgstu augšanu .....	20
3.2. Minerālmateriālu ietekme uz augšanas substrātu .....	24
3.3. Minerālmateriālu ietekme uz lauka pupu <i>Vicia faba</i> morfoloģiju.....	26
3.4. Minerālmateriālu ietekme uz lauka pupu <i>Vicia faba</i> fotosintēzes rādītājiem un hlorofila koncentrāciju .....	32
4. DISKUSIJA .....	37
SECINĀJUMI .....	40
PATEICĪBAS .....	41
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	42
PIELIKUMI.....	46
DOKUMENTĀRĀ LAPA .....	50

## IEVADS

Lauksaimniecībā izmantojamie minerālmēslojumi uzlabo iespējas iegūt labāku ražu, taču tie izraisa arī vides piesārņojumu. Kultūraugi uzņem tikai daļu no augsnei pievienotā mēslojuma, piemēram, augi uzņem tikai 15-30% no augsnei pievienotā fosfora (Veneklaas u.c., 2012). Liela daļa kultūraugu neizmantoto barības vielu nokļūst virszemes ūdenstilpnēs, vecinot eitrofikāciju, kas samazina bioloģisko daudzveidību ūdens un piekrastes biotopos. Tāpat arī eitrofos ūdeņos novērojama intensīva aļģu attīstība, kas ir kaitīga cilvēku veselībai. Šobrīd pieaug aktualitāte meklēt risinājumus, kā mēslojumu lietot efektīvāk un kā aizvietot minerālmēslojumus ar ilgtspējīgākām alternatīvām (Cucarella u.c., 2012; Tóth u.c., 2014). Pamatojoties uz fosfora resursu trūkumu Eiropas Savienībā (ES) fosfors un fosforīts ir iekļauts kritisko izejvielu sarakstā (European Commission, 2014), un lielāko daļu fosfora, galvenokārt minerālmēslojumu ražošanai, importē no valstīm ārpus ES (Karasa u.c., 2023; Tóth u.c., 2014). Tāpēc nozīmīgi atrast alternatīvas fosfora iegūšanai no Eiropas Savienībā pieejamiem resursiem. Viena alternatīva ir barības vielu atgūšana no notekūdeņiem izmantojot minerālmateriālus vai citus sorbentus, kas adsorbē barības vielas notekūdeņos. Viens no šādiem materiāliem ir *Polonite*, kas ražots Polijā no tur iegūstama opoka nogulumieža. Šo materiālu izmanto notekūdeņu attīrīšanai no biogēniem elementiem un pēc tam piesātinātu materiālu ar fosforu izmantot augsnes ielabošanā (Cucarella u.c., 2009; Gustafsson u.c., 2008). Latvijā divās atradnēs iegūstams kalcijs/dzelzs oksīds ar līdzīgām īpašībām kā *Polonite*, kas efektīvi saista fosforu no komunālo notekūdeņu attīrīšanas iekārtām un kam ir potenciāls izmantošanai lauksaimniecībā (Karasa u.c., 2023). Lai pārbaudītu šo minerālmateriālu potenciālu izmantošanai lauksaimniecībā, jāizvērtē to iespējas veicināt augu augšanu. Šis pētījums ir pirmais zinātniskais darbs, kur tiek apskatīta konkrētā minerālmateriāla ietekme uz augu augšanu un potenciāla izvērtēšana lauksaimniecībā.

**Darba mērķis** ir novērtēt notekūdeņu attīrīšanā izmantojamo kalcijs/dzelzs oksīdu kompozītmateriālu ietekmi uz *Triticum aestivum* un *Vicia faba* augšanu un fizioloģisko stāvokli un to potenciālu izmantošanai lauksaimniecībā.

### **Darba uzdevumi:**

1. Veikt eksperimentālu pētījumu par kalcijs/dzelzs oksīdu un komerciāli pieejamā *Polonite* ietekmi uz *Triticum aestivum* augšanu hidroponikas sistēmā,
2. Veikt eksperimentālu pētījumu par kalcijs/dzelzs oksīda un komerciāli pieejamā *Polonite* ietekmi uz *Vicia faba* augšanu un fizioloģiju augsnē;

3. Balstoties uz eksperimentālo pētījumu rezultātiem izvērtēt kalcija/dzels oksīda un komerciāli pieejamā *Polonite* izmantošanas iespējas lauksaimniecībā.

**Bakalaura darba rezultātu aprobācija:** pētījuma rezultāti ir publicēti trīs starptautiskās zinātniskā konferencēs un tiek gatavots zinātnisks raksts žurnāla “Journal of Science of the Total Environment”, kas ir indeksēts SCOPUS datubāzē (IF<sub>2023</sub> =9.8).

- M. Hivrica, M., **Ozolīna, K. A.**, Mikosa, L. I. , Karasa, J., Gruskevica, K., Ozola-Davidane, R. 2023. Efficiency of phosphorus removal and recovery from municipal wastewater using natural minerals. *64th International Scientific conference of Riga Technical University, seminar “Bioenergy Technologies and Biotechnologies”*. Rīga, Latvija.
- **Ozolīna, K. A.**, Ozola-Davidāne, R., Ieviņš, Ģ. 2024. Effects of calcium/iron oxide composites used for phosphorus removal from wastewater on plant growth in hydroponic and soil-based systems. *International Conference Water and Sewage in the Circular Economy Model (CeWater)*, Krakova, Polija.
- Karasa, J. Ozola-Davidāne, R., **Ozolīna, K. A.**, Gruškeviča, K., Mikosa, L.I., Kotjukovs, J. 2024. Calcium Iron Composites for Phosphorus Removal from Municipal Wastewaters and Its Potential Reuse in Agriculture: Case Study of Latvia. *International Conference on Wider-Uptake of Water Resource Recovery from Wastewater Treatment & 7th IWA Regional Membrane Technology Conference*, Palermo, Itālija.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Augu minerālā barošanās un tās nodrošināšana mērenā klimata augsnēs

Augi lielāko daļu sev nepieciešamo barības vielu uzņem no augsnes. Lielākajā daudzumā nepieciešamie elementi, kas nodrošina augu barošanos, ir slāpeklis (N), fosfors (P) un kālijs (K). Slāpeklis vajadzīgs vislielākajā daudzumā, tas nepieciešams aminoskābju, proteīnu, nukleīnskābju un šūnu membrānu veidošanai. N trūkums traucē augu augšanu, samazina fotosintēzi un lapu izmēru, kā arī veicina augu novecošanos (Mu & Chen, 2021). Gadījumos, kad N trūkums parādās lēnām, augos var uzkrāties ogļhidrāti, jo tie netiek izmantoti N metabolismā. Tomātiem un kukurūzai raksturīgi, ka no šiem ogļhidrātiem mēdz sintezēties antocianīni, kas izraisa zili violetu krāsojumu lapām un stumbriem (Taiz & Zeiger, 2006).

Fosfors ir vēl viens būtisks makroelements, tas ir nepieciešams šūnu elpošanas un fotosintēzes darbībai, šūnu membrānu veidošanai, enerģētiskajam metabolismam un nukleīnskābju veidošanai. P uzlabo augu izturību pret zemām temperatūrām un sausumu (Bafoev u.c., 2022). Tā trūkums palēnina augu augšanu un kavē reproduktīvo orgānu (ziedu, augļu un sēklu) attīstību (Aleksandrov, 2022). Monokarpiem kultūraugiem dīgšanas laikā dīgsta attīstība ir atkarīga no sēklas P rezervēm. Sēklas rezervju izmantošana parasti neilgst ilgāk par dažām nedēļām, un šis laiks ir atkarīgs no sēklas masas, P koncentrācijas sēklā, P pieejamības augsnē un dīgstam nepieciešamā P daudzuma. Kultūraugu sēklās un dīgstos ir zema P koncentrācija, tāpēc augs ātri sāk uzņemt P no augsnes. No sēklām iegūtais P daudzums ir neliels, salīdzinot ar P koncentrāciju nobriedušā augā, taču tam var būt būtiska ietekme uz auga attīstību. Lielāks P saturs sēklās jaunajam dīgstam var nodrošināt iespēju sasniegt augšanai labvēlīgus apstākļus, piemēram, optimālu ūdens saturu augsnē vai augšanai nepieciešamās barības vielas (Veneklaas u.c., 2012).

Attīstoties auga lapām N pārvietojas no vecākajām, noēnotajām lapām uz jaunākajām lapām, līdzīgi notiek arī ar P, K un magniju (Mg) (Mu & Chen, 2021; Taiz & Zeiger, 2006). Augi remobilizē vismaz 50% P un N no novecojošām lapām (elementu remobilizācijas daudzums atšķiras dažādās attīstības stadijās), kas ir nozīmīgs P un N avots augu augšanai, īpaši vēlākās attīstības stadijās un P un N trūkuma gadījumā augsnē (Mu & Chen, 2021). Auga veģetatīvās augšanas posmā lielākā daļa fosfora jāuzņem no augsnes, jo lapas vēl nav sākušas novecot un no vecajām lapām iegūtā P daudzums ir ļoti mazs. Vēlākās attīstības stadijās sakņu augšana palēninās un lapas sāk novecot, un no vecajām lapām iespējams remobilizēt nozīmīgu P daudzumu, kas ir

īpaši nozīmīgi P trūkuma gadījumā (Veneklaas u.c., 2012). Sojas augi P deficītā inducē efektīvāku P absorbciju un transportu uz lapām un lapu kātiem, veidojot lielāku lapu sauso masu (Chaudhary u.c., 2008).

Kālijs augos atrodas katjonu formā, tas nodrošina šūnu osmotiskā potenciāla uzturēšanu, kā arī aktivē ar elpošanu un fotosintēzi saistītus enzīmus, tas ir nepieciešams ogļhidrātu veidošanā (Bafoev u.c., 2022). Kālija trūkuma gadījumā var novērot hlorozi un nekrozi lapu galos, malās un starp dzīslām, īpaši vecajās lapās (Du u.c., 2019; Taiz & Zeiger, 2006).

Iepriekš minētie elementi ir cieši saistīti ar fotosintēzes darbību augos, un, kā iepriekš minēts, to trūcumam raksturīga lapu hloroze vai nekroze. N un P uzņemšana ir savstarpēji saistīta, un šo elementu daudzums augā ietekmē fotosintēzes aktivitāti, elementu trūkums to samazina (Jia & Gray, 2004). Trīs ceturtdaļas no augu lapās esošā N atrodas hloroplastos, un hlorofila saturs korelē ar N pieejamību. Slāpekļa trūkuma gadījumā samazinās hlorofila, fotosistēmas I un fotosistēmas II saturs lapās, līdzīgi notiek arī P un K trūkuma gadījumā (Chaudhary u.c., 2008; Du u.c., 2019; Mu & Chen, 2021; Xu u.c., 2007; Zhao u.c., 2001). Fosfora trūkums pākšaugiem samazina lapu daudzumu un laukumu un fotosintēzes ātrumu lapas laukuma vienībā. Salīdzinot *Vigna mungo*, *Vigna radiata* un *Glycine max*, *G. max* (soja) bija mazāks fotosintēzes ātruma samazinājums salīdzinot ar *V. mungo* un *V. radiata* (Chaudhary u.c., 2008). Samazinātais fotosintēzes ātrums un fotosintezējošo pigmentu samazinājums gan P, gan K trūkumā noved pie liekas fotonu enerģijas uzkrāšanās augā, kas veicina aktīvo skābekļa formu (ASF) veidošanos. Ja ASF netiek laicīgi neitralizētas, to uzkrāšanās izraisa hloroplastu degradēšanos, fotosistēmas II bojājumus un hloroplastu enzīmu inaktivāciju (Du u.c., 2019; Xu u.c., 2007; Zhao u.c., 2001). Rīsi īstermiņa P trūkumā un kukurūza K trūkumā, bez citu elementu trūkuma, sintezē antioksidantus, taču ilgtermiņa P un K trūkumā ASF daudzums pārsniedz antioksidatīvās aizsardzības sistēmas spējas un izraisa fotoinhibīciju un fotosistēmas II bojājumus (Du u.c., 2019; Xu u.c., 2007). K trūkums kokvilnas augos traucē cietes transportu uz augļiem, tāpēc tā uzkrājas hloroplastos un traucē fotosintēzes darbību. K trūkums stimulē etilēna veidošanos augā, kas pastiprina ar K trūkumu saistīto ASF veidošanos (Du u.c., 2019; Zhao u.c., 2001).

Augu minerālo barošanas augsnē un barības elementu pieejamību ietekmē augsnes pH. Augsnē, kuras pH ir zem 5, ir daudz alumīnija jonu un mangāns (Mn) augiem uzņemamā formā, kas dažām augu sugām var būt toksisks un izraisīt bojāeju (Nweke & Nsoanya, 2013). Lielākā daļa barības vielu augsnē ir augiem pieejamā formā, ja augsnes pH ir robežās no 6 līdz 7, palielinoties pH vērtībai augsnē samazinās vairāku elementu, piemēram, Fe, Mn, B un citu elementu

uzņemšanas iespējas (Nweke & Nsoanya, 2013). Ļoti augstas vai zemas pH vērtības arī samazina augu izturību pret slimībām, piemēram, bāziska augsne veicina parastā kraupja veidošanos kartupeļiem, bet skāba augsne sakņu augoņu veidošanos krustziežiem (Nweke & Nsoanya, 2013). Valsts augu aizsardzības dienesta 2022. gadā veiktajā augsnes monitoringā ieguva datus, ka lielākā daļa (42,1%) Latvijā analizēto augsnes paraugu  $pH_{KCl}$  pārsniedz 6,5, taču šos datus varēja ietekmēt lielais Zemgales plānošanas reģionā ievāktais augsnes paraugu īpatsvars, tāpēc šie dati nereprezentē situāciju Latvijā kopumā. Šī monitoringa ietvaros noskaidrots arī, ka 39,2% lauksaimniecībā izmantojamo zemju novērojams zems un ļoti zems P saturs. Atmatās, augļu dārzos un ganībās augsnes ar zemu un ļoti zemu P saturu pārsniedz 60% no šiem mērķiem izmantojamās zemes platības (Valsts augu aizsardzības dienests, 2023). Salīdzinot ar citām Eiropas valstīm, Latvija ierindojas valstu grupā, kurā lauksaimniecības zemēs ir zems P saturs. Šajā grupā ierindojas arī Igaunija, Lietuva, Zviedrija, Portugāle, Austrija un citas valstis (Tóth u.c., 2014). Vidējs K saturs augsnē novērojams 41% Latvijas lauksaimniecības zemju, zems un ļoti zems – 23,2%. Atmatās K saturs augsnē bija zems, kā arī pļavās 72,5% no visiem gadījumiem tas bija zems un ļoti zems. Šī monitoringa ietvaros noteica arī N (nitrātu) saturu augsnē. Siguldas, Mārupes un Olaines novadā 2022. gada pavasarī konstatēja zemu nitrātu saturu augsnē, Bauskas novadā tas bija ļoti zems un zems (Dobeles, Jelgavas un Tērvetes novados – augsts). Rudenī nitrātu saturs augsnē visos iepriekš minētajos novados pārsvarā bija zems (Valsts augu aizsardzības dienests, 2023). Kopumā Latvijā novērojamas daudz lauksaimniecībā izmantojamas zemes ar traucētu minerālās barošanās nodrošinājumu, tāpēc nepieciešams atrast mēslojumus un augsnes ielabotājus, kas ir ilgtspējīgi, nedegradē augsnes un neizraisa apkārtējās vides piesārņojumu.

## **1.2. Augu minerālo barošanas nodrošinošo līdzekļu raksturojums**

Šobrīd īpaši svarīgi rast jaunus risinājumus kā uzlabot kultūraugu minerālo barošanas un efektīvi veikt augu mēslošanu. Augi uzņem tikai 15–30% no mēslošanai izmantotā P, ko iegūst no fosforīta ieža, kas nav atjaunojams resurss (Veneklaas u.c., 2012). Minerālmēslojums, kuru augi neizmanto, nonāk virszemes ūdeņos un izraisa apkārtējās vides eutrofikāciju. Ņemot vērā minerālmēslojumu augošās izmaksas, to radīto piesārņojumu un tā neefektīvo izmantošanu, nepieciešams pētīt alternatīvas, lai optimizētu augu minerālo barošanas lauksaimniecības kontekstā (Cucarella u.c., 2009; Karasa u.c., 2023; Veneklaas u.c., 2012). Turpmāk aprakstītas trīs galvenās augu minerālo barošanas nodrošinošo līdzekļu grupas, tajās ietilpstošo mēslojumu raksturojums, ietekme uz augiem, augsni un apkārtējo vidi.

### 1.2.1. Neorganiskais mēslojums

Neorganiskais mēslojums jeb minerālmēslojums ir industriāli veidots produkts, kas satur augiem nepieciešamās barības vielas. Tos iedala vienkāršajos mēslojumos, kas satur vienu minerālās barošanās elementu, un kombinētajos, kas satur vairākus elementus. Kombinētais minerālmēslojums var sastāvēt no vienas molekulas, kas satur vairākus augu minerālās barošanās elementus, vai no vienkāršo mēslojumu maisījuma (Bafoev u.c., 2022). Ilgtermiņā kultivējot augsni ar N mēslojumu samazinās augsnes pH, kas skaidrojams ar nitrifikācijas procesu, kas izdala protonus (Geisseler & Scow, 2014). Augsnes pH samazināšanās novērojama arī ilgtermiņā izmantojot N, P un K mēslojumus, augsnes paskābināšanās negatīvi ietekmē augsnes mikroorganismus (Geisseler & Scow, 2014), kā arī skāba augsne var izraisīt alumīnija (Al) vai Mn toksiskumu augiem, samazināt pieejamo minerālvielu daudzumu un augu izturību pret slimībām (Nweke & Nsoanya, 2013). P nešķīst ūdenī un saistās pie augsnes daļiņām, kas to padara nepieejamu augiem. P pieejamība augsnē ir atkarīga no augsnes tipa, pH, ūdens satura, temperatūras, N satura augsnē un no paša auga (Tóth u.c., 2014; Weeks & Hettiarachchi, 2019). *Vicia faba* optimālā P deva ir starp 70 un 140 kg ha<sup>-1</sup>, šādas devas uzlabo N, K un P koncentrāciju augsnē, kā arī apstākļus augsnes mikroorganismiem – novērojama paaugstināta bioloģiskā aktivitāte un C:N attiecība augsnē (Belouchrani u.c., 2023). Augstākas devas samazina augsnes mikroorganismu darbību. Optimāla P devas izmantošana uzlabo citu elementu uzkrāšanos augā, piemēram, pievienojot P devā 70 kg ha<sup>-1</sup>, palielinās N saturs *V. faba* sēklās, K saturs lapās un sēklās, tāpat arī P saturs sēklās (Belouchrani u.c., 2023).

### 1.2.2. Organiskais mēslojums

Organiskie mēslošanas līdzekļi ir augu vai dzīvnieku izcelsmes produkti, kuru sastāvā ir ogleklis, ūdeņradis, slāpeklis un vēl vismaz viens augiem nepieciešams barības elements. Galvenie organiskie mēslojumi ir sapropelis (nogulums), mājputnu mēsli, zivju milti, mājlopu nagi un ragi, eļļas augu sēklu izspaidas un apstrādātie organiskie mēslojumi, kas ietver minerālmēsli un organisko mēslojumu maisījumus, dzīvnieku izcelsmes blakusproduktu apstrādi un augu izcelsmes produktu žāvēšanu vai apstrādi (Ministru Kabinets, 2015).

Latvijas lauksaimniecības zemēs 2022. gadā iestrādāja 4486,3 tonnu organiskā mēslojuma un tas sastādīja 29,8% no maksimāli augsnē iestrādātā N un 37,6% no maksimāli augsnē iestrādātā P. Šajā gadā visvairāk izmantotais organiskais mēslojums bija pakaišu mēsli (Centrālā statistikas pārvalde, 2023). Kūtsmēsli sadaloties izdala N, P un K augiem pieejamā veidā, salīdzinot ar

neorganiskajiem mēslojumiem, tie uzlabo augsnes stāvokli un nodrošina līdzīgu ražu kā minerālmēslojums (Li u.c., 2011; Prasad u.c., 2017).

Biogāzes ražošanā kūtsmēsli un vircas anaerobas sadalīšanās procesā rodas digestāts. Digestāts satur daudz N un P, tas var paaugstināt pieejamā P daudzumu augsnē, labāk nekā kūtsmēsli vai minerālmēslojums (Albuquerque u.c., 2012). Digestāts arī palielina organikas daudzumu augsnē un augsnes mikroorganismu populācijas. Ietekme uz ražu var atšķirties atkarībā no kultūrauga un digestāta iestrādāšanas laika. Iestrādājot digestātu augsnē rudenī, var samazināties tā efektivitāte, jo zemās temperatūrās samazinās barošanās elementu mineralizācija, tāpēc tas varētu būt piemērotāks mēslošanai pavasarī un vasarā. Digestāts N satur pārsvarā amonija formā, amonijs digestāta organikā ātri mineralizējas par nitrātiem, kas nodrošina daudz augiem pieejamā N drīz pēc digestāta iestrādāšanas, taču lielāki nokrišņi var izraisīt nitrātu izskalošanos un nokļūšanu apkārtējā vidē (Albuquerque u.c., 2012). Augsni ar digestātu jāapstrādā vismaz trīs gadus, lai iegūtu augstākus ražas rezultātus, kas līdzvērtīgi minerālmēslojumam (Doyeni u.c., 2021).

Bioogle ir organiskais mēslojums, ko veido termiski apstrādājot biomasu, to izmanto oglekļa piesaistīšanai un potenciāli var izmantot arī mēslojumā un augsnes kaļķošanā jeb pH paaugstināšanā (Kloss u.c., 2014). Bioogles ietekme uz augsni un kultūraugu ražu ir atkarīga no bioogles veida (apstrādātās biomasas veida un apstrādes temperatūras). Bioogles izmantošana paaugstina augsnes pH un elektrovadītspēju un uzlabo augsnes barības vielu pieejamību, taču raža būtiski samazinās, visticamāk paaugstināta pH un mikroelementu nepieejamības dēļ. Bioogles negatīvais efekts uz augiem pazūd tikai pēc vairākiem mēnešiem un pēc vairāku kultūraugu sugu nomaiņas (Kloss u.c., 2014).

Papildus ir vairāki pētījumi par alternatīvu organisko mēslojumu izmantošanu, kas iegūti no lauksaimniecības blakusproduktiem, kā piemēram, olīvu spiedpaliekām jeb izspaidām. *V. faba*, kas audzētas olīvu izspaidu maisījumā ar pusi no rekomendētās minerālmēslojuma devas, uzrāda labākus morfoloģiskos rādītājus (dzinumu skaits augam, dzinumu sausā masa, pākstu skaits un sēkļu skaits pākstī) un hlorofila indeksu nekā *V. faba*, kas audzētas nepievienojot mēslojumu (Cucci u.c., 2019). *V. faba* morfoloģija neatšķiras augiem, kas auguši minerālmēslojumā un tiem, kas auguši olīvu izspaidās un ½ minerālmēslojuma devā. Olīvu izspaidu izmantošana atļauj uz pusi samazināt mēslošanai nepieciešamo minerālmēslojuma devu (Cucci u.c., 2019).

Notekūdeņu attīrīšanas procesā veidojas notekūdeņu dūņas – nogulsnes, kas veidojas notekūdeņu attīrīšanas iekārtās vai nosēdumi, kas veidojas septiskās tvertnēs. Šīs dūņas un to

kompostu var izmantot augu augšanas veicināšanai (Ministru Kabinets, 2006). Notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu lauksaimniecības zemēs regulē Ministru Kabineta noteikumi Nr. 362 "Noteikumi par notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli". Notekūdeņu dūņu komposts uzlabo kukurūzas un tritikāles ražu (Tomócsik u.c., 2016). Apstrādātas notekūdeņu dūņas ilgtermiņā uzlabo augsnes auglību, taču novērojama arī smago metālu uzkrāšanās augsnē, tāpēc svarīgi izmantot notekūdeņu dūņas ar zemu smago metālu saturu un izvērtēt dažādu augšņu smago metālu akumulācijas spējas (Mantovi u.c., 2005). Vēl jāņem vērā arī risks, ka P pieejamības palielināšanās notekūdeņu dūņu ietekmē var izraisīt tā noplūdi vidē (Mantovi u.c., 2005).

### 1.2.3. Minerālu bāzes mēslojums

Kā alternatīva mēslošanas līdzekļiem var tikt izmantoti minerālu bāzes materiāli, kas veidoti no minerāliem, mainot to īpašības un bagātinot tos ar barības vielām. Piemēram, *Polonite* un struvīts, kas no notekūdeņiem saista barības vielas un pēc tam var tās izmantot augu augšanas veicināšanai.

Struvīts ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ir viens no plašāk apskatītajiem materiāliem, ko izmanto notekūdeņu attīrīšanā, kur tas no biogēniem elementiem visefektīvāk saista P (Weeks & Hettiarachchi, 2019). Ja to iestrādā augsnē pulverveida formā, tas darbojas tik pat labi kā minerālmēslojums, taču tas nav tik efektīvs granulu formā (Weeks & Hettiarachchi, 2019). P minerālmēslojumi šķīst ūdenī, tāpēc ātri piegādā augsnei lielu daudzumu augiem pieejama P. Tas piedāvā augiem agrās attīstības stadijās uzņemt nepieciešamo P, taču P ātri saistās ar augsnes daļiņām un kļūst augiem nepieejams, tāpat tas var arī izskaloties un nonākt apkārtējā vidē, abi varianti izraisa P zudumus (Talboys u.c., 2016). Savukārt struvīts nešķīst ūdenī, tāpēc dod iespēju P izdalīt lēnāk un nodrošināt augus ar P ilgākā augšanas posmā, tāpat tas ļauj samazināt izskalotā P daudzumu. Iestrādājot struvīta granulas augsnē, tām jāsadalās, lai izdalītu P. No augsnē iestrādātajām struvīta granulām 36 dienu laikā sadalās 9% , bet 90 dienu laikā – 26%, norādot uz to, ka pēc ražas novākšanas augsnē paliek struvīta pārpalikumi. Struvīts arī lēnās P izdalīšanas dēļ nenodrošina augu dīgšanas procesā nepieciešamo P (Talboys u.c., 2016). Struvītu visefektīvāk izmantot tādu augu mēslošanai, kuru saknes izdala daudz organisko skābju, kuras šķīdina struvītu. Tāpat struvītu var iestrādāt kopā ar P minerālmēslojumu, lai nodrošinātu dīgšanai nepieciešamo P koncentrāciju (Talboys u.c., 2016).

*Polonite* ir minerālmateriāls, kas spēj adsorbēt fosforu un citus mikro- un makroelementus (Cucarella u.c., 2009; Renman & Renman, 2010). Šo materiālu var izmantot notekūdeņu attīrīšanai

no P, un potenciāli šo P varētu otrreiz izmantot augsnes ielabošanā. Lai gan materiāla P adsorbcijas spējas ir augstas, augiem pieejamā P saturs ir zems, tomēr tas varētu būt atkarīgs no augiem pieejamā P daudzuma novērtēšanai izmantotās metodes – iespējams, ka *Polonite* P izdala ilgtermiņā (Cucarella u.c., 2009). *Polonite* izmantojot kalnu pļavas mēslošanai elementu (P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu) saturs augsnē ir līdzīgs augsnes elementu saturam, kura mēsloja ar minerālmēslojumu. Mēslojot pļavu ar *Polonite* kombinācijā ar N un K iegūstams rezultāts, kas pielīdzināms N:P:K minerālmēslojumam (Cucarella u.c., 2009). *Polonite* satur maz P, tāpēc ir piemērotāks ar P bagātām augsnēm kā minerālmēslojuma aizvietotājs (Cucarella u.c., 2012).

### 1.3. Augu minerālās barošanās pētījumu metodes

Augu minerālās barošanās un tās optimizēšanas pētījumos izmanto dažādas augu audzēšanas metodes, kas atkarīgas no pētījuma mērķa. Viena no metodēm, lai pētītu augu minerālās barošanās elementus, to nepieciešamo daudzumu un to deficītu ietekmi uz augiem, ir to audzēšana hidroponikā – barības vielu šķīdumā (Chaudhary u.c., 2008; Xu u.c., 2007). Šādu pētījumu veikšanai augus var audzēt arī smiltīs, kuras laista ar dažādiem barības šķīdumiem, lai pārbaudītu konkrētu elementu trūkumu ietekmi uz augiem (Jia & Gray, 2004; Osvalde, 2011). Augus var audzēt arī augsnē plastmasas konteineros, tos laistot ar dažādiem barības vielu šķīdumiem (Zhao u.c., 2001), vai lauka eksperimentos izmantojot, piemēram, augsni, kurā ilgstoši novērojams kāda elementa trūkums (Du u.c., 2019).

Lai pārbaudītu dažādu mēslojumu ietekmi uz augu augšanu parasti izmanto eksperimentus augsnē siltumnīcā vai lauka apstākļos. Lauka eksperimentus parasti veic izveidojot nejauši sakārtotus laukumus, kuros iestrādā pārbaudāmo mēslojumu dažādās devās vai kombinācijās ar citiem mēslojumiem (Alburquerque u.c., 2012; Belouchrani u.c., 2023; Cucarella u.c., 2009, 2012; Cucci u.c., 2019; Li u.c., 2011; Mantovi u.c., 2005; Tomócsik u.c., 2016). Lauka eksperimentu veikšanai nepieciešams augsnes un klimatisko apstākļu raksturojums, un tos parasti jāveic vismaz trīs gadus pēc kārtas, lai iegūtu precīzākus rezultātus, jo lauka eksperimenta vidē ir ļoti daudz mainīgu apstākļu (augsnas sastāvs, nokrišņi, temperatūra, u. tml.). Lai samazinātu vides apstākļu ietekmi uz eksperimenta rezultātiem, dažādu mēslojumu izpēti var veikt ar eksperimentiem siltumnīcās (Kloss u.c., 2014; Talboys u.c., 2016), taču šādu eksperimentu rezultātus grūti pielīdzināt apstākļiem, kādi būtu izmantojot mēslojumus lauksaimniecībā.

Augu fizioloģiskā stāvokļa novērtēšanai dažādos minerālās barošanās apstākļos var izmantot ar fotosintēzi saistītus parametrus. N, K un P trūkuma gadījumos būtiski samazinās hlorofila un fotosistēmas II saturs lapās, kā arī fotosintēzes ātrums (Chaudhary u.c., 2008; Du u.c., 2019; Mu

& Chen, 2021; Xu u.c., 2007; Zhao u.c., 2001). Lai novērtētu fotosintēzes ātruma un fotosistēmas II saturu augu lapās, var izmantot tādas hlorofila fluorescences mērījumus kā fotosistēmas II maksimālā kvantu aktivitāte ( $F_v/F_m$ ) un fotosistēmas II aktivitāte ( $F_v/F_o$ ) (Mu & Chen, 2021). Tāpat svarīgi arī noteikt hlorofila koncentrāciju augu lapās, jo tā trūkums var norādīt uz barības vielu deficītu (Mu & Chen, 2021; Zhao u.c., 2001). Fotosistēmas darbību var novērtēt arī izmantojot veiktspējas indeksu (PI), kas samazinās gan barības vielu trūkumā, gan citās stresa situācijās (Aleksandrov, 2022). Ar fotosintēzi saistītie rādītāji ļauj novērtēt auga fizioloģisko veselību, kas var neatspoguļoties auga morfoloģijā.

## 2. MATERIĀLI UN METODEDES

### 2.1. Pētījumā izmantotie minerālmateriālu paraugi

Pētījumā izmantoja Latvijas Universitātes LZP FLPP Nr. lzp-2021/1-0090 CircleP projekta ietvaros izstrādātos minerālmateriālus, kurus tālāk nodeva bakalaura darba autorei izpētīt to ietekmi uz augu augšanu un fizioloģisko stāvokli.

Pirms paraugu testēšanas, pētniece Jūlija Karasa pēc metodes, kas aprakstīta Karasa u.c. (2023) publikācijā, termiski apstrādāja materiālus, iegūstot *Brownmillerite* apakšgrupas minerālu Srebrodolskītu, kas apzīmēts kā kalcija/dzelzs oksīds (turpmāk – CaFe oksīds). Minerālmateriālus ievāca no divām atradnēm Latvijā – Staiceles, Limbažu novadā [turpmāk – CaFe oksīds (S)] un Talickas, Madonas novadā [turpmāk – CaFe oksīds (T)]. Papildus salīdzināja rezultātus ar komerciāli pieejamu minerālmateriālu *Polonite*®, kuru izmanto notekūdeņu attīrīšanā no fosfora. *Polonite* materiālu ražo Polijā no tur iegūta nogulumieža – opokas, kuru termiski apstrādā. *Polonite* sastāvs un iegūšana aprakstīti Renman u.c. (2008) publikācijā. Visus minerālmateriālus izmantoja kā sorbentus SIA “Ādažu ūdens” sadzīves notekūdeņu attīrīšanas iekārtā, lai attīrītu izplūdes notekūdeņus no biogēniem elementiem un tādējādi piesātinātu minerālmateriālus ar fosforu.

Piesātināto minerālmateriālu makroelementu un mikroelementu saturu noteica LU Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultātes (ĢZZF) Vides zinātnes nodaļas Vides kvalitātes monitoringa laboratorijā, Ph.D. Rūtas Ozolas-Davidānes un zinātniskā asistenta Laura Arbidana vadībā. Elementu analīzes veica izmantojot induktīvi saistītās plazmas-optiskās emisijas ICP-OES spektrometru (Thermo Scientific iCAP 7000 sērija).

Minerālmateriālu sastāvā bija maz slāpekļa vai tā nebija nemaz. CaFe oksīdi saturēja daudz kalcija, magnija un fosfora. *Polonite* saturēja daudz kalcija, magnija un kālija. No mikroelementiem CaFe oksīdi saturēja daudz dzelzs un mangāna, arī *Polonte* saturēja daudz dzelzs, taču daudz mazāk salīdzinot ar CaFe oksīdiem. CaFe oksīdam (S) un *Polonite* bija augsta pH vērtība. Minerālmateriālu sastāvs parādīts 1. pielikumā.

## 2.2. Pētījumā izmantotās augsnes apraksts

### 2.2.1. Augsnes raksturojums

Augsni ievāca Dienvidkurzemes novada, Dunalkas pagasta, z/s “Bruži” 2023. gada novembrī. Ievāktā augsne bija antropogēna, smaga mālsmits, tās organisko vielu saturs bija 7,11%. Augsnes granulometriskais sastāvs pēc ISO 11277:2020 metodes (Soil quality — Determination of particle size distribution in mineral soil material — Method by sieving and sedimentation) bija 77% smilts, 7% putekļu, 16% māla. Katjonu saturs augsnē parādīts 2. pielikumā. Augsnes raksturlielumus noteica LU ĢZZF Vides zinātnes nodaļā, pētnieces Baibas Dirnēnas vadībā.

### 2.2.2. Augsnes sagatavošana eksperimentam

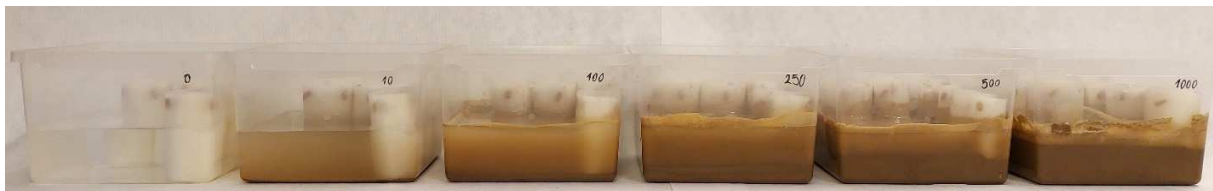
Lauka pupu *Vicia faba* augšanas testiem izmantoja augsni, kas aprakstīta 2.2.1. apakšnodaļā. Augsni sijāja caur 3 mm rupju sietu. Sijātu augsni samaisīja ar kvarca smiltīm (SaulkalneS, Latvija) tilpuma attiecībā 4:1. Gatavajam substrātam piejauca dejonizētu ūdeni tilpuma attiecībā 5:1 un minerālmateriālus CaFe oksīdu (T) vai *Polonite* dažādās devās (4. tabula). Minerālmateriālus augsnē iestrādāja sekojošās koncentrācijās – 0, 25, 100 un 250 g minerālmateriāla uz 1 L substrāta. Gatavos substrāta maisījumus ievietoja 1 L plastmasas konteineros. Katru variantu testēja trīs atkārtojumos.

## 2.3. Vasaras kviešu *Triticum aestivum* dīgstu augšanas testi

Kviešu dīgstu augšanas testiem izmantoja parasto vasaras kviešu *Triticum aestivum* šķirni *Sharki* (z/s “Krastmaļi”, Latvija). Nepieciešamo *T. aestivum* sēklu skaitu skaloja dejonizētā ūdenī. Sēklas dezinficēja, tās ievietojot KMnO<sub>4</sub> šķīdumā (800 mL dejonizēta ūdens, 50 mL KMnO<sub>4</sub>) uz 20 min un atkārtoti skaloja dejonizētā ūdenī. Tad sēklas mērcēja 4 h dejonizētā ūdenī un vienā kārtā ievietoja plastmasas traukos, kas izklāti ar samitrinātiem papīra dvieļiem. Plastmasas traukus nosedza ar pārtikas plēvi un novietoja tumšā vietā istabas temperatūrā (~ 24 °C) uz divām diennaktīm.

Pēc noteikto dienu skaita, sadīgušās sēklas kārtoja uz filtrpapīra sloksnēm, kur 10 sēklas ar līdzīgu attīstības stadiju (koleoptiles garums ~ 2 mm) vienmērīgi novietoja uz vienas sloksnes ar izmēru 30 cm garumā un 5 cm platumā. Sēklas nosedza ar otru tāda paša izmēra filtrpapīra sloksni un netraumējot koleoptili sarullēja ruļļos. Ruļļus ievietoja augu audu konteineros, kuros dažādās koncentrācijās (0, 10, 100, 250, 500, 1000 g L<sup>-1</sup>) tika pievienots minerālmateriāls – CaFe oksīds (T vai S) vai *Polonite*. Eksperimentālo variantu veidošanā izmantotās minerālmateriālu un ūdens proporcijas attēlotas 3. pielikumā. Eksperimentālie varianti attēloti 1. attēlā.

Augu audu konteinerus ar pieciem dīgstu ruļļiem katrā koncentrācijā ievietoja 48 L noslēgtā plastmasas konteinerā un novietoja zem fluorescentajām lampām (1400 lm, 39 lm/W, Osram, Vācija) uz nedēļu istabas temperatūrā (~ 24 °C).



**1. attēls.** *T. aestivum* sēklas satītas filtrpapīra ruļļos un ievietotas augu audu konteineros, kuros dažādās koncentrācijās pievienots CaFe oksīds (S) (no kreisās: 0 g L<sup>-1</sup>, 10 g L<sup>-1</sup>, 100 g L<sup>-1</sup>, 250 g L<sup>-1</sup>, 500 g L<sup>-1</sup> un 1000 g L<sup>-1</sup>).

**Figure 1.** *T. aestivum* seeds in filter-paper rolls placed in plant tissue containers with different concentrations of CaFe oxide (S) (from the left: 0 g L<sup>-1</sup>, 10 g L<sup>-1</sup>, 100 g L<sup>-1</sup>, 250 g L<sup>-1</sup>, 500 g L<sup>-1</sup> and 1000 g L<sup>-1</sup>).

Pēc nedēļas noteica *T. aestivum* pirmās un otrās lapas garumu un desmit lapu (viena ruļļa) svaigo masu. Lapas žāvēja žāvskapī (Memmert, Vācija) (60 °C, 24 h), viena ruļļa ietvaros noteica arī lapu sauso masu. Balstoties uz lapu svaigo un sauso masu aprēķināja ūdens saturu lapās pēc formulas: ūdens saturs lapās = (lapu svaigā masa – lapu sausā masa) / lapu sausā masa.

## 2.4. Lauka pupu *Vicia faba* augšanas testi

### 2.4.1. *Vicia faba* dīgstu sagatavošana

Augu augšanas testiem augsnē izmantoja lauka pupu *V. faba* šķirni *Laura* (APP “Agroresursu un ekonomikas institūts”, Stende, Latvija). *V. faba* sēklas skaloja dejonizētā ūdenī un atstāja tajā mērcēties 24 h. Pēc mērcēšanas *V. faba* sēklas ievietoja plastmasas traukos, kuros ievietots ūdenī samitrināts papīra dvielis. Traukus ar sēklām pārklāja ar pārtikas plēvi un novietoja istabas temperatūrā (~ 24 °C) tumšā vietā. Pēc trim diennaktīm *V. faba* sēklas stādīja iepriekš sagatavotā augšanas substrātā (augšnes apraksts nodaļā 2.2.), kuram dažādās devās pievienots *Polonite* vai CaFe oksīds (T) (proporcijas nodaļā 2.2.2.). *V. faba* dīgstus stādīja piecu centimetru dziļumā, pa pieciem dīgstiem katrā 1 L plastmasas konteinerā. Pēc iestādīšanas dīgstus aplēja ar 30–50 mL dejonizēta ūdens atkarībā no substrāta mitruma. Konteinerus nosedza ar plastmasas plēvi (2. attēls) un ievietoja automatizētā siltumnīcā (HortiMaX, Nīderlande), ko apgaismoja ar Powerstar HQI-BT 400 W/D PRO (Osram, Vācija) un Master SON-TPIA Green Power CG T 400 W (Philips, Nīderlande) lampām (augu līmenī 380 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) 16 stundu gaismas periodos. Dienas/ nakts gaisa temperatūra siltumnīcā bija 24/16 °C un relatīvais gaisa mitrums 60–70%.



**2. attēls.** Tikko iestādītas lauka pupas *Vicia faba* dažādās minerālmateriālu CaFe oksīda (T) un Polonite koncentrācijās, novietotas automatizētā siltumnīcā.

**Figure 2.** Faba bean *Vicia faba* planted in different concentrations of mineral materials CaFe oxide (T) and Polonite, placed in an automated greenhouse.

Pēc augu izdīgšanas, konteineriem pakāpeniski noņēma plastmasas plēvi. Konteineros augu augšanas laikā uzturēja optimālu augsnes mitrumu. Augiem augšanas laikā pēc nepieciešamības pievienoja balstus.

#### **2.4.2 *Vicia faba* augšanas laikā veiktie mērījumi**

Sestajā augšanas nedēļā veica augsnes pH mērījumus (pH 3000, STEP Systems, Vācija), katrā konteinerā divi atkārtoti mērījumi.

Septītajā augšanas nedēļā veica hlorofila koncentrācijas mērījumus izmantojot CCM-300 hlorofilmetru (Opti-Sciences, ASV) un hlorofila fluorescences mērījumus izmantojot Handy PEA fluorometru (Hansatech Instruments, Lielbritānija). Veica piecus mērījumus katram konteineram, kopā 15 mērījumi katram variantam. Vismaz 20 min pirms hlorofila fluorescences mērījumu veikšanas auga lapām uzlika aptumšošanas klipšus. Visus mērījumus veica no rīta līdz plkst. 12:00 augu vidējām lapām.

Pirms augu novākšanas, astotajā augšanas nedēļā, mērīja augsnes elektrovadītspēju izmantojot HH2 mitruma mērītāju ar WET-2 sensoru (Delta-T Devices, Lielbritānija), veica četrus mērījumus katrā konteinerā.

#### **2.4.3. *Vicia faba* augšanas eksperimenta beigas**

Eksperimentu noslēdza astotajā augšanas nedēļā. Augu vasu atdalīja no saknēm, pēc tam atdalīja auga ziedus un lapas (3. attēls). Katram augam noteica stublāju skaitu, garumu un masu. Lapām un ziediem noteica masu. Visa auga daļas žāvēja žāvskapī (Memmert, Vācija) 72 h, 60 °C.

Izžāvētām auga daļām noteica sauso masu. No auga svaigās un sausās masas aprēķināja auga daļu ūdens saturu.



**3. attēls.** *Vicia faba* morfoloģijas mērījumu veikšanas process. Augiem atdalītas auga daļas no kreisās: stublāji, lapas, ziedi.

**Figure 3.** The process of making *Vicia faba* morphology measurements. Plants are separated by plant parts from the left: stems, leaves, flowers.

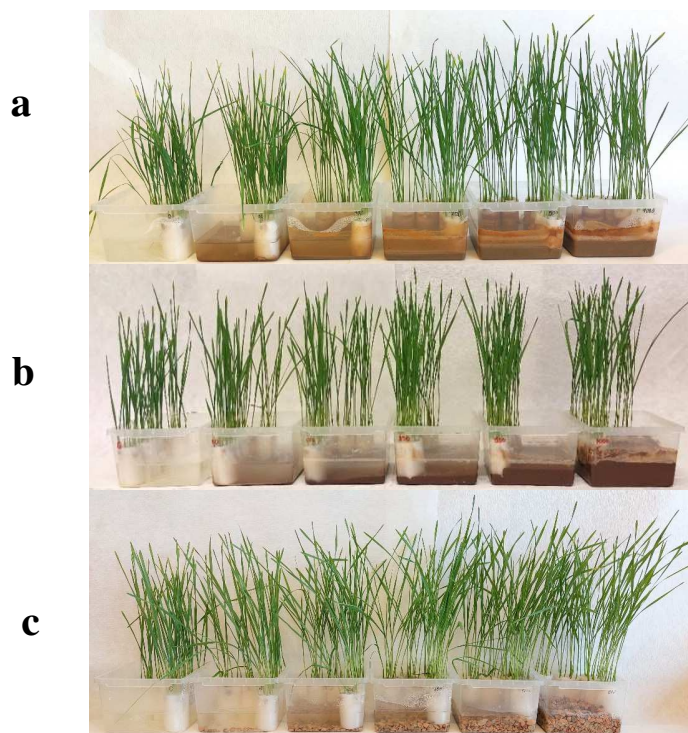
## 2.5. Datu analīze

Datu apkopošanai izmantoja MS Excel. Datu analīzi un grafisko attēlošanu veica programmā Rstudio 2023.12.0+369, R 4.3.2. Datu analīzei izmantoja two-way ANOVA testu un Tukey *post-hoc* testu.

### 3. REZULTĀTI

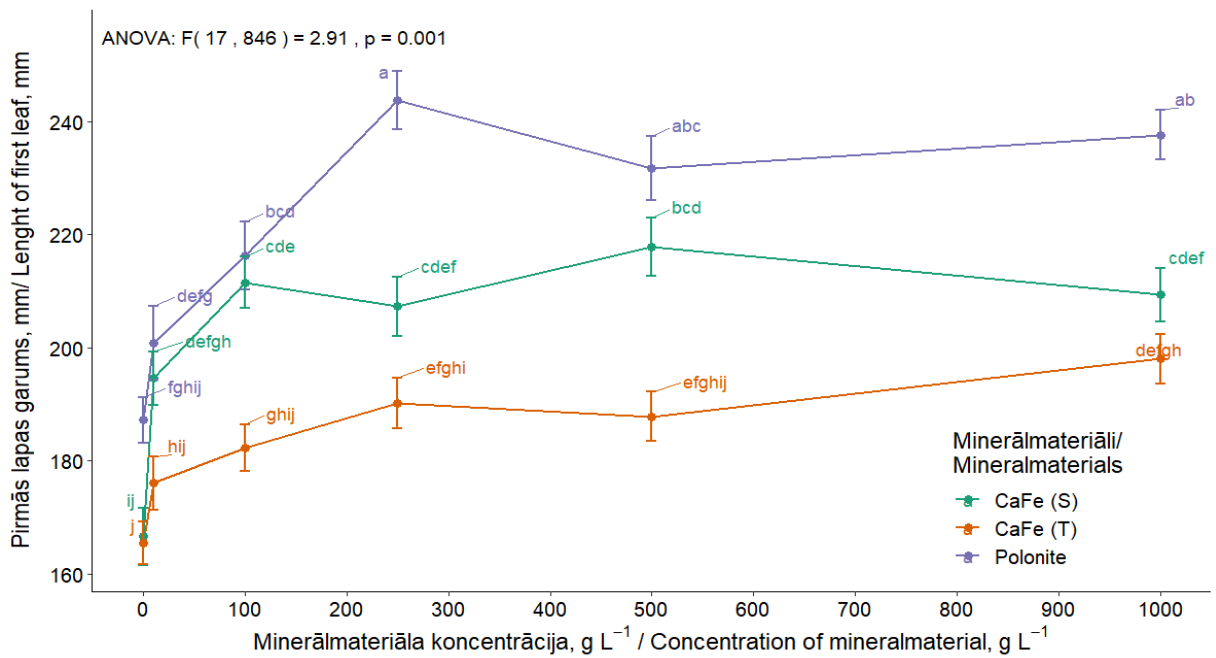
#### 3.1. Minerālmateriālu ietekme uz parasto kviešu *Triticum aestivum* dīgstu augšanu

Salīdzinot ar kontroli (tikai dejonizēts ūdens) *Polonite*, CaFe oksīds (S) un CaFe oksīds (T) būtisku *Triticum aestivum* pirmās lapas pieaugumu izraisīja attiecīgi 100, 10 un 250 g L<sup>-1</sup> koncentrācijās, kur pirmās lapas garums bija attiecīgi par 29, 29 un 11 mm lielāks nekā kontrolē. *Polonite* klātbūtnē augušajiem augiem pirmās lapas garuma pieauguma plato iestājās 100 g L<sup>-1</sup> koncentrācijā (216 mm), CaFe oksīda (S) klātbūtnē – 10 g L<sup>-1</sup> (195 mm) un CaFe oksīda (T) klātbūtnē – 10 g L<sup>-1</sup> (176 mm). Augi sasniedza augstāko pirmās lapas garumu augot minerālmateriāla *Polonite* klātbūtnē (5. attēls). *T. aestivum* pēc septiņu dienu augšanas minerālmateriālu klātbūtnē apskatāmi 4. attēlā.



**4. attēls.** *T. aestivum* dažādās CaFe oksīda (S) (a), CaFe oksīda (T) (b) un *Polonite* (c) koncentrācijās (no kreisās: 0 g L<sup>-1</sup>, 10 g L<sup>-1</sup>, 100 g L<sup>-1</sup>, 250 g L<sup>-1</sup>, 500 g L<sup>-1</sup> un 1000 g L<sup>-1</sup>) pēc septiņu dienām.

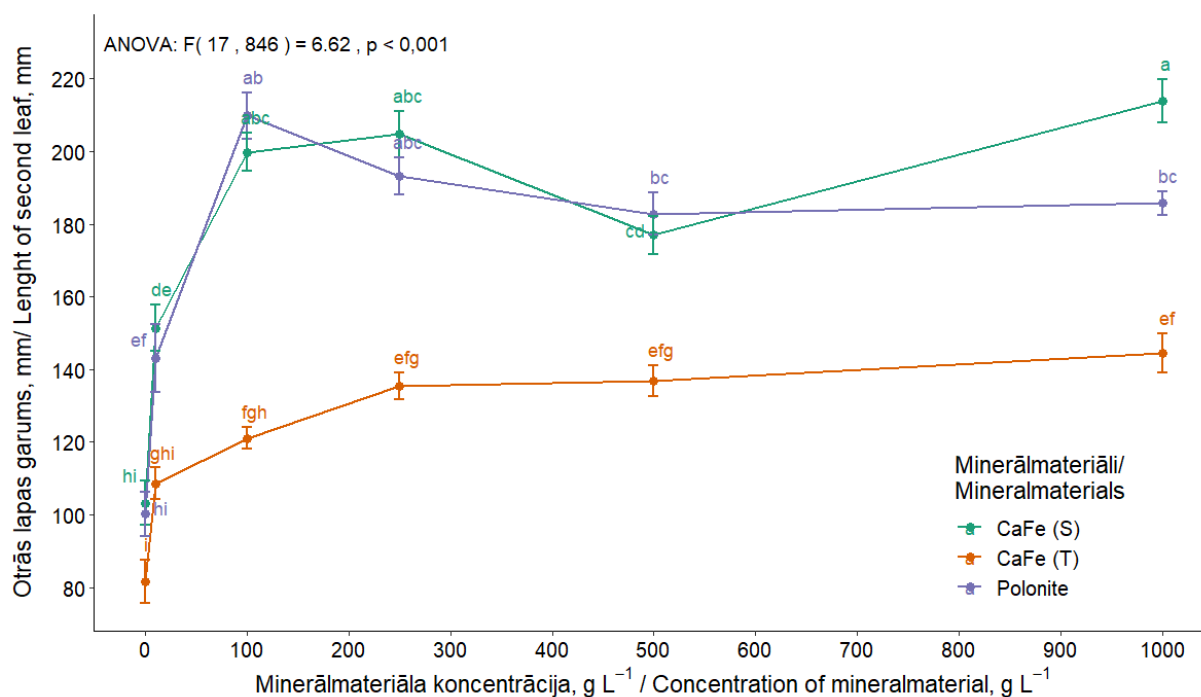
**Figure 4.** *T. aestivum* in different concentrations of CaFe oxide (S) (a), CaFe oxide (T) (b), and *Polonite* (c) (from the left: 0 g L<sup>-1</sup>, 10 g L<sup>-1</sup>, 100 g L<sup>-1</sup>, 250 g L<sup>-1</sup>, 500 g L<sup>-1</sup> and 1000 g L<sup>-1</sup>) after seven days.



**5. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *T. aestivum* dzinumu pirmās lapas garumu. Attēlotas vidējās vērtības 50 augiem  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test,  $n = 50$ ).

**Figure 5.** Effect of different mineralmaterials on the first leaf of *T. aestivum* shoots. Data are means for 50 plants  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test,  $n = 50$ ).

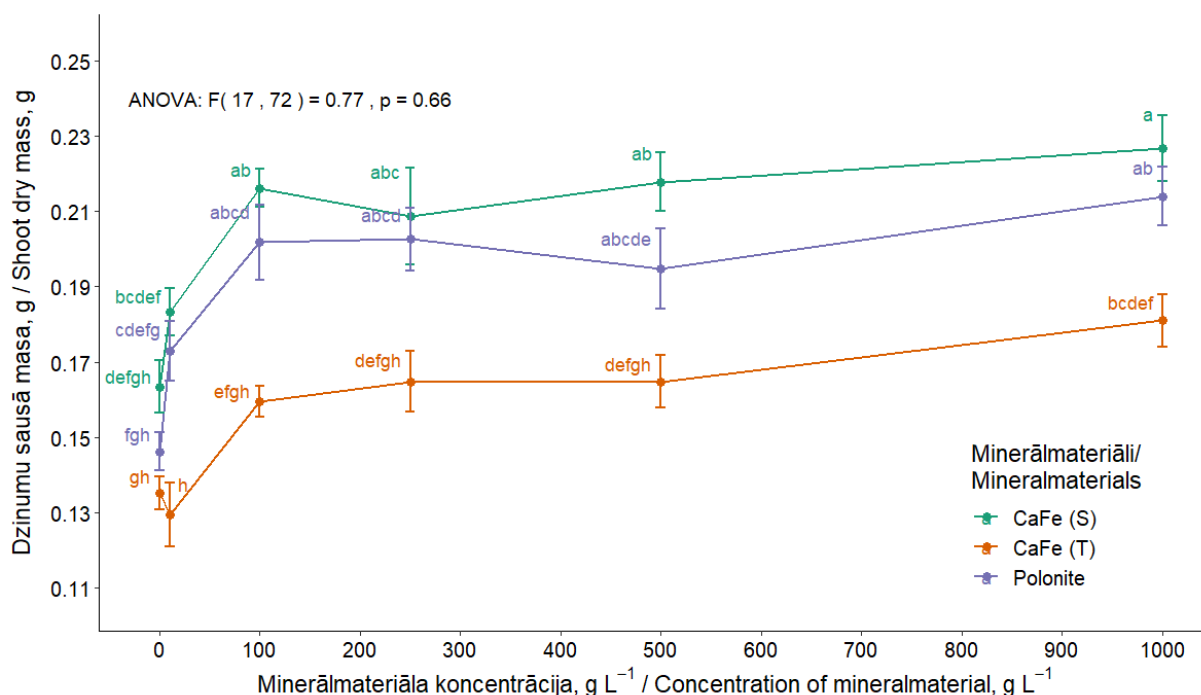
CaFe oksīda (S) un *Polonite* ietekme uz *T. aestivum* otrās lapas garumu būtiski neatšķirās, izņemot 1000 g L<sup>-1</sup> koncentrāciju, kur CaFe oksīda (S) ietekmē augušo *T. aestivum* otrās lapas bija par 28 mm garākas nekā *Polonite* ietekmē. Abu minerālmateriālu apstrādes gadījumā augiem bija novērojams būtisks otrās lapas garuma pieaugums sākot no 10 g L<sup>-1</sup>, kur CaFe oksīda (S) klātbūtnē pieaugums bija 48 mm un *Polonite* – 43 mm, salīdzinot ar kontroli. Otrās lapas garuma plato iestājās 100 g L<sup>-1</sup>. CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem *T. aestivum* otro lapu garums bija būtiski mazāks salīdzinot ar pārējiem minerālmateriāliem. Otrās lapas garums būtiski atšķirās no kontroles 100 g L<sup>-1</sup> (39 mm pieaugums salīdzinot ar kontroli) un šajā koncentrācijā arī iestājās plato (6. attēls).



**6. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *Triticum aestivum* dzinumu otrās lapas garumu. Attēlotas vidējās vērtības 50 augiem  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test,  $n = 50$ ).

**Figure 6.** Effect of different mineral materials on the second leaf of *Triticum aestivum* shoots. Data are means for 50 plants  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test,  $n = 50$ ).

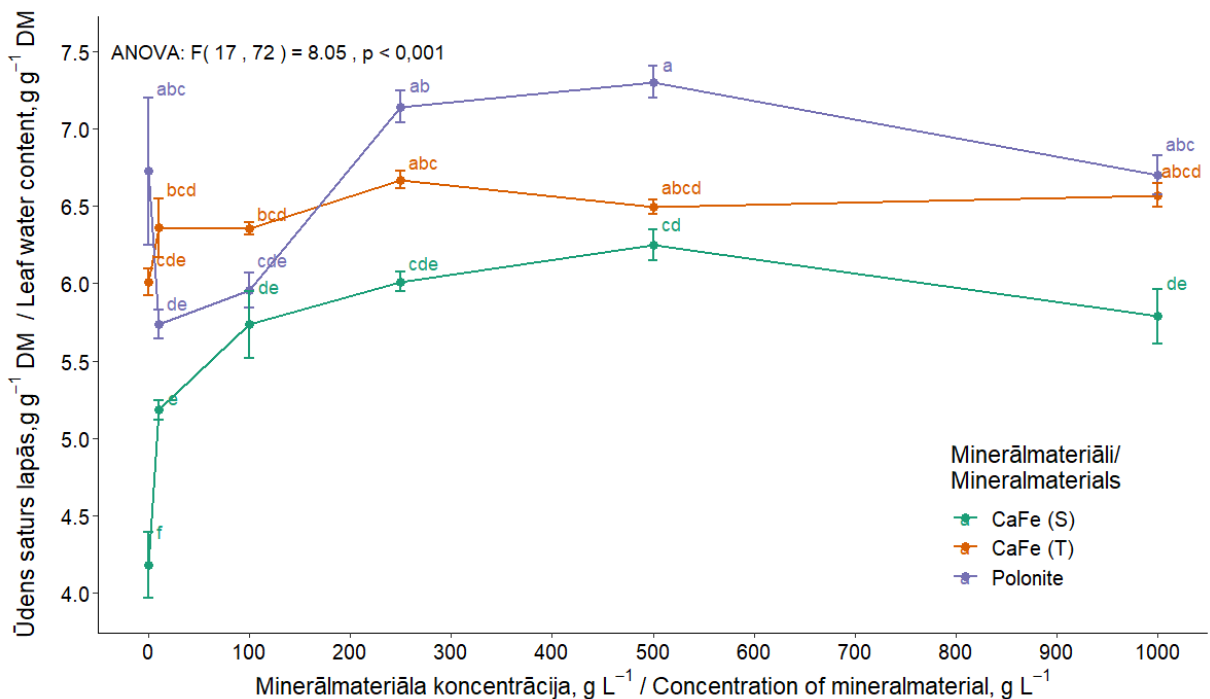
Lielāko dzinumu sauso masu varēja novērot *T. aestivum* dīgstu dzinumiem, kuri auga CaFe oksīda (S) klātbūtnē. Dzinumu sausā masa sasniedza būtisku pieaugumu  $100 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā, par  $0,06 \text{ g}$  vairāk nekā kontrolē. Arī *Polonite* klātbūtnē augušo augu dzinumu sausā masa būtisku pieaugumu (par  $0,05 \text{ g}$  salīdzinot ar kontroli) sasniedza  $100 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā. Mazāko dzinumu sauso masu varēja novērot CaFe oksīda (T) ietekmē augušajiem augiem (7. attēls). Šeit būtiska dzinumu sausās masas atšķirība no kontroles ( $0,14 \text{ g}$ ) bija novērojama tikai  $1000 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā ( $0,18 \text{ g}$ ). Visu materiālu klātbūtnē dīgstu dzinumu sausā masa pieauga, palielinoties minerālmateriāla koncentrācijai un plato sasniedza  $100 \text{ g L}^{-1}$ .



**7. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *Triticum aestivum* dzinumu sauso masu. Attēlotas vidējās vērtības 10 augu dzinumu masai  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test,  $n = 5$ ).

**Figure 7.** Effect of different mineral materials on dry mass of *Triticum aestivum* shoots. Data are means for the mass of 10 plant shoots  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test,  $n = 5$ ).

CaFe oksīdu (T un S) klātbūtnē augušajiem *T. aestivum* dīgštiem ūdens saturs lapās pieauga palielinoties minerālmateriāla koncentrācijai (8. attēls). CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem augiem bija novērojams par vidēji 3,48 g g<sup>-1</sup> DM lielāks ūdens saturs lapās nekā CaFe oksīda (S) klātbūtnē. CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem *T. aestivum* ūdens saturs lapās būtiski nemainījās palielinoties minerālmateriāla koncentrācijai un bija robežās starp 6,00 un 6,57 g g<sup>-1</sup> DM. CaFe oksīda (S) ietekmē *T. aestivum* ūdens saturs lapās strauji pieaug palielinoties tā koncentrācijai un koncentrācijā 10 g L<sup>-1</sup> sasniedza 5,18 g g<sup>-1</sup> DM, šajā koncentrācijā arī iestājas plato. *Polonite* klātbūtnē augušajiem augiem 10 un 100 g L<sup>-1</sup> ūdens saturs bija mazāks (attiecīgi 5,74 un 5,96 g g<sup>-1</sup> DM) nekā kontroles dīgštiem (6,72 g g<sup>-1</sup> DM). Koncentrācijām palielinoties, ūdens saturs lapās pieauga un koncentrācijā 250 g L<sup>-1</sup> sasniedza 7,14 g g<sup>-1</sup> DM, un turpmāk bija augstāks nekā CaFe oksīdu (T un S) klātbūtnē augušajiem augiem. Šajā koncentrācijā iestājās lapu ūdens satura plato, taču vērtības būtiski neatšķīrās no kontroles (8. attēls).



**8. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz ūdens saturu *Triticum aestivum* dzinumos. Attēlotas vidējās vērtības 10 augu dzinumiem  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 5$ )

**Figure 8.** Effect of different mineralmaterials on water content of *Triticum aestivum* shoots. Data are means for shoots of 10 plants  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 5$ ).

Minerālmateriāliem nebija novērojams fitoskisks efekts nevienā no pārbaudītajām koncentrācijām, jo tiem nebija negatīvas ietekmes uz *T. aestivum* augšanu. *T. aestivum* morfoloģiskie un fizioloģiskie parametri uzlabojās minerālmateriālu ietekmē salīdzinot ar kontroli. *T. aestivum* lapu garums un sausā masa bija augstāka augiem, kas auguši CaFe oksīda (S) un *Polonite* klātbūtnē, salīdzinot ar tiem, kas auguši CaFe oksīda (T) klātbūtnē. Taču ūdens saturs lapās visiem augiem bija līdzīgs, neatkarīgi no minerālmateriāla un svārstījās no 5,19 līdz 7,30 g g<sup>-1</sup> DM.

### 3.2. Minerālmateriālu ietekme uz augšanas substrātu

Pievienojot augsnei CaFe oksīdu (T) augsnes pH lielākajā koncentrācijā sasniedza 11,34. Pievienojot augsnei *Polonite*, augsnes būtiski pH nemainījās un svārstījās ap 8 (6. tabula).

## 6. tabula.

Augsnes pH izmaiņas atkarībā no pievienotā minerālmateriāla un tā koncentrācijas augsnē. Norādītas vidējās vērtības sešiem mērījumiem  $\pm$  standartklūda (SE) un būtiskums, kur atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 6$ ).

**Table 6.**

Soil pH variation is based on the mineral material added to soil and its concentration in the soil. Data are means for six measurements  $\pm$  standard error (SE) and significance where different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 6$ ).

Minerālmateriāls/ mineral material	Koncentrācija/ concentration (g L <sup>-1</sup> )	Augsnes pH/ soil pH $\pm$ SE	Būtiskums/ Significance
	0	7,84 $\pm$ 0,18	c
CaFe oksīds (T)/ CaFe oxide (T)	25	8,32 $\pm$ 0,16	c
	100	9,32 $\pm$ 0,14	b
	250	11,34 $\pm$ 0,42	a
	0	7,84 $\pm$ 0,18	c
Polonite	25	8,24 $\pm$ 0,15	c
	100	8,05 $\pm$ 0,13	c
	250	7,93 $\pm$ 0,12	c

Minerālmateriālu pievienošana augsnei palielināja augsnes elektrovadītspēju (7. tabula). Augsnē ar CaFe oksīdu (T) būtisks pieaugums salīdzinot ar kontroli bija novērojams jau sākot no koncentrācijas 25 g L<sup>-1</sup> un augstākajā koncentrācijā sasniedza 223 mS m<sup>-1</sup>. *Polonite* gadījumā būtisks pieaugums salīdzinot ar kontroli bija novērojams koncentrācijā 250 g L<sup>-1</sup>, kur tā sasniedza 133 mS m<sup>-1</sup>.

### 7. tabula.

Augsnes elektrovadītspējas (ECp) izmaiņas atkarībā no augsnei pievienotā minerālmateriāla un tā koncentrācijas augsnē. Norādītas vidējās vērtības 12 mērījumiem  $\pm$  standartkļūda (SE) un būtiskums, kur atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 12$ ).

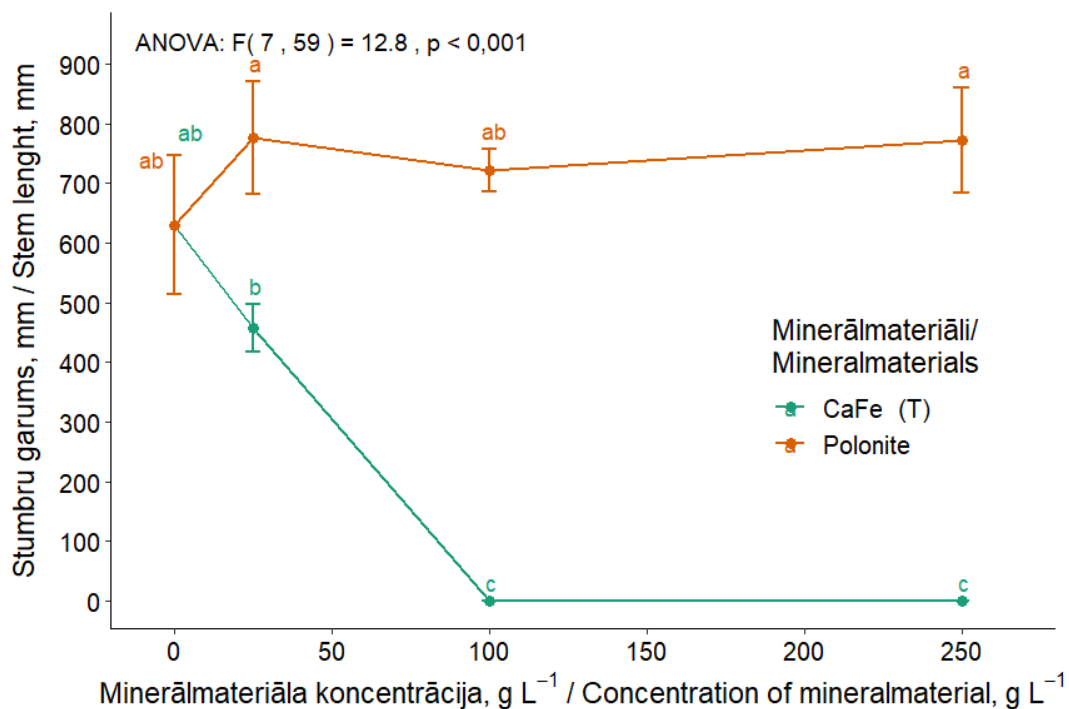
**Table 7.**

Soil electrical conductivity (ECp) variation is based on the mineral material added to soil and its concentration in the soil. Data are means for 12 measurements  $\pm$  standard error (SE) and significance where different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 12$ ).

Minerālmateriāls/ Mineral material	Koncentrācija g L <sup>-1</sup> / Concentration, g L <sup>-1</sup>	Augsnes ECp, ms M <sup>-1</sup> / Soil ECp, ms M <sup>-1</sup> $\pm$ SE	Būtiskums/ Significance
	0	110 $\pm$ 6	d
CaFe oksīds (T)/ CaFe oxide (T)	25	146 $\pm$ 3	b
	100	161 $\pm$ 18	b
	250	223 $\pm$ 8	a
	0	110 $\pm$ 6	d
Polonite	25	124 $\pm$ 4	cd
	100	124 $\pm$ 4	cd
	250	133 $\pm$ 4	bc

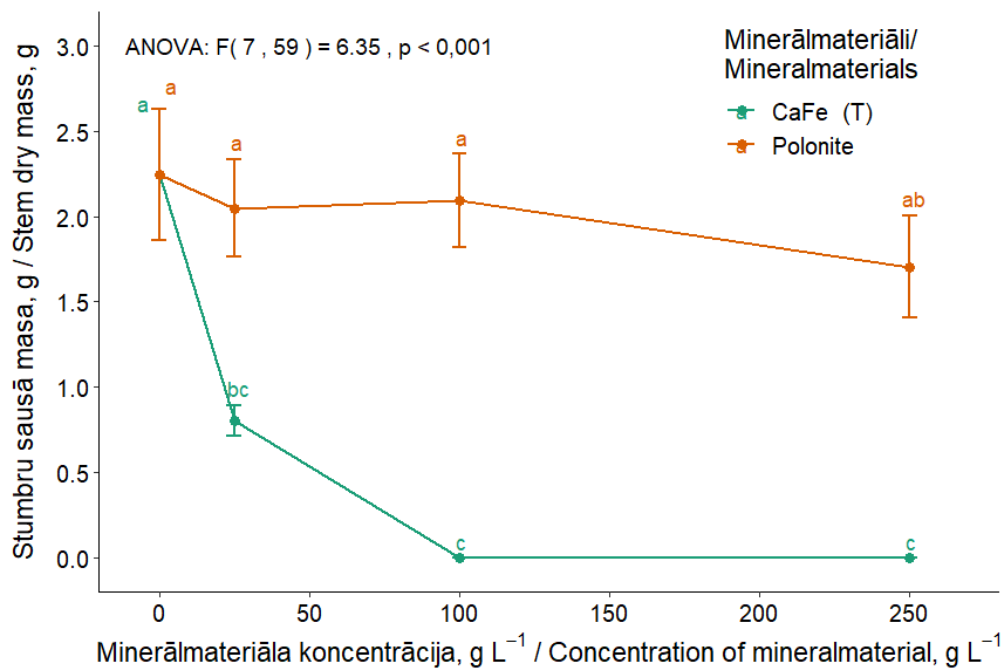
### 3.3. Minerālmateriālu ietekme uz lauka pupu *Vicia faba* morfoloģiju

Starp dažādās minerālmateriālā *Polonite* koncentrācijās augušajiem *V. faba* augiem nebija novērojamas būtiskas atšķirības ne stumbra garumā, ne sausajā masā. Stumbru garums bija vidēji 726 mm, un stumbru sausā masa bija vidēji 2,02 g (9., 10. attēls). Salīdzinot ar kontroli, CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem augiem stumbru garums koncentrācijā 25 g L<sup>-1</sup> nebija būtiski samazinājies (172 mm mazāks par kontroli). CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem augiem stumbru sausā masa 25 g L<sup>-1</sup> koncentrācijā sasniedza 0,8 g, un bija būtiski zemāka nekā kontroles augiem (par 1,44 g) (9., 10. attēls). *V. faba* augi CaFe oksīda (T) 100 un 250 g L<sup>-1</sup> klātbūtnē neizdīga vai gāja bojā īsi pēc izdīgšanas. Stumbru ūdens saturs nemainījās palielinoties CaFe oksīda (T) un *Polonite* koncentrācijai augsnē un vidēji bija 6,68 g g<sup>-1</sup> DM (11. attēls). *V. faba* dažādās minerālmateriālu devās var aplūkot 4. pielikumā.



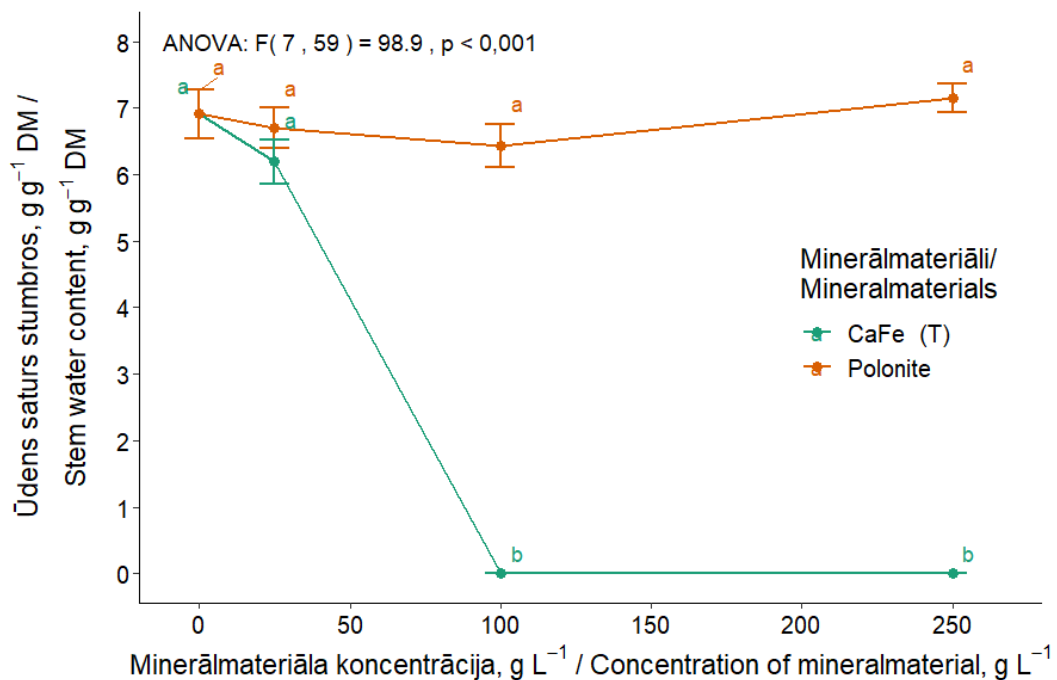
**9. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *Vicia faba* stumbru garumu. Attēlotas vidējās vērtības deviņiem augiem ± standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

**Figure 9.** Effect of different mineralmaterials on *Vicia faba* stem length. Data are means for nine plants ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).



**10. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *Vicia faba* stumbru sauso masu. Attēlotas vidējās vērtības deviņiem augiem ± standartklūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

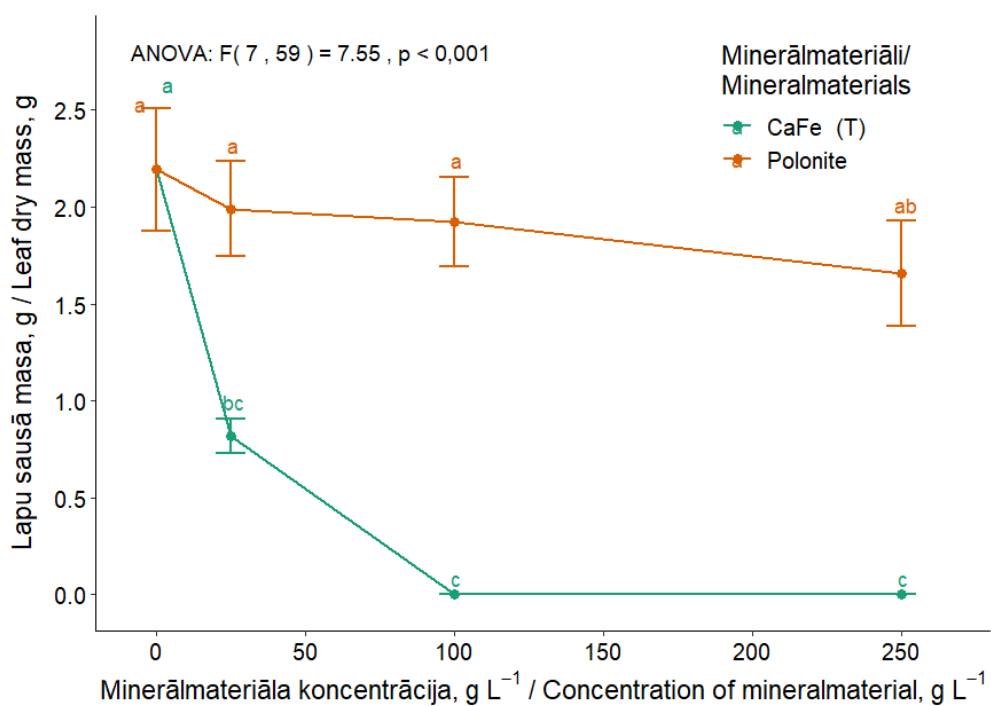
**Figure 10.** Effect of different mineralmaterials on dry mass of *Vicia faba* stems. Data are means for nine plants ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).



**11. attēls.** Minerālmateriālu ietekme uz ūdens saturu *Vicia faba* stumbros. Attēlotas vidējās vērtības deviņiem augiem ± standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

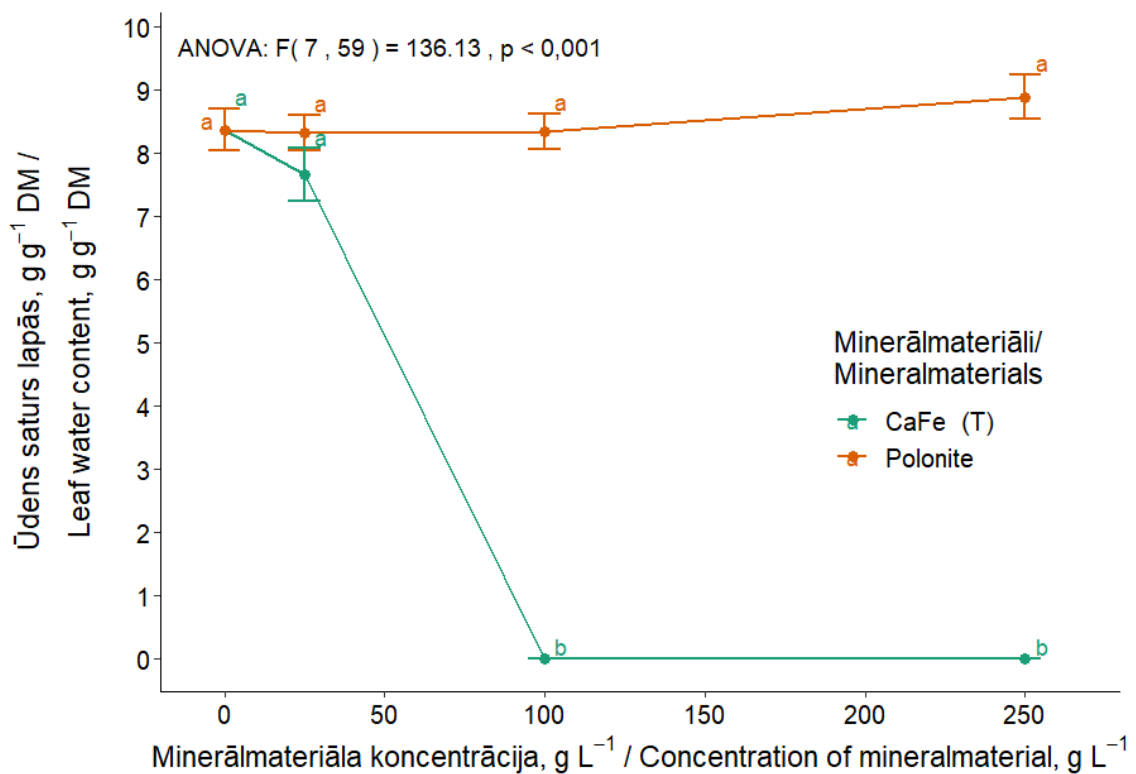
**Figure 11.** Effect of different mineral materials on the water content of *Vicia faba* stems. Data are means for nine plants ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

*V. faba* augu lapu sausā masa nemainījās palielinoties *Polonite* koncentrācijai un bija vidēji 1,94 g. CaFe oksīda (T) zemākajā koncentrācijā (25 g L<sup>-1</sup>) lapu sausā masa būtiski samazinājās līdz 0,81 g un būtiski neatšķīrās no nulles (12. attēls). Starp dažādos minerālmateriālos augušajiem augiem nebija novērojamas statistiski būtiskas atšķirības *V. faba* lapu ūdens saturā, tas nemainījās palielinoties minerālmateriāla koncentrācijai – lapu ūdens saturs bija no 7,67 līdz 8,89 g g<sup>-1</sup> DM (13. attēls).



**12. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *Vicia faba* lapu sauso masu. Attēlotas vidējās vērtības deviņiem augiem ± standartklūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

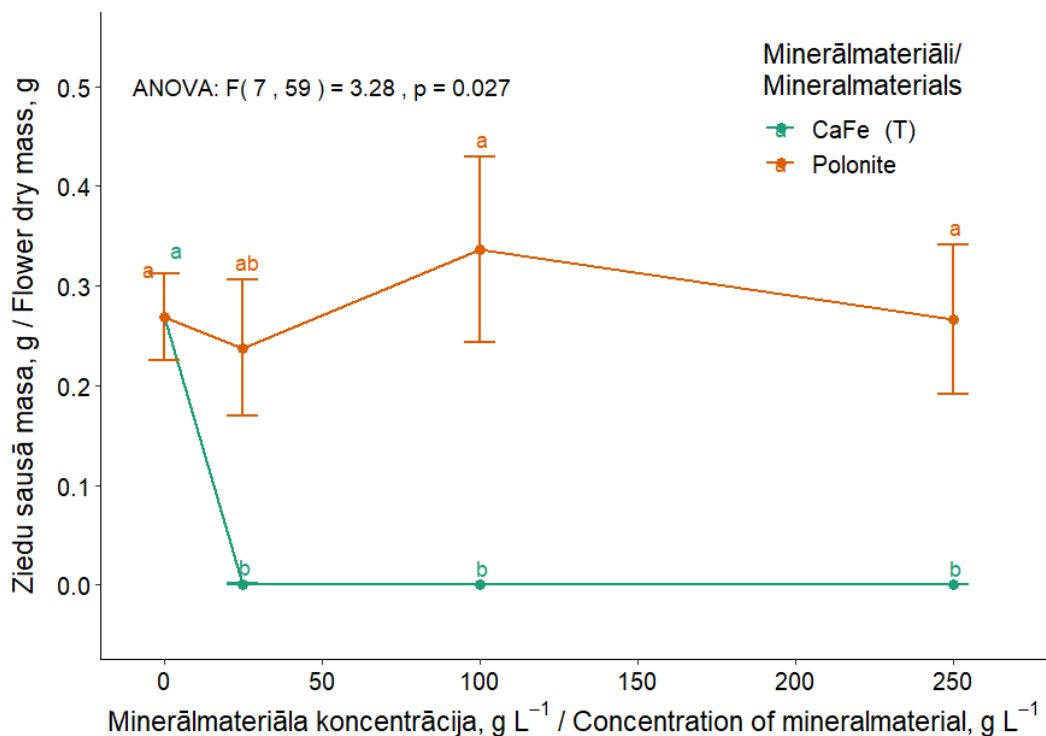
**Figure 12.** Effect of different mineralmaterials on the dry mass of *Vicia faba* leaves. Data are means for nine plants ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).



**13. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz ūdens saturu *Vicia faba* lapās. Attēlotas vidējās vērtības deviņiem augiem ± standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

**Figure 13.** Effect of different mineral materials on the water content of *Vicia faba* leaves. Data are means for nine plants ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

Minerālmateriāla *Polonite* klātbūtnē augušajiem *V. faba* augiem nebija būtiski atšķirīga ziedu sausā masa salīdzinot ar kontroli – vidēji 0,28 g. CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušie augi neziedēja (14. attēls).



**14. attēls.** Dažādu minerālmateriālu ietekme uz *Vicia faba* ziedu sauso masu. Attēlotas vērtības deviņiem augiem  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

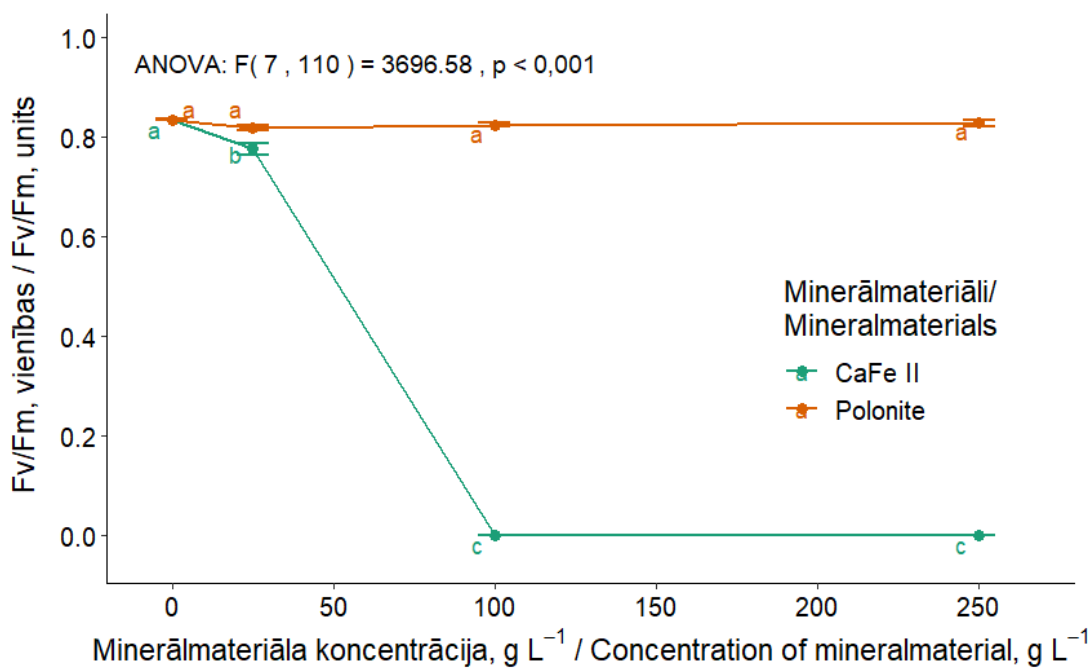
**Figure 14.** Effect of different mineral materials on the dry mass of *Vicia faba* flowers. Data are means for nine plants  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 9$ ).

Minerālmateriāls *Polonite* nebija ietekmējis *V. faba* morfoloģiju un ūdens saturu auga daļās, šim materiālam nebija fitotoksiska efekta, jo tas neradīja nelabvēlīgu ietekmi uz *V. faba* augšanu, taču to arī neveicināja. CaFe oksīdā (T) *V. faba* augi izdzīvoja tikai koncentrācijā  $25 \text{ g L}^{-1}$ , un arī šī koncentrācija būtiski samazināja morfoloģiskos rādītājus, salīdzinot ar kontroli. Ūdens saturs auga daļās nemainījās CaFe oksīda (T) ietekmē.

### 3.4. Minerālmateriālu ietekme uz lauka pupu *Vicia faba* fotosintēzes rādītājiem un hlorofila koncentrāciju

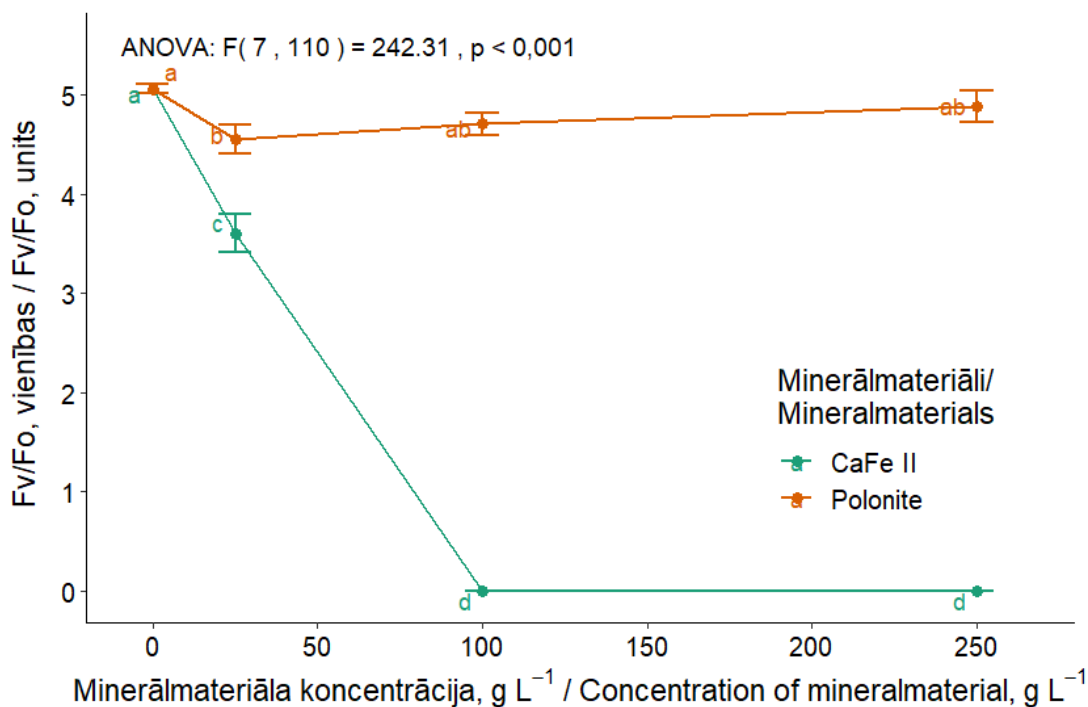
*Polonite* koncentrācija augsnē neietekmēja *V. faba* fotosistēmas II maksimālo kvantu aktivitāti un tā vidēji bija 0,82 (15. attēls). CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem augiem šī vērtība bija būtiski zemāka (par 0,04 vienībām) salīdzinot ar kontroli. Fotosistēmas II aktivitāte *Polonite* klātbūtnē augušajiem augiem  $25 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā bija būtiski samazinājusies līdz 4,55 vienībām

salīdzinot ar kontroli, kur tā bija 5,06 vienības. Augstākās Polonite koncentrācijās fotosistēmas II aktivitāte sasniedza vidēji 4,79 vienības, kas būtiski neatšķīrās no kontroles (16. attēls). CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem augiem fotosistēmas II aktivitāte 25 g L<sup>-1</sup> koncentrācijā samazinājās par 1,46 vienībām salīdzinot ar kontroli (16. attēls).



**15. attēls.** Fotosistēmas II maksimālā kvantu aktivitāte (Fv/Fm) *Vicia faba* vidējās lapās atkarībā no minerālmateriāliem un to koncentrācijas augsnē. Attēlotas vidējās vērtības 15 mērījumiem ± standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).

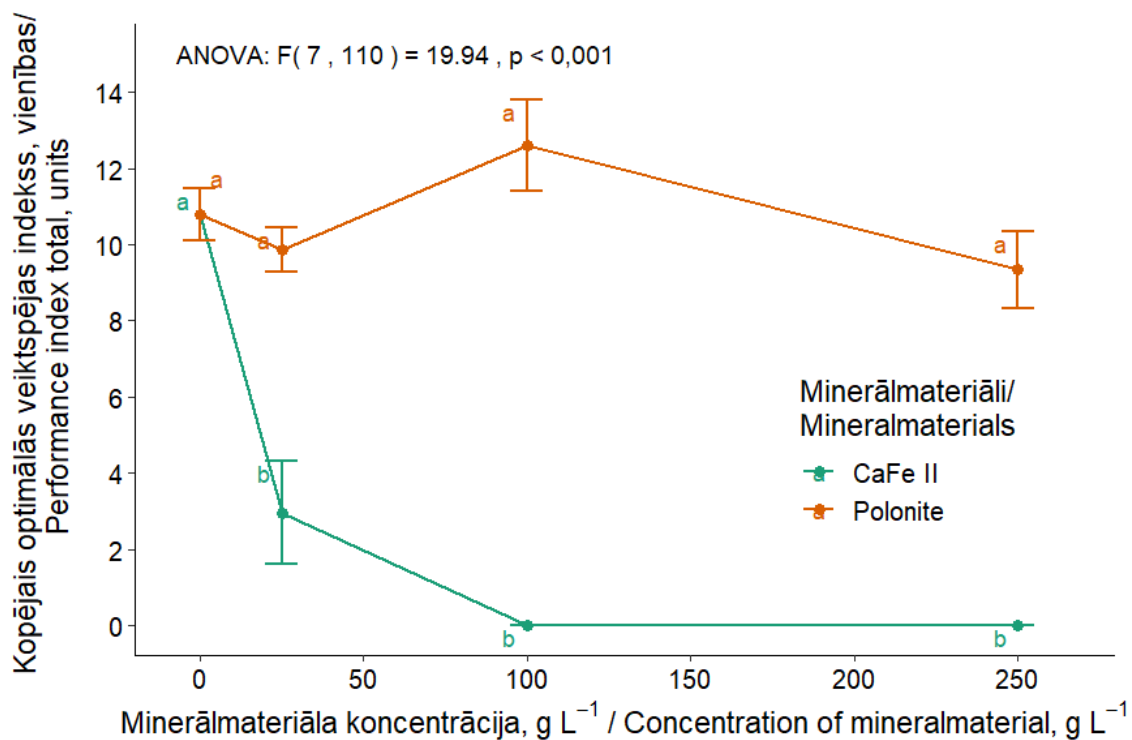
**Figure 15.** The maximum quantum yield of photosystem II (Fv/Fm) in the middle leaves of *Vicia faba* based on mineralmaterials and their concentration in the soil. Data are means for 15 measurments ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).



**16. attēls.** Fotosistēmas II aktivitāte *Vicia faba* vidējās lapās atkarībā no minerālmateriāliem un to koncentrācijas augsnē. Attēlotas vidējās vērtības 15 mērījumiem ± standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).

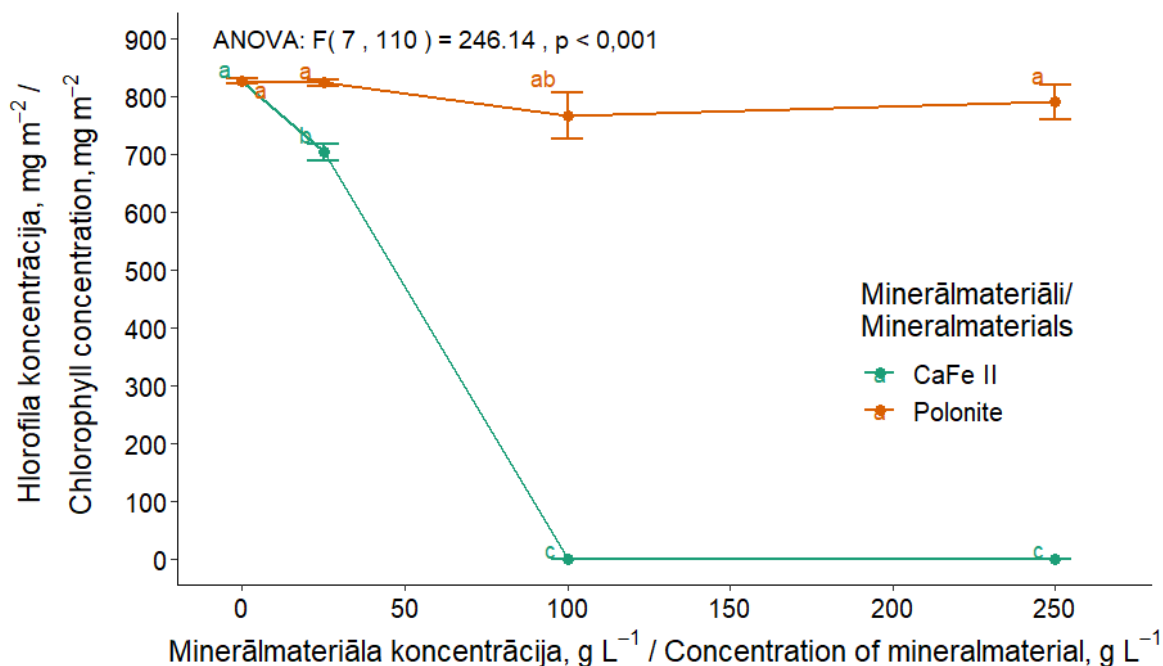
**Figure 16.** Photosystem II activity in the middle leaves of *Vicia faba* based on mineral materials and their concentration in the soil. Data are means for 15 measurements ± standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).

Kopējais veikspējas indekss *Polonite* klātbūtnē augušo *V. faba* augu lapās nemainījās pieaugot materiāla koncentrācijai un bija vidēji 10,65 vienības. CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušajiem augiem kopējais veikspējas indekss samazinājās par 7,83 vienībām salīdzinot ar kontroli (17. attēls). Minerālmateriālā *Polonite* klātbūtnē augušo *V. faba* lapās nebija samazinājusies hlorofila koncentrācija salīdzinot ar kontroli, visās koncentrācijās tā bija vidēji 802 mg m<sup>-2</sup>. CaFe oksīda (T) klātbūtnē augušo augu lapās hlorofila koncentrācija samazinājās par 123 mg m<sup>-2</sup> salīdzinot ar kontroli (18. attēls).



**17. attēls.** Kopējais optimālās veikspējas indekss *Vicia faba* vidējās lapās atkarībā no minerālmateriāliem un to koncentrācijas augsnē. Attēlotas vidējās vērtības 15 mērījumiem  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).

**Figure 18.** Performance index total in the middle leaves of *Vicia faba* based on mineralmaterials and their concentration in the soil. Data are means for 15 measurements  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).



**18. attēls.** Hlorofila koncentrācija *Vicia faba* vidējās lapās atkarībā no minerālmateriāliem un to koncentrācijas augsnē. Attēlotas vidējās vērtības 15 mērījumiem  $\pm$  standartkļūda. Atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtisku atšķirību ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).

**Figure 18.** Chlorophyll concentration in the middle leaves of *Vicia faba* based on mineral materials and their concentration in the soil. Data are means for 15 measurements  $\pm$  standard error. Different letters indicate a statistically significant difference ( $p < 0,05$ ; Tukey's test  $n = 15$ ).

*Polonite* neietekmēja *V. Faba* fotosintēzes rādītājus, taču CaFe oksīda (T) klātbūtnē augšajiem augiem bija samazināti visi noteiktie fotosintēzes rādītāji.

## 4. DISKUSIJA

Iegūtie rezultāti ļāva sasniegt bakalaura darbā izvirzīto mērķi un novērtēt notekūdeņu attīrīšanā izmantojamo kalcija/dzelzs oksīdu kompozītmateriālu ietekmi uz *Triticum aestivum* un *Vicia faba* augšanu un fizioloģisko stāvokli, kā arī to potenciālu izmantošanai lauksaimniecībā.

Hidroponikas testos ar *T. aestivum* varēja novērot pozitīvu minerālmateriālu *Polonite* un CaFe oksīdu (S un T) ietekmi uz augu lapu garumu un sauso masu. CaFe oksīda (S) ietekme uz *T. aestivum* bija līdzīga *Polonite* ietekmei, starp tiem nebija novērojamas būtiskas atšķirības, un šo materiālu optimālā koncentrācija hidroponikā bija  $100 \text{ g L}^{-1}$ . CaFe oksīdā (T) augušajiem augiem bija novērojama augu morfoloģijas parametru uzlabošanās salīdzinot ar kontroli, taču lapu garums un sausā masa bija būtiski zemāka par CaFe oksīdā (S) un *Polonite* augušo augu lapu garumu un masu. CaFe oksīda (T) optimālā koncentrācija bija  $250 \text{ g L}^{-1}$ , lai sasniegtu labāko lapu garumu un  $100 \text{ g L}^{-1}$ , lai sasniegtu labāko lapu masu.

Augsnes testiem par CaFe oksīda (T) un *Polonite* ietekmi uz *V. faba* augšanu bija novērojami atšķirīgi rezultāti. Augsnes testos siltumnīcā ar kontrolētiem apstākļiem nebija novērojama būtiska *Polonite* ietekme uz *V. faba* augšanu, savukārt CaFe oksīda (T) gadījumā novēroja negatīvu ietekmi uz augu augšanu. Augu morfoloģiskie parametri samazinājās, un koncentrācijās virs  $100 \text{ g L}^{-1}$  augi gāja bojā. Augsnē, kurai pievienoja CaFe oksīdu (T)  $25 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā pH vērtība bija 8,32,  $100 \text{ g L}^{-1}$  pH bija 9,32 un  $250 \text{ g L}^{-1}$  pH sasniedza 11,34. Augu bojāeju  $100$  un  $250 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijās var skaidrot ar augsto augsnes pH, *V. faba* augšanai piemērots pH ir robežās starp 6,5 un 9 (Jensen u.c., 2010). *Polonite* augsnes pH neietekmēja, un tas visās koncentrācijās bija aptuveni 8. Augsnes poru ūdens elektrovadītspēja (ECp) pieaug palielinoties šķīstošo elementu saturam augsnes ūdenī (Kim & Park, 2024). Pievienojot CaFe oksīdu (T) augsnei novēroja augsnes ECp pieaugumu, tas bija straujāks nekā *Polonite*, CaFe oksīda (T)  $250 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā ECp bija gandrīz divas reizes augstāks nekā *Polonite* šajā koncentrācijā. Šie rezultāti varētu liecināt par šķīstošo barības vielu satura palielināšanos, kas CaFe oksīda (T) ietekmē notiek lielākā mērā nekā *Polonite*.

CaFe oksīds (T) *V. faba* augšanas testos augsnē zemākajā koncentrācijā ( $25 \text{ g L}^{-1}$ ) izraisīja gan būtisku augu morfoloģisko parametru samazināšanos, gan fotosintēzes pasliktināšanos un pieaugot minerālmateriāla koncentrācijai augi gāja bojā. Kā iepriekš minēts, augsnes pH visticamāk izraisīja augu bojāeju, taču augsnes pH neizskaidro augu morfoloģijas un fizioloģijas pasliktināšanos  $25 \text{ g L}^{-1}$  koncentrācijā, jo tajā pH bija 8,32, kas ietilps *V. faba* optimālā pH robežās (Jensen u.c., 2010). Ņemot vērā, ka hidroponikas sistēmā CaFe oksīdam (T) nebija novērojams

fitotoksisks efekts, var pieņemt, ka starp CaFe oksīdu (T) un augsni notiek kādas reakcijas, kas maina minerālmateriāla īpašības, un tas kļūst augiem nelabvēlīgs. Taču no pieejamās informācijas nevar spriest par CaFe oksīda (T) fitotoksicitātes iemesliem. Nepieciešami tālāki pētījumi par šī minerālmateriāla reakcijām ar augsni.

N, P un K trūkums var izraisīt fotosintēzes parametru, īpaši hlorofila koncentrācijas un fotosistēmas II darbības samazināšanos (Chaudhary u.c., 2008; Du u.c., 2019; Mu & Chen, 2021; Xu u.c., 2007; Zhao u.c., 2001). Piemēram, slāpekļa trūkums samazina Fv/Fm gan ziemas kviešos, gan kukurūzā (Mu & Chen, 2021), rīsiem, atrodoties ilgstošā P trūkumā, ir traucēta fotosistēmas II darbība (Xu u.c., 2007) un pupiņām N trūkumā samazinās veiktspējas indeksa vērtība (Aleksandrov, 2022). Minerālmateriālā *Polonite* augušajām *V. faba* nebija traucēts neviens no mērītajiem fotosintēzes parametriem (Fv/Fm, Fv/Fo, kopējais optimālās veiktspējas indekss un hlorofila koncentrācija), kas norāda uz minerālelementu pietiekamību un augu veselību. Savukārt, CaFe oksīdā (T) augušajiem augiem novērojama visu apskatīto fotosintēzes parametru samazināšanās, kas varētu norādīt uz barības vielu trūkumu un abiotisku stresu. Iespējams, CaFe oksīds (T) augsnē traucē kādu barības elementu uzņemšanu, kas samazina gan augu fotosintēzes iespējas, gan pasliktina morfoloģijas parametrus.

Lai noskaidrotu, kāpēc *Polonite* materiālam varēja novērot pozitīvu ietekmi uz *T. aestivum* augšanu hidroponikā, bet neitrālu efektu uz *V. faba* augšanu augsnē, būtu noderīgi iegūt datus par hidroponikas šķīduma barības vielu saturu dažādās minerālmateriāla koncentrācijās, kā arī barības vielu saturu augsnē pēc *Polonite* iestrādāšanas. Novērojot augsnes katjonu saturu pirms eksperimenta sākšanas, redzams, ka augsnē atrodas daudz Ca, P, Mg un K. Ja būtu zināms katjonu saturs augsnē pēc eksperimenta beigām, varētu spriest par *Polonite* izdalīto barības vielu daudzumu. Šobrīd var pieņemt, ka augiem augsnē ir pietiekams barības vielu saturs, tāpēc *Polonite* pievienošana neveicināja augu augšanu. Līdzīgi rezultāti novēroti arī citos pētījumos, kur *Polonite* un minerālmēslojumi neietekmē augu ražu, jo augsnē jau ir pietiekams P saturs (Cucarella u.c., 2012). Iespējams arī, ka *Polonite* neietekmēja *V. faba* augšanu, jo augsnē bija N trūkums, zināms, ka eksperimentā izmantotajā augsnē ir zems N katjonu saturs, un *Polonite* N nav vispār. Arī N trūkums var ietekmēt pētījuma rezultātus un neuzrādīt atšķirības starp nemēslotu augsni un *Polonite*, tādā gadījumā augu augšanu veicinošu efektu var iegūt kombinējot *Polonite* ar N un K minerālmēslojumu (Cucarella u.c., 2009).

Spriežot par hidroponikas testu un augsnes testu rezultātu atšķirībām, hidroponikas testi varētu būt jutīgāki pret minerālmateriālu izdalītajām barības vielām, salīdzinot ar augsnes testiem,

jo dejonizētā ūdenī ir mazs barības vielu saturs, tāpēc pat neliels papildus barības vielu daudzums varētu veicināt augu augšanu. Lai pierādītu vai noraidītu šo hipotēzi, nepieciešami dati par barības vielu saturu hidroponikas šķīdumos ar dažādām minerālmateriālu koncentrācijām. Noderīgi būtu arī veikt šādu datu ievākšanu ilgākā laika posmā, lai noskaidrotu vai minerālmateriāli izdala barības vielas ilgtermiņā. Piemēram, struvīts, kas ir minerālmateriāls ar līdzīgām funkcijām CaFe oksīdiem (S un T) un *Polonite*, P izdala ilgtermiņā. P var izdalīties tikai struvīta granulu šķīšanas procesā, ko nodrošina augu sakņu izdalītās organiskās skābes. Struvīts izdalīja daudz vairāk P 90 dienu laikā nekā 36 dienu laikā (Talboys u.c., 2016).

Hidroponikas un augsnes eksperimenta datus būtu vieglāk salīdzināt, ja *V. faba* augsnes eksperimentos audzētu visos trīs minerālmateriālos: CaFe oksīdā (S), CaFe oksīdā (T) un *Polonite*. Augsnes eksperimentos izmantoja tikai *Polonite* un CaFe oksīdu (T), jo eksperimenta veikšanas laikā nebija pieejams pietiekams daudzums CaFe oksīda (S). Tomēr augsnes augšanas eksperimenta rezultāti sniegtu plašāku informāciju, ja būtu izmantoti visi trīs materiāli.

Svarīgs aspekts *V. faba* augšanas eksperimenta rezultātu uzlabošanai būtu izmantotās augsnes sterilizēšana karsējot. Augsne ir ļoti heterogēna vide, īpaši augsne, kas ievākta dabā. Lai uzlabotu rezultātu ticamību un uzturētu pēc iespējas kontrolētus apstākļus, augsni būtu nepieciešams sterilizēt, lai samazinātu augsnes patogēnu, mikroorganismu un bezmugurkaulnieku nevēlamo, nekontrolējamo ietekmi uz *V. faba* augšanu. Tāpat būtu noderīgi augsnes eksperimentus veikt arī ar *T. aestivum*, lai varētu veiksmīgāk salīdzināt hidroponikas un augsnes testu rezultātus.

Šādu materiālu testēšanai labāk ieteicams izmantot testus augsnē, jo, iespējams, materiāli atšķirīgi reaģē augsnē un ūdenī. Lai gan augsnes testi ir laikietilpīgāki, tie sniedz noderīgākus rezultātus minerālmateriālu lauksaimnieciskās izmantošanas potenciāla pārbaudei.

Kopumā minerālmateriāli izrāda potenciālu izmantošanai lauksaimniecībā. Tiem ir zems smago metālu saturs (dati nav iekļauti) un hidroponikas sistēmās tie neizrādīja fitotoksisku efektu un veicināja augu augšanu. Taču vēl nepieciešams veikt turpmākus pētījumus par materiālu reakcijām ar augsni, par to izdalīto barības vielu daudzumu un barības vielu izdalīšanas laiku. Tāpat jānoskaidro, kādas ir optimālās minerālmateriālu devas augu augšanas veicināšanai augsnē.

## SECINĀJUMI

1. Visi minerālmateriāli, kas izmantoti notekūdeņu attīrīšanā no barības vielām (CaFe oksīdi (S un T) un *Polonite*) neuzrādīja fitotoksisku efektu uz *Triticum aestivum* augšanu hidroponikas sistēmā. Optimālā *Polonite* un CaFe oksīda (S) koncentrācija bija  $100 \text{ g L}^{-1}$ , bet CaFe oksīda (T) optimālā koncentrācija bija  $100 \text{ g L}^{-1}$ , kur novēroja lielāko *Triticum aestivum* lapu masu un  $250 \text{ g L}^{-1}$ , kur novēroja lielāko lapu garumu.
2. CaFe oksīdam (T) augsnē novērojams fitotoksisks efekts uz *Vicia faba* – tas samazināja *Vicia faba* morfoloģiskos un fizioloģiskos rādītājus zemākajā koncentrācijā ( $25 \text{ g L}^{-1}$ ) un izraisīja augu bojāeju augstākās koncentrācijās ( $100$  un  $250 \text{ g L}^{-1}$ ). *Polonite* bija neitrāls efekts uz *Vicia faba* augšanu augsnē, tas neietekmēja *V. faba* morfoloģiju un fizioloģiju.
3. CaFe oksīds (T) izraisīja augsnes pH paaugstināšanos,  $250 \text{ g L}^{-1}$  augsnes pH sasniedza 11,34. *Polonite* neizraisīja augsnes pH izmaiņas un visa eksperimenta laikā bija aptuveni 8.
4. Minerālmateriāli CaFe oksīds (T un S) un *Polonite* uzrāda potenciālu augu augšanas uzlabošanai lauksaimniecībā, taču nepieciešams veikt tālākus pētījumus par materiālu reakcijām ar augsni, to izdalīto barības vielu daudzumu, barības vielu izdalīšanas laiku un optimālās minerālmateriālu devas augu augšanas veicināšanai augsnē.

## PATEICĪBAS

Pateicība darba vadītājiem profesoram, Dr. habil. biol. Ģedertam Ieviņam un Ph.D. Rūtai Ozolai-Davidānei.

Paldies Agroresursu un ekonomikas institūtam par *Vicia faba* sēklām, z/s “Krustmaļi” par *Triticum aestivum* sēklām un z/s “Bruži” par pētījumā izmantoto augsni. Paldies Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes darbiniekiem Baibai Dirnēnai, Laurim Arbidanam un Jūlijai Karasai par palīdzību materiālu sagatavošanā un analīzē.

Pētījums veikts ar Latvijas Zinātnes padomes Fundamentālo un lietišķo pētījumu projekta Nr. lzp-2021/1-0090 “Latvijas neizmanto zemes dziļu minerālmateriālu resursi inovatīvu kompozītmateriālu izstrādē fosfora atgūšanai no mazajām komunālo un ražošanas notekūdeņu attīrīšanas iekārtām, lai realizētu aprites ekonomikas principus (CircleP)” atbalstu.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Albuquerque, J. A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J., & Bernal, M. P. (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, *43*, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.06.001>
- Aleksandrov, V. (2022). Identification of nutrient deficiency in plants by artificial intelligence. *Acta Physiologiae Plantarum*, *44*(3), 29. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03363-0>
- Bafoev A.X, Rajabboev A.I, Niyozov S.A, Bakhshilloev N.K, & Mahmudov R.A. (2022). View of significance and classification of mineral fertilizers. *Texas Journal of Engineering and Technology*, *5*, 1–5.
- Belouchrani, A. S., Drouiche, N., Ziche, Z. I., & Lounici, H. (2023). Study of the effect of phosphorus on mineral nutrition of faba bean *Vicia faba* L. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(3), 1750–1761. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10657-7>
- Centrālā statistikas pārvalde. (2023). *Latvijas lauksaimniecība. Statistisko datu krājums*.
- Chaudhary, M. I., Adu-Gyamfi, J. J., Saneoka, H., Nguyen, N. T., Suwa, R., Kanai, S., El-Shemy, H. A., Lightfoot, D. A., & Fujita, K. (2008). The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. *Acta Physiologia Plantarum*, *30*(4), 537–544. <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0152-8>
- Cucarella, V., Mazurek, R., Zaleski, T., Kopeć, M., & Renman, G. (2009). Effect of Polonite used for phosphorus removal from wastewater on soil properties and fertility of a mountain meadow. *Environmental Pollution*, *157*(7), 2147–2152. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.007>
- Cucarella, V., Renman, G., Zaleski, T., & Mazurek, R. (2012). Recycling of calcium-silicate material after wastewater filtration to agriculture - soil condition impact. *Ecological Chemistry and Engineering S*, *19*(3), 373–382. <https://doi.org/10.2478/v10216-011-0027-6>
- Cucci, G., Lacolla, G., Summo, C., & Pasqualone, A. (2019). Effect of organic and mineral fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*, *243*, 338–343. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.051>
- Doyeni, M. O., Stulpinaite, U., Baksinskaite, A., Suproniene, S., & Tilvikiene, V. (2021). The effectiveness of digestate use for fertilization in an agricultural cropping system. *Plants*, *10*(8), 1734. <https://doi.org/10.3390/plants10081734>
- Du, Q., Zhao, X., Xia, L., Jiang, C., Wang, X., Han, Y., Wang, J., & Yu, H. (2019). Effects of potassium deficiency on photosynthesis, chloroplast ultrastructure, ROS, and antioxidant

- activities in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 18(2), 395–406.  
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61953-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61953-7)
- European Commission, 2014. On the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative (No. Document 52014DC0297). Brussels.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0297> Skatīts  
 22.05.2024.
- Geisseler, D., & Scow, K. M. (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54–63.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023>
- Gustafsson, J. P., Renman, A., Renman, G., & Poll, K. (2008). Phosphate removal by mineral-based sorbents used in filters for small-scale wastewater treatment. *Water Research*, 42(1–2), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.058>
- Jensen, E. S., Peoples, M. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2010). Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 115(3), 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.008>
- Jia, Y., & Gray, V. M. (2004). Influence of phosphorus and nitrogen on photosynthetic parameters and growth in *Vicia faba* L. *Photosynthetica*, 42(4), 535–542. <https://doi.org/10.1007/S11099-005-0010-5>
- Karasa, J., Ozola-Davidane, R., Gruskevica, K., Mikosa, L. I., Kostjukovs, J., Kostjukova, S., Zekker, I., & Krauklis, A. E. (2023). Use of calcium/iron oxide composites for sorption of phosphorus from wastewater. *Agronomy Research*, 21(3), 1161–1173.  
<https://doi.org/10.15159/AR.23.055>
- Kim, H. N., & Park, J. H. (2024). Monitoring of soil EC for the prediction of soil nutrient regime under different soil water and organic matter contents. *Applied Biological Chemistry*, 67(1), 1.  
<https://doi.org/10.1186/s13765-023-00849-4>
- Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., & Soja, G. (2014). Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 3–15. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200282>
- Li, J. T., Zhong, X. L., Wang, F., & Zhao, Q. G. (2011). Effect of poultry litter and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system. *Plant, Soil and Environment*, 57(8), 351–356. <https://doi.org/10.17221/233/2010-PSE>

- Mantovi, P., Baldoni, G., & Toderi, G. (2005). Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research*, 39(2–3), 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.10.003>
- Ministru kabineta 2006. gada 2. maija noteikumi Nr. 362 "Noteikumi par notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli". *Latvijas Vēstnesis*, 73, 11.05.2006.
- Ministru kabineta 2015. gada 1. septembra noteikumi Nr. 506 "Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi". *Latvijas Vēstnesis*, 179, 14.09.2015.
- Mu, X., & Chen, Y. (2021). The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>
- Nweke, I. A., & Nsoanya, L. N. (2013). Soil pH an indices for effective management of soils for crop production. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2.
- Osvalde, A. (2011). Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. *Environmental and Experimental Biology*, 9, 1–8.
- Prasad, H., Parmar, Y. S., Sajwan, P., Kumari, M., & Solanki, S. (2017). Effect of organic manures and biofertilizer on plant growth, yield and quality of horticultural crop: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 5(1), 217–221.
- Renman, A., & Renman, G. (2010). Long-term phosphate removal by the calcium-silicate material Polonite in wastewater filtration systems. *Chemosphere*, 79(6), 659–664. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.02.035>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Mineral Nutrition. In: *Plant physiology 4th ed.*, Sunderland, Sinauer Associates Publishers: 73–94.
- Talboys, P. J., Heppell, J., Roose, T., Healey, J. R., Jones, D. L., & Withers, P. J. A. (2016). Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management? *Plant and Soil*, 401(1–2), 109–123. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2747-3>
- Tomócsik, A., Makádi, M., Orosz, V., Aranyos, T., Demeter, I., Mészáros, J., & Füleky, G. (2016). Effect of sewage sludge compost treatment on crop yield. *AGROFOR*, 1(2). <https://doi.org/10.7251/AGRENG1602005T>
- Tóth, G., Guicharnaud, R.-A., Tóth, B., & Hermann, T. (2014). Phosphorus levels in croplands of the European Union with implications for P fertilizer use. *European Journal of Agronomy*, 55, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.12.008>

- Valsts augu aizsardzības dienests. (2023). *Augsnes monitoringa rezultāti 2022. gadā*. <https://www.vaad.gov.lv/lv/augsnes-monitoringa-rezultati> Skatīts 21.05.2024.
- Veneklaas, E. J., Lambers, H., Bragg, J., Finnegan, P. M., Lovelock, C. E., Plaxton, W. C., Price, C. A., Scheible, W., Shane, M. W., White, P. J., & Raven, J. A. (2012). Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytologist*, *195*(2), 306–320. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>
- Weeks, J. J., & Hettiarachchi, G. M. (2019). A review of the latest in phosphorus fertilizer technology: possibilities and pragmatism. *Journal of Environmental Quality*, *48*(5), 1300–1313. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0067>
- Xu, H. X., Weng, X. Y., & Yang, Y. (2007). Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, *54*(6), 741–748. <https://doi.org/10.1134/S1021443707060040>
- Zhao, D., Oosterhuis, D. M., & Bednarz, C. W. (2001). Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, *39*(1), 103–109. <https://doi.org/10.1023/A:1012404204910>

## PIELIKUMI

### 1. pielikums

Augu minerālās barošanās makroelementu (1. tabula) un mikroelementu (2. tabula) saturs un pH vērtība (2. tabula) minerālmateriālos pēc to izmantošanas sadzīves notekūdeņu attīrīšanā

Plant macronutrient (Table 1) and micronutrient (Table 2) content and pH value (Table 2) of mineralmaterials after their use in municipal wastewater treatment

#### 1. tabula

**Table 1**

Minerālmateriāls/ Mineralmaterial	N mg kg <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mg kg <sup>-1</sup>	Mg mg kg <sup>-1</sup>	S mg kg <sup>-1</sup>
CaFe oksīds (S)/ CaFe oxide (S)	10	2372	722	268 808	3 511	789
CaFe oksīds (T)/ CaFe oxide (T)	N	4257	226	232 313	5 183	1141
<i>Polonite</i>	0	368	6 826	138 448	3 575	179

N – nav datu/ no data

#### 2. tabula

**Table 2**

Minerālmateriāls/ Mineralmaterial	B mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	Mo mg kg <sup>-1</sup>	pH (OH)
CaFe oksīds (S)/ CaFe oxide (S)	< 21	225 009	3 512	4,76	12,43
CaFe oksīds (T)/ CaFe oxide (T)	< 14	209 068	1 053	< 1,60	N
<i>Polonite</i>	38	11 423	56	7,37	11,18

N – nav datu/ no data

## 2. pielikums

Katjonu saturs *Vicia faba* eksperimentā izmantotajā augsnēCation content in soil used for *Vicia faba* experiment

Paraugs/ Sample	Na mg kg <sup>-1</sup>	Mg mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mg kg <sup>-1</sup>	Al mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	P mg L <sup>-1</sup>
Augsne/ Soil "Bruži"	87,1	416,1	340,8	3 054,5	< 0,5	< 0,11	0,59	606,5

## 3. pielikums

Eksperimentālo variantu veidošanā izmantoto minerālmateriālu un ūdens attiecības *Triticum aestivum* dīgstu augšanas testiem

The ratio of mineralmaterials and water used to create experimental variants for *Triticum aestivum* shoot growth tests

<b>Koncentrācija/ Concentration, (g L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Minerālmateriāla daudzums/ Amount of mineralmaterial, (g)</b>	<b>Dejonizēts ūdens/ Deionized water, (mL)</b>
0	0	līdz 300
10	3	līdz 300
100	30	līdz 300
250	75	līdz 300
500	125	līdz 300
1000	200	līdz 300

4. pielikums

*Vicia faba* dažādās minerālmateriālu *Polonite* (a) un CaFe oksīda (T) (b) koncentrācijās (no kreisās: 0 g L<sup>-1</sup>, 25 g L<sup>-1</sup>, 100 g L<sup>-1</sup>, 250 g L<sup>-1</sup>)

*Vicia faba* in different concentrations of mineral materials *Polonite* (a) and CaFe oxide (T) (b) (from the left: 0 g L<sup>-1</sup>, 25 g L<sup>-1</sup>, 100 g L<sup>-1</sup>, 250 g L<sup>-1</sup>)

**a**



**b**



## DOKUMENTĀRĀ LAPA

Bakalaura darbs „Lauksaimniecībā potenciāli izmantojamo kalcija/dzelzs oksīdu kompozītmateriālu ietekme uz augu augšanu un fizioloģisko stāvokli” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un LUISā iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai un/vai estudijās iesniegtai darba elektroniskai versijai.

Autors: Katrīna Anna Ozoliņa

23.05.2024.

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: PhD. Rūta Ozola-Davidāne

23.05.2024.

Vadītājs: Dr. Habil. Biol. Ģederts Ieviņš

23.05.2024.

Recenzents: Mg. Biol. Līva Purmale

Darbs iesniegts LU Bioloģijas fakultātē 23.05.2023.

Studiju metodiķe:

Darbs aizstāvēts Bioloģijas bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

prot. Nr. \_\_\_\_\_, vērtējums

Komisijas sekretārs/e: