

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

BIOMASAS PELNU IETEKME UZ AUGU AUGŠANU  
BAKALaura DARBS

Autors: **Daina Žagata**

Stud. apl. Dz06012

Darba vadītāja:

**Dr. chem. Zane Vincēviča-Gaile**

Zinātniskais konsultants:

**Dr. hab. biol., prof. Ģederts Ieviņš**

RĪGA 2018

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darba mērķis ir izvērtēt koģenerācijas stacijā iegūto biomasas pelnu izmantošanas potenciālu lauksaimniecībā, veicot augu (miežu un kviešu) augšanas pētījumu hidroponikas sistēmā un pēc iegūtajiem rezultātiem novērtēt pelnu/sapropēja granulu efektivitāti kultūraugu (salātu) audzēšanā. Darba ietvaros tika veikti eksperimenti izmantojot dažādus koksnes pelnus – vieglos, smagos un jauktos.

Rezultāti liecina, ka koksnes pelni ietekmē augu augšanu. Par viss piemērotākajiem augu mēslošanai tika atzīti vieglie pelni, bet to sastāvs gan fizikālais, gan ķīmiskais pirms izmantošanas ir noteikti jāpārbauda. Vieglo pelnu/sapropēja granulām pievienojot slāpekli un fosforu, to efektivitāte ievērojami uzlabojās.

Atslēgas vārdi: Koksnes pelni, smagie pelni, vieglie pelni, hidroponika, kvieši, mieži, salāti, pelnu granulas.

## ABSTRACT

The aim of the Bachelor Thesis is to assess potential uses in agriculture, the impact on barley and wheat using hydroponics' system and to assess the efficiency of ash/gyttja granules on growth of crops such as lettuce. The experiments were performed using three biomass ash suspensions made from fly ash, bottom and mixed ash.

The results indicate that plant growth is affected by wood ash. Fly ash were assessed as the best for use as a fertilizer, however, before using any kind of ash, their physical and chemical properties have to be tested. Application of fly ash/gyttja granules supplemented with nitrogen and phosphorus showed better results on growth of lettuce.

Key words: Wood ash, bottom ash, fly ash, hydroponics, wheat, barley, lettuce, ash granules.

## SATURA RĀDĪTĀJS

ANOTĀCIJA .....	2
ABSTRACT .....	3
IEVADS .....	5
1.LITERATŪRAS APSKATS.....	8
1.1. Pelnu klasifikācija .....	8
1.2. Pelnu sastāvs.....	12
1.3. Pelnu bīstamība .....	15
1.4. Pelnu izmantošana .....	16
2.MATERIĀLI UN METODEDES .....	18
2.1. Pelnu paraugu šķīdumu sagatavošana .....	18
2.2. Graudaugu augšanas testi .....	18
2.2.1. Graudaugu paraugu sagatavošana dziedēšanai .....	18
2.2.2. Kviešu un miežu sagatavošana audzēšana hidroponikas sistēmā.....	19
2.2.3. Graudaugu mērīšana .....	22
2.3. Salātu audzēšana.....	23
2.4. Aprīkojums un reaģenti .....	24
2.5. Datu analīze .....	25
3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	26
3.1. Vieglo pelnu tests .....	26
3.2. Tests ar smagajiem un jauktajiem pelniem .....	29
3.3. Tests ar slāpekli un fosforu .....	32
3.4. Salātu augšanas tests .....	33
3.5. Izmantoto pelnu elementu sastāva piemērotība veģetācijai .....	36
SECINĀJUMI.....	40
PATEICĪBA.....	41
LITERATŪRAS AVOTI.....	42
PIELIKUMS .....	45

## IEVADS

Pēdējo desmit gadu laikā pasaulē nozīmīgu lomu ir ieguvušas koģenerācijas stacijas, kuru mērķis ir vienlaicīgi ražot gan elektroenerģiju, gan siltumenerģiju. Izmantotās tehnoloģijas koģenerācijas stacijās attīstās, bet šo staciju darbības pamatprincipi ir saglabājušies līdzīgi. Agrāk galvenokārt tika izmantotas fosilā kurināmā enerģijas ražošanas stacijas, bet to skaits pasaulē pamazām samazinās. Viens no tā iemesliem ir fosilo materiālu daudzuma samazināšanās un radītās siltumnīcas efektu veicinošās gāzes. Tāpēc šobrīd pasaulē arvien vairāk cenšas izmantot tieši atjaunojamus dabas resursus – dažādas izcelsmes biomasas materiālus, saules starojuma un vēju enerģijas un viļņu darbības enerģiju, lai samazinātu siltumnīcas efekta gāzu koncentrāciju. Piemēram Dānijā 10 gadu laikā, no 2004. līdz 2014. gadam izmantotā vēja enerģija ir divkāršojusies, bet patērētais koksnes daudzums šo gadu laikā gan nav mainījies. Dabā ir pieejami ļoti daudzveidīgi bioloģiskie materiāli, kurus var izmantot siltuma un elektrības iegūšanai, piemēram, kūdras, sienu, svaigu augu biomasu, šķeldu, kamieļu fēces, zemesriekstu čaumalas, zāģu skaidas un citus materiālus, bet to pelnu sastāvs un ķīmiskās īpašības ir ļoti atšķirīgas. Atšķirībā no fosilajiem kurināmajiem, tiek uzskatīts, ka koksnes dedzināšanas procesā radusies CO<sub>2</sub> gāze vidē ir neitrāla, jo vidē netiek ievadīts papildus CO<sub>2</sub>, kas ļauj nodrošināt kaitīgo izmešu apjoma samazināšanos (Weatherstone et al., 2015; Rohr et al. 2015). Arī iegūtais pelnu daudzums ir ievērojams un tos ietekmē ļoti daudz dažādu apstākļu. Tā, piemēram, dedzinot šķeldu iegūst 1,0-2,5% pelnu no sākotnējās biomasas, bet no zāģu skaidām 0,5-1,1,% pelnu. Koka biomasai pelnu apjoms ir mazāks kā augu biomasai, savukārt koksne no mērenā klimata zonā esošiem mežiem radīs mazāk pelnu nekā tropu un subtropu joslās augušie koki. Ļoti lielu koksnes daļu veido arī ūdens (Stanislav et al. 2012).

Latvijā koģenerācijas staciju skaits pēdējos gados ir ievērojami audzis. Pēc Centrālās Statistikas pārvaldes datiem 2010. gadā Latvijā bija 71 koģenerācijas stacijas, bet 2015. gadā Latvijā darbojās jau 183 stacijas, no tām šobrīd gan tikai 34% izmanto biomasu to apkurei, bet to skaits turpina pieaugt (CSP bez dat.).

Liela problēma pasaules mērogā ir koģenerācijas staciju radītie blakusprodukti tādi kā izdedži, pelni un bioogles, kuri, ja netiek izmantoti lietderīgi, ir jātransportē uz atkritumu poligoniem. Lai dedzināšanas blakusprodukti tiktu izmantoti, tiek veikti pētījumi dažādās jomās. Jau šobrīd ir izpētīts, ka koģenerācijas staciju pelni varētu tikt izmantoti dažādās sfērās, piemēram, celtniecībā, kā piedevu cementa un betona izstrādājumos, vai piemaisījums grantij un šķembām veidojot asfaltu (Basu et al. 2009; Pels et al. 2005). Saskaņā ar Latvijas Valsts Mežzinātnes Institūta “Silava” pētījumiem, Latvijā 2015. gadā tika radīti ap 108 000 tonnām

koksnes pelnu un lielākā daļa no tiem tiek deponēti speciālos poligonos, kas nenondrošina ilgtspējīgu saimniekošanu (Skagale 2017).

Koģenerācijas staciju pelni tiek iedalīti vieglajos, smagajos un jauktajos pelnos. Tiem ir atšķirīgs ķīmiskais sastāvs, daļiņu izmērs un pielietojums. Lielāko bīstamību rada tieši vieglie pelni, kas viegli var nokļūt dzīvajos organismos, pazemes ūdeņos un augsnē, turklāt to sastāvā ir smagie metāli, kas var būt toksiski. Dažās valstīs pelnu sastāvā ir atrastas pat radioaktīvas vielas (Basu et al. 2009; Ahmaruzzaman 2010; Fuzesi et al. 2015).

Lielais pelnu apjoms ir radījis pasaulē lielas problēmas, jo to likvidēšana prasa samērā daudz materiālos līdzekļus, un tos deponējot tiek aizņemtas plašas, speciāli izveidotas teritorijas, tāpēc koģenerācijas staciju uzturētājiem būtu izdevīgi pelniem atrast iespējamus pielietojumus (Pels et al. 2005). Par vispiemērotākajiem lauksaimniecībā tiek uzskatīti tieši viegli pelni. Plusi to izmantošanai ir: ◦) izmaksu samazināšanās pelnu transportēšanai uz izgāzstuvēm; ◦) pelnu deponēšanai būs nepieciešamas mazākas teritorijas; ◦) no radītajiem produktiem var iegūt gan ekonomisku labumu, gan potenciāli panākt augsnes sastāva un veģētācijas augšanas uzlabošanu (Pandey, Singh 2010; Fuzesi et al. 2015). Vai pelni var ietekmēt augu augšanu tika pētīts arī šajā darbā audzējot kviešus un miežus hidroponikas sistēmā izmantojot vieglos pelnus, smagos pelnus un abu pelnu maisījumu. Tika audzēti arī salāti izmantojot pelnu/sapropela granulas, jo pelnos ir daudzi augu augšanai nepieciešami elementi un nelielās devās tiem ir potenciāls uzlabot arī degradētas augsnes bioloģiskās un ķīmiskās īpašības (Fuzesi et al 2015; Pels et al. 2005). Darbā tika pierādīts, ka pelni ietekmē veģētācijas kvalitāti, kā arī tos var izmantot, lai samazinātu augsnes skābumu, kas liek domāt, ka pelni maisījumā ar kādu pildvielu (piemēram, sapropeli, kūdru u.c.) varētu būt labs preparāts augsnes ielabošanai un kultūraugu audzēšanai. Bet jābūt piesardzīgam, lai izmantojot pelnus lielos daudzumos nerastos piesārņojums ar smagajiem metāliem (Jala, Goyal 2006).

#### Izvirzītā hipotēze:

Biomases koģenerācijas staciju pelnus var veiksmīgi izmantot lauksaimniecības vajadzībām.

#### Darba mērķis:

Izvērtēt koģenerācijas stacijā iegūto biomasas pelnu izmantošanas potenciālu lauksaimniecībā, ietekmi uz graudaugu (miežu un kviešu) biomasu un novērtēt pelnu/sapropela granulu efektivitāti kultūraugu (piemēram, salātu) audzēšanā.

Bakalaura darba mērķu īstenošanai tika izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. Apkopot zinātnisko informāciju par biomasas koģenerācijas pelniem.
2. Pēc izstrādātās shēmas testēt biomasas koģenerācijas stacijās iegūto pelnu (vieglo, smago un jaukto) ietekmi uz graudaugu (kviešu un miežu) dīgstu augšanu.
3. Veikt mērījumus un analizēt graudaugu attīstību atkarībā no paraugšķīdumu sastāva un pelnu koncentrācijas.
4. Testēt, vai pelnu paraugus granulu veidā var izmantot kultūraugu (salātu) audzēšanai maisījumā ar kūdru.
5. Veikt datu statistisko apstrādi un izdarīt secinājumus.

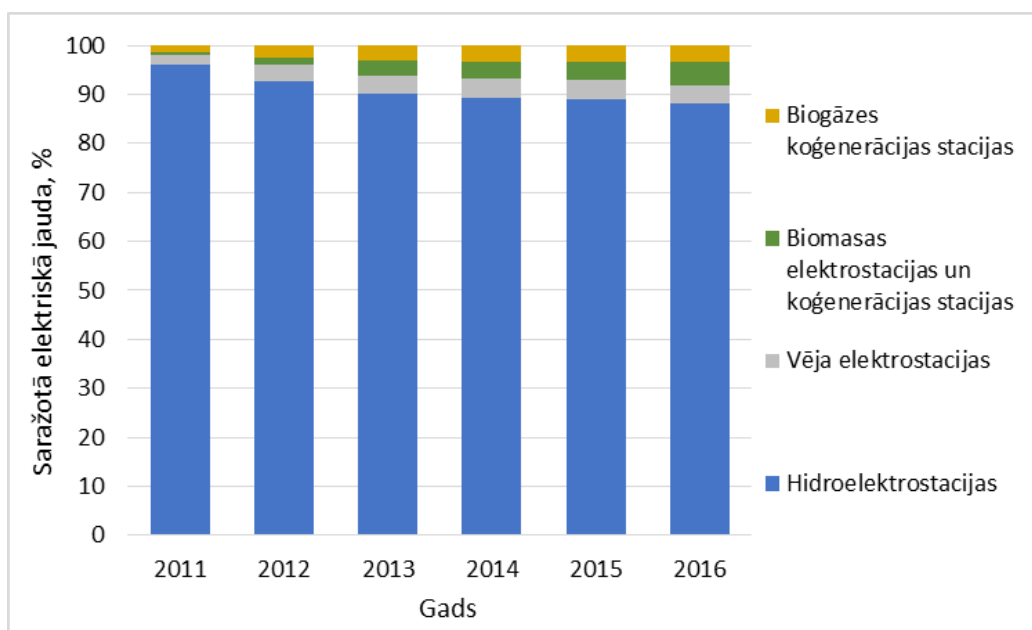
Bakalaura darba apjoms ir 44 lapaspuses, darbā iekļautas 10 tabulas un 15 attēli, kā arī viens pielikums.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Pelnu klasifikācija

Pašlaik nav vienotas sistēmas kā pelnus klasificēt, jo katrs pētnieks balstās uz saviem pētījumiem un tos iedala tā, lai veiksmīgāk varētu risināt savu izvirzīto problēmu. Tā, piemēram, ja tiek apskatīts jautājums saistībā ar enerģijas ražošanu, tad pelni var tikt klasificēti atkarībā no izmantotā kurināmā veida, kurtuves tipa un vietas, kurā dotie pelni iegūti (Ahmaruzzaman 2010; Van Loo, Koppejan 2008).

Koģenerācijas stacijas ir efektīvs energoresursu izmantošanas veids, kurā var tikt izmantoti, gan fosilie, gan biomasas kurināmie materiāli. Saražotās elektroenerģijas apjoms no atjaunīgajiem energoresursiem ar katru gadu Latvijā palielinās (1.1. att.). Periodā no 2010, līdz 2016. gadam biomasas patēriņš izmantošanai par kurināmo bija palielinājies par 4,25%, lai gan kopā saražotā elektriskā jauda ir nedaudz samazinājusies. Biomasas koģenerācijas staciju skaita palielināšanās ir atstājusi efektu arī uz Latvijas vidi un ekonomiku, jo pēdējos gados koksnes izvešana no Latvijas ir samazinājusies (CSP bez dat.).



1.1. attēls. Latvijā saražotās elektrības no atjaunīgajiem energoresursiem apjoma salīdzinājums (Izstrādājusi autore, izmantojot CSP bez dat.).

Pēc kurināšanai izmantotā materiāla var izdalīt biomasas pelnus un fosilo kurināmo pelnus, kuriem ir būtiskas atšķirības (1.1.tab.). Pasaulē pieaug interese par biomasas izmantošanu, jo šādā veidā tiktu samazināta energoatkarība no fosilajiem kurināmajiem, kuru

krājumi nav brīvi pieejami visās valstīs un neierobežotos daudzumos, pie tam kā būtiska priekšrocība biomasas sadedzināšanai ir samazināta siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju izplūde atmosfērā. Fosilo kurināmo pelni ir bīstami un tos nedrīkst izmantot augsnes ielabošanai vai augu mēslošanai (Ahmaruzzaman 2010). Lai samazinātu SEG daudzumu atmosfērā dažās vietās tiek izmantoti abi kurināmie reizē (Trybalski et al. 2014; Van Loo, Koppejan 2008). Salmi rada lielāku pelnu apjomu kā akmeņogles, līdz ar to rodas vairāk deponējamu pelnu, jo arī šādi iegūtie pelni nebūs izmantojami augsnes ielabošanai (Nunes et al. 2016; Van Loo, Koppejan 2008). Biomasas kā energoresurss ir pieejams daudz plašāk turklāt, piemēram, koksnei ir nepieciešama relatīvi neliela apstrāde, un koksnes sadedzināšanas tehnoloģijas ir salīdzinoši vienkāršas. Atšķirībā no fosilā kurināmā, kura dedzināšanas laikā veidojas siltumnīcas efekta gāzes, tiek uzskatīts, ka koksnes biomasas ir CO<sub>2</sub> neitrāls kurināmais (Trybalski et al. 2014). Koksnes biomasas augšanas laikā ir kā inkubators un sev piesaista tādu pašu CO<sub>2</sub> daudzumu, kāds izdalās koksnei sadegot. Apsaimniekotie meži un jaunie koki efektīvi uzņem oglekli, savukārt vecie koki satur dot atbrīvo CO<sub>2</sub> atpakaļ atmosfērā, no tā var secināt, ka koku pieaugums uz kādu noteiktu laiku samazina CO<sub>2</sub> daudzumu atmosfērā. Šā iemesla dēļ koksnes biomasas dedzināšana tiek uzskatīta par CO<sub>2</sub> neitrālu (Biederman et al. 2016; Rohr et al. 2015).

1.1.tabula

Biomassas un fosilā kurināmā pelnu salīdzinājums (Izstrādājusi autore, izmantojot Stanjislav et al. 2013; Basu et al. 2009)

Parametrs	Biomassas pelni	Akmeņogļu pelni
Minerāli un ķīmiskie savienojumi	229	188
Satur ūdenī šķīstošās daļiņas	Līdz 61%	0,1-7,2%
Dedzinot rodas siltumnīcas efekta gāzes	-	+
Iegūšanai izmanto atjaunojamus resursus	+	-

Biomassas pelnus var iedalīt koksnes biomasas (šķelda, mizas, skaidas, malka) un augu biomasas (salmi, kūdra, niedres) pelnos. Ievērojama atšķirību pelnu ķīmiskajā sastāvā rada fakts, ka augu biomasas tiek ievākta reizi vai pat divas gadā, kamēr koksne daudz retāk (Nunes et al. 2015). Līdz ar to, ilgstoši augošā veģetācija ir pakļauti lielākai klimata un vides ietekmei un ilgstoši uzkrāj dažādus ķīmiskus elementus (Pan, Eberhardt 2011). Arī Latvijā Černobiļas avārijas rezultātā koksne var saturēt radioaktīvo cēziju. Pasaulē nevar iegūt divus pilnīgi vienādus biomasas pelnus pēc to uzbūves un ķīmiskā sastāva, jo visiem šiem pelniem ir atšķirīgas īpašības, tā, piemēram, Ca koncentrācija koku pelnos ir lielāka kā salmu pelnos,

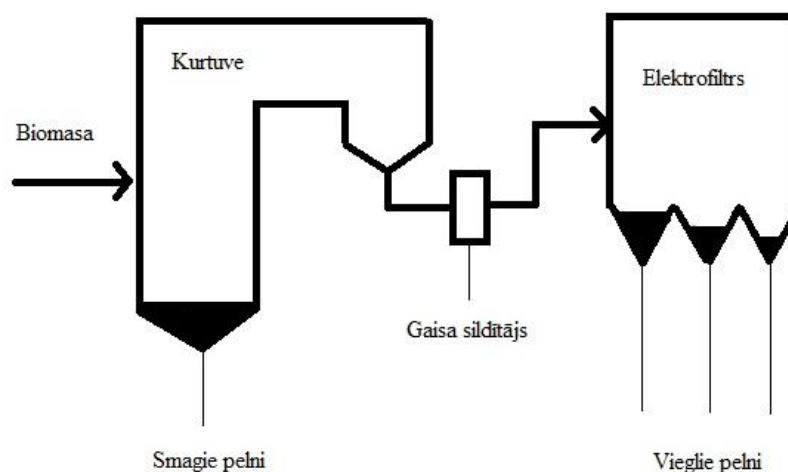
savukārt kālijs koksnes pelnos ir mazākos daudzumos kā salmu pelnos, bet Mg koncentrācijas visu biomasu pelnos var būt līdzīgā daudzumā (Van Loo, Koppejan 2008). Tomēr būtu iespējams sistematizēt pelnus pēc noteiktiem fizikāli ķīmiskiem parametriem. Pelnu sastāvu ietekmē ļoti daudzu apstākļu mijiedarbība – kā un kādos apstākļos dotā biomasa ir augusi un kā tā ir apstrādāta gan augšanas, gan tālākās apstrādes laikā (1.2. tab.).

1.2. tabula

Būtiskākie pelnu sastāvu ietekmējošie faktori (Izstrādājusi autore, izmantojot Nunes et al. 2016; Furezi 2011; Pan, Eberhardt 2011)

Biomasas augšana	Biomasas ievākšana	Cietais krināmais
Augsnes veids	Transports	Ūdens daudzums
Klimats, ģeogrāfiskais novietojums, dienas gaismas ilgums	Žāvēšana	Fizikālās īpašības
Mēslošana, pesticīdi	Ievākšanas metode, kuras auga daļas tiek dedzinātas	Krāsns veids un sadegšanas temperatūra
Sugas un vecums	Uzglabāšana	Sēnīšu sporas

Šobrīd enerģijas radīšanai koģenerācijas stacijās no izmantotajām biomasām visvairāk tiek lietota koksne. Šo staciju darbības procesā rodas vairāku frakciju pelni – galvenokārt vieglie un smagie (Biedermann et al. 2005). Smagie pelni pēc izmēra ir frakcija no lielākām daļiņām; tie paliek kurtuves daļā - paši sabirst noslēgtā konteinerā kurtuves apakšā. Šie heterogēnie pelni var saturēt dažādas smilšu, zemes un iežu daļiņas, kuras kopā ar koksni ir nonākušas koģenerācijas stacijas kurtuvē. Smagajiem pelniem ir lielāks blīvums kā vieglajiem pelniem, bet no kopējā pelnu apjoma smagie pelni sastāda tikai 20-30% (Van Loo, Koppejan 2008; Pandey, Singh 2010). Vieglie pelni ar siltu gaisa plūsmu tiek aizvirzīti tālāk un nonāk pie elektrofiltra, kurš nodrošina vieglo pelnu savākšanu, lai tie nevarētu tālāk nokļūt dūmvadā un apkārtējā vidē (1.2.att.) (Pandey, Singh 2010). Dažās koģenerācijas stacijās vieglie un smagie pelni var nonākt vienotā, kopīgā konteinerā. Aptuveni 70-80% no koģenerācijas staciju blakus produktiem veido vieglie pelni (Van Loo, Koppejan 2008; Vance 1996).



1.2.att. Koģenerācijas stacijas pelnu veidošanās shēma (Izstrādājusi autore, izmantojot Van Loo, Koppejan 2008).

Pelni var tikt iedalīti pēc apkures sistēmas veida: iegūti no nekustīgo ārdurkatliem kustīgiem ārdurkatliem, ķēdes ārdurkatliem, pūslīšu verdošā slāņa katliem, cirkulējošā verdošā slāņa katliem vai no biomasas gāzifikācijas. Šiem apkures katliem ir dažādas īpašības, kas var ietekmēt pelnu sastāvu (1.3.tab.).

1.1.Tabula

Apkures katlu darbības salīdzinājums, kas ietekmē pelnu kvalitāti (Izstrādājusi autore, izmantojot Suzdaļenko 2013; Van Loo, Koppejan, 2008)

Apkures sistēma	Temperatūra	Pozitīvie un negatīvie aspekti
<u>Kustīgie ārdurkatli</u>	1000-1500°C	Koksnes frakcijām jābūt birstošām; Nevienāda temperatūra dažādās katla daļās; Var būt palielināts toksisko savienojumu saturs; Mehāniski piemaisījumi un sakusušu izdedžu gabali. Pelni neviendabīgi – jāņem vērā sistēmu nolietojums. Neliela kadmija koncentrācija, bet nav sekundārā piesārņojuma.
<u>Pūslīšu verdošā slāņa katli</u>	850-900°C	Piemērots mitram kurināmajam materiālam; Lielāka kadmija koncentrācija, bet nav sekundārā piesārņojuma.
<u>Biomasas gāzifikācija</u>	700-1500°C	Kurināmajam jābūt ar viendabīgu mitrumu Palielināta nevēlamo savienojumu koncentrācija.

Viena no būtiskākajām ir dedzināšanas temperatūras atšķirības, turklāt šī temperatūra var mainīties dažādās katla daļās. Katrs apkures sistēmas veids ir paredzēts noteikta dedzināmā materiāla veidam, piemēram, ir noteikts pieļaujamais biomasas mitrums un biomasas pirms

sadedzināšanas ir jāžāvē (Vance 1996; Van Loo, Koppejan 2008). Atšķirīgs mitruma daudzums ir arī svaigai biomasai, piemēram, vidējais mitruma daudzums Latvijā augošiem kokiem: eglei 48%, priedei 47%, vītolam 46%, liepai 38%, apsei 45%, alksnim 46%, ozolam 41% un kļavai 33% (BGTU bez dat.).

Latvijā visizplatītākie ir kustīgo ārdū apkures katli ar sadegšanas temperatūru robežās no 1000-1500° C, bet ir arī daži verdošā slāņa katli. Kalcijs un magnijs paaugstina pelnu kušanas temperatūru, savukārt kālijs un nātrijs to samazina. Salmos kalcija ir ievērojami mazāk kā koksne, līdz ar to dedzinot salmu biomasu kurtuves temperatūra var būt zemāka nekā koksnei (Biedermann et al. 2016; Van Loo, Koppejan 2008).

## 1.2. Pelnu sastāvs

Pelni sastāv no a) vielām, kuras dedzināšanas laikā pārveidotas netiek; b) vielām un to savienojumiem, kas veidojas pelnu transportēšanas un uzglabāšanas laikā; c) minerāliem un vielām, kas veidojas degšanas procesā (1.4.tab.). Piemēram silīcijs kūstot veido sārnu metālu silikātus. Biomasai degot karbonāti, hlorīdi sadalās, bet minerālām daļiņām saplūstot var veidoties aglomerāti.

1.2. tabula

Piesārņojošās vielas, kas rodas sadegot biomasai (izstrādājusi autore, izmantojot Van Loo, Koppejan 2008; Suzdaļenko 2013.)

Savienojumi	Rašanās	Negatīvā ietekme
Oglekļa dioksīds (CO <sub>2</sub> )	Visiem biomasas avotiem sadegot.	Siltumnīcas efekta gāze, bet reakcija tiek uzskatīta par neitrālu.
Oglekļa monoksīds (O <sub>3</sub> )	Degšanas procesā.	Samazināts skābekļa daudzums – ietekmē astmas slimniekus, var pat izraisīt nosmakšanu.
Metāns (CH <sub>4</sub> )	Nepilnīgas sadegšanas rezultātā.	Siltumnīcas efekta gāze.
Policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži	Nepilnīgas sadegšanas rezultātā.	Kancerogēns, veido smogu.
Slāpekļa oksīdi (NO <sub>x</sub> )	Sadegot biomasai, bet ļoti nelielās koncentrācijās.	Veicina elpceļu slimību attīstību, NO <sub>2</sub> ir toksisks. Var veidoties smogs, skābie nokrišņi.
Slāpekļa oksīds (N <sub>2</sub> O)	Degšanas procesā, ļoti nelielos apjomos.	Siltumnīcas efekta gāze.

Sēra oksīdi (SO <sub>x</sub> )	Degšanas procesā biomasai, kuras sastāvā ir sērs.	Skābais liets, atstāj ietekmi uz veģetāciju. Ietekmē elpošanas sistēmu.
Smagie metāli (piemēram, Pb, Zn, Cd, Cu)	Neliels skaits atrodas visos biomasu veidos, tie iztvaiko vai paliek pelnu sastāvā	Akumulējās barības ķēdē. Ir kancerogēna un toksiska iedarbība.
Ūdeņraža hlorīds (HCl)	Nelielās koncentrācijās satur visas biomasas	Toksisks.
Dioksīni un furāni	Nelielos daudzumos, hlora degšanas procesā.	Ļoti toksiski, atstāj ietekmi uz centrālo nervu sistēmu, rada aknu bojājumus. Akumulējās barības ķēdē.

Biomasa nosaka pelnu īpašības, un tai sadegot daudzi savienojumi maina savu stāvokli. Piemēram graudaugu pelnos fosfora ir apmēram 4 reizes vairāk kā salmos (Van Loo, Koppejan 2008). Bet kalcijs koncentrācija koku mizu pelnos ir ievērojami augstāka nekā sadedzinot graudaugus un salmus. Savukārt magnijam visos biomasu veidos ir gandrīz nemainīga koncentrācija (Van Loo, Koppejan 2008). Pelnus veidojošie elementi galvenokārt ir alumīnijs Al, kalcijs Ca, dzelzs Fe, kālijs K, magnijs Mg, mangāns Mn, nātrijs Na, fosfors P, sērs S un silīcijs Si, pelnu sastāvā var tikt atrasti arī hlors Cl, sērs S, nātrijs Na, kālijs K, arsēns As, kobalts Cd, dzīvsudrabs Hg, varš Pb un cinks Zn (Biederman et al. 2016).

Pelnu sārmainās vides īpašības parasti nosaka pelnu sastāvā esošais sēra daudzums, kas padara vidi skābāku. Hidroksīdu un karbonātu sāļi sniedz iespēju pelniem neitralizēt skābumu augsnē, bet lietojot pelnus ļoti lielās koncentrācijās, tie var ievērojami palielināt sāļu daudzumu augsnē. Daudzos pētījumos jau novērtēta pelnu ietekme uz dažādu augu sugām, piemēram, kukurūzu, rīsiem, zemesriekšiem un saulespuķēm (Srivastava et al. 2016)

Koksnes pelnos sastopami smagie metāli, kas var būt bīstami sasniedzot lielu koncentrāciju (Aronssons, 2007). Lielākas smago metālu koncentrācijas ir vieglajos pelnos, jo krāsni tie iztvaiko, un nonākot tālāk tie kondensējās vai reaģē ar citām daļiņām un veido aerosolus (Van Loo, Koppejan 2008). Salmu un graudu bimasu pelniem sastāvā ir mazāks daudzums smago metālu cinka un kadmija kā pelniem no koku mizām, bet salmi vairāk satur hlora un sēru (Biederman et al. 2005). Ja biomasas apstrādē izmantoti, piemēram, herbicīdi, tad smago metālu koncentrācija pelnos būs vēl lielāka.

Augiem ir nepieciešami 16 ķīmiskie elementi – 9 pamatelementi un makroelementi ogleklis C, skābeklis O<sub>2</sub>, ūdeņradis H, slāpēlis N, sērs S, fosfors P, kalcijs Ca, kālijs K un magnijs Mg, kā arī mikroelementi – dzelzs Fe, hlors Cl, varš Cu, mangāns Mn, cinks Zn,

molibdēns Mo un bors B (Mohr, Schopfer 1995). Nepieciešamība pēc noteiktiem elementiem var atšķirties.

Kultūraugiem parasti nav piemērotas ļoti skābas, vai stipri bāziskas augsnes, bet biomasas pelni ir stipri bāziski, parasti ap pH 9-12. Nelielās devās koksnes pelnus var izmantot lauksaimniecības kaļķa aizvietošanai, lai samazinātu augsnes skābumu. Augsnē ar lielāku māla un organikas saturu ir nepieciešams lielāks daudzums kaļķa, lai varētu ietekmēt augsnes pH. Vairākos pētījumos ir norādīts, ka pelni augsnē pH līmeņa izmaiņas rada daudz īsākā laika periodā nekā lauksaimniecības kaļķis, bet arī tā īpašības tiek saglabātas īsāku laika periodu (Clapham, Zibilske 1992; Chirenje 2002; Weatherstone et al. 2015; Basu et al. 2009). Ir veikts pētījums, ka aizvietojot kaļķi ar pelniem, CO<sub>2</sub> emisija varētu tikt samazināta par 26 kg CO<sub>2</sub> uz 1 tonnu pelnu (Kishor et al. 2010).

Plaši un ilgstoši pelni tiek izmantoti Somijas mežu augšņu uzlabošanai. Bet ir jāzina gan minimālais, gan arī maksimālais daudzums, ko var iestrādāt augsnē, šos noteiktos daudzumus augsnē pārsniedzot var uzkrāties bīstamas vielas. Novērojumos pēc ražas novākšanas lielas izmaiņas konstatētas netiek, ja izmantotas pelnu daudzums nav liels, bet pelnu savienojumu radītajām sekām ilgstošā periodā augsnē ir jāveic monitorings. Lielākās izmaiņas bija novērojamas dzelzs pieaugumā augsnē, kur tika audzēti rīsi. Vērtējot kālija daudzumu augsnē un augos pēc pelnu lietošanas, tas ir sastopams ļoti atšķirīgā daudzumā gan tādos pašos daudzumos kā lietojot mēslošanas līdzekļus, gan 1/5 daļa no visa pelnos esošā K augiem ir pieejams (Biederman, Obernberger 2005; Jala, Goyal 2006). Pastāv teorija, ka ilgtspējīgam risinājumam meža koku pelni būtu jāiestrādā atpakaļ meža augsnē, bet lauksaimniecības biomasu pelni jāiestrādā uz lauka, kur biomasu tika ievākta (Van Loo, Koppejan 2008).

Augsnes un pelnu maisījumam ir labākas spējas mitruma uzturēšanai, kas ir pozitīvs aspekts tieši smilšainajās augsnēs, un augsne nav tik blīva, kas var uzlabot stipri mālaines augsnes. Mālaines augsnes sajaucot ar pelniem kļūst irdenākas un tajās labāk var iekļūt arī ūdens, jo treknais māls aiztur ūdeni. Ir pierādīts, ka pēc pelnu izmantošanas mikroorganismi augsnē savairojās, piemēram, *Pseudonomas* un *Rhizobium* ģinšu baktērijas uzlabo augsnes kvalitāti un sintezē augiem nepieciešamas barības vielas (Pandey, Singh 2010; Rosenberg et al. 2010).

Augu mēslošanai paredzētos pelnos ir jānosaka pH, bora, cinka, fosfora, hroma, kadmija, kalcijs, kālijs, niķeļs, magnijs, svins un vara koncentrācijas. Tiek uzskatīts, ka arsēna noteikšana Latvijas apstākļos nav nepieciešama, jo tā koncentrācija šajā reģionā ir neliela, arī darbā izmantotajos pelnos no Lietuvas koģenerācijas stacijas ir zema arsēna koncentrācija (Bērziņš 2017).

Policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži tiek uzskatīti par kancerogēniem savienojumiem, tāpēc mēslojot pārtikā lietojamus kultūraugus ar pelniem, ir jāpārbauda vai pelnu sastāvā nav ievērojama to klātbūtne. Kadmijs ir bīstams elements, kurš var koncentrēties atsevišķās pelnu frakcijās. Dānijā koksnes pelnos tika novērota palielināta kadmija koncentrācija (Hansen 2001). Arī Latvijā secināts kadmija koncentrācija vieglo pelnu un sodrēju frakcijās ir paaugstināta (Lotkova 2015).

### 1.3. Pelnu bīstamība

Pelni parasti tiek deponēti speciāli izveidotos poligonos, kuri tiek veidoti ievērojot noteiktas prasības, jo pelni tiek apsaimniekoti kā bīstamie atkritumi. Biomasas pelni var saturēt palielinātas smago metālu koncentrācijas. Jo procentuāli lielāks daudzums no kurināmā materiāla ir lapas, jo biogēno elementu, tajā skaitā smago metālu, koncentrācija palielinās. Šobrīd daudzās valstīs pelni tiek izgāzti atkritumu poligonos un aprakti speciāli izveidotos vieglo pelnu baseinos. Izgāztie pelni degradē augsni, tie atstāj ietekmi gan uz cilvēku un dzīvnieku veselību, gan uz dabu kopumā. Uz aprakto pelnu baseiniem tiek audzētas augu un koku veģetācijas ar mērķi tos nosargāt no ūdens un vēja erozijas, kas izplatītu tālāk šos toksiskos atkritumus. Teritorija tiek veidota tā, lai arī dzīvnieki spētu iedzīvoties šajās vietās un tās kļūtu ainaviski pievilcīgākas (Pels et al. 2015; Jala, Goyal 2006). Smagajiem metāliem nonākot augsnē, tie nokļūst arī ūdens aprītē, jo pelni bieži aizsprosto augsnē esošās poras, un, ūdens daudzumam augsnes virspusē pieaugot, tas var tikt kontaminēts, piemēram, pieaugot alumīnija šķīdībai (Ahmaruzzaman 2010; Pandey, Singh 2010; Jala, Goyal 2006).

Vieglo pelnu daļiņas ir tik sīkas, ka viegli var saplūst ar gaisā esošajiem putekļiem, kā rezultātā tos ieelpojot var rasties acu, deguna, kakla un elpošanas ceļu iekaisumus, iespējama alerģiju un astmas saasināšanās, un, ja cilvēks ilgstoši tiek pakļauts šādu putekļu iedarbībai, tad tie var izraisīt aterosklerozi, infarktu un insultu. Koku pelnu un putekļu maisījums var būt kairinošs, toksisks un potenciāli izraisīt arī plaušu vēzi (Rohr et al. 2015). Pat no dažādām koku sugām iegūtie pelni cilvēkus var ietekmēt atšķirīgi, piemēram, valriekstu koka *Juglans regia* pelni var izraisīt šķaudīšanu, dermatītu un rinītu (elpceļu sasilšana), parastā ozolkoka *Quercus robur* pelni var kļūt par astmas, šķaudīšanas un acu iekaišanas iemeslu, bet, piemēram, Āfrikā augošs koks *Terminalia superba* var būt par cēloni deguna un smaganu asiņošanai, nātrenei, kā arī samazinātām plaušu darbības spējām (Weatherstone et al. 2015). Tāpēc veselības riska mazināšanai ir vēlams pelnus apstrādāt. Pelni kļūst mazāk bīstami pat tos tikai samitrinot. Salīdzinoši dārgs, bet efektīvāks pelnu apstrādes veids ir pelnu granulēšana, jo tā samazina kaitīgo elementu koncentrāciju. Vielās no pelnu granulām izdalās ilgākā laika periodā, un putekļveida daļiņas vairs nespēj brīvi izplatīties vidē. Izveidotās granulas ir lielākas un ar

lielāku cietību kā pelni, līdz ar to pelnu izmantošana šādā veidā ir drošāka. Turklāt granulas ir vieglāk un ērtāk izmantot nekā neapstrādātus pelnus. Šo iemeslu dēļ pētījumos parasti tiek izmantotas tieši pelnu granulas (Ahmaruzzaman 2010; Rosenberg 2010).

Pelnu stabilizācijas procesā pelni tiek apstrādāti gan ķīmiski, gan fizikāli. Ķīmiskās cietināšanas procesā pelniem pievieno ūdeni, kā rezultātā oksīdi kļūst par hidroksīdiem. Tālāk notiek reakcija ar atmosfērā esošo oglekļa dioksīdu, un hidroksīdi pārvēršas karbonātos. Karbonāti ir mazāk šķīstoši nekā hidroksīdi, tāpēc apstrādātie pelni daudz lēnāk izskalojas. Zviedrijā veiktos testos pierādīts, ka apstrādes procesā samazinās gan policiklisko aromātisko ogļūdeņražu koncentrācija pelnos, gan smago metālu mobilitāte (Rosenberg et al. 2010; Fuzesi et al. 2015).

Pelni var tikt iedalīt arī pēc to bīstamības, kas ir aprakstīts Ministru kabineta noteikumos Nr.302 "Noteikumi par atkritumu klasifikatoru un īpašībām, kuras padara atkritumus bīstamus". Par bīstamiem atkritumiem, tiek runāts, ja atkritumiem, tajā skaitā arī pelniem, piemīt kāda no Eiropas Komisijas regulā Nr. 1357/2014 minētajām īpašībām. Ieelpojot dažāda veida pelnus cilvēkiem var rasties veselības problēmas, jo īpaši dažādas elpošanas trakta slimības, kas pierāda, ka pelni ir toksiski. Vislielāko bīstamību rada tieši jau minētie vieglie pelni, kas var tikt ieelpoti reizē ar putekļiem, tāpēc pelnu pareizai utilizācijai ir ļoti liela nozīme (MK 2011).

Lai noteiktu, vai pelni ir izmantojami augu audzēšanā, vismaz sākotnēji ir jāveic regulāras ķīmiskās analīzes, to vajadzētu darīt visa gada griezumā, jo jau tika pieminēti daudzie faktori, kuri ietekmē pelnu kvalitāti. Bīstami mikroelementi, kuri var atrasties pelnos ir As, Cd, Cr, Pb, Hg, Co, Cu, Mn, Ni, Si, Zn u.c. (Stanjislav et al. 2013).

#### **1.4. Pelnu izmantošana**

Pelnus izmantojot lauksaimniecībā uzmanība ir jāpievērš vairākiem aspektiem, piemēram, vai tie satur augiem nepieciešamos makroelementus pietiekošā daudzumā (Srivastava 2016). Prasības pēc šādas minimālo makroelementu koncentrāciju normas ir izstrādātas vairākās valstīs, piemēram, Zviedrijā, kur ir noteiktas arī maksimālās pieļaujamās pelnu koncentrācijas (Aronssons 2007). Viens izņēmums ir slāpekļis, kas pelniem jāpievieno atsevišķi, jo biomasu dedzinot tas izdalās ar deggāzēm. Smago metālu koncentrācijai pelnos ir jāpievērš pastiprināta uzmanība, lai nenotiktu to akumulācija augsnē. Lai pelni neradītu kaitējumi veģetācijai, tos ir nepieciešams apstrādāt, piemēram, veidojot pelnu granulas, kas samazinātu pelnu šķīdību un to reaktivitāti (Ahmaruzzaman 2010). Bet pelniem ir vairākas priekšrocības, lai tie tiktu izmantoti lauksaimniecībā augšņu sastāva uzlabošanai un augu

mēslošanai - samazināts augsnes blīvums, optimizēta augsnes vides reakcija, nodrošina ar mikroelementiem un makroelementiem, samazina dažādu mēslošanas līdzekļu un kaiļķa patēriņu (Kishor et al. 2010).

Jomas, kurās tiek izmantoti pelni:

- Meliorācijas sistēmās - aizpildot zemās vietas, palielinot ūdens līmeni, ūdens apgādes un kanalizācijas sistēmās kā arī notekūdeņu attīrīšanai;
- Būvniecības sektorā dažādos celtniecības materiālos - ķieģeļos, betona blokos, flīzēs, cementā, ģipsī, javā u.c.;
- Ceļu būvē, uzbērums veidošanai, ceļu apmalēs;
- Pelni tiek izmantoti komposta kaudzēs, kā pesticīdi, degradētas augsnes auglības uzlabošanai, labākai kultūraugu augšanai, kaiļķošanai, kā mazgāšanas līdzekļi utt.;

(Van Loo, Koppejan 2008; Ahmaruzzaman 2010; Basu et al. 2009; Shaheen et al. 2014)

Lielākajai daļai Eiropas valstu ir speciāli izstrādāti noteikumi, kas kontrolē biomasas pelnu nonākšanu uz lauksaimniecības un mežu zemēm (Pels et al. 2015). Dažādās valstīs augsnes ielabošanai pelni tiek izmantoti atšķirīgi, piemēram, Somijā tie tiek izmantoti ar slāpekli bagātās augsnēs kā mēslošanas līdzeklis, savukārt Zviedrijā ir izstrādātas maksimālās vērtības – cik daudz elementu ar pelniem var tikt pievadīt bagātinot augsni, lai netiktu pievadīts vairāk kā pirms biomasas izvešanas (Aronssons 2007).

Smagajiem pelniem ir pielietojums celtniecībā, tāpēc lauksaimniecībā tos var neizmantot. Bet, lai smagos pelnus varētu izmantot citās jomās, tiem ir jāatbilst tādiem pašiem kritērijiem, kā oriģinālajam materiālam, kura papildināšanai izmanto smagos pelnus (Ahmaruzzaman 2010; Fuzesi 2015; James 2012).

## 2. MATERIĀLI UN METODEDES

### 2.1. Pelnu paraugu šķīdumu sagatavošana

Pelnu paraugi tika iegūti no koģenerācijas stacijas Viļņā, Lietuvā. Paraugi tika ievietoti hermētiskos plastmasas spaiņos. Paraugi tika glabāti Latvijas Universitātes Vides kvalitātes un monitoringa laboratorijā istabas temperatūrā.

Pelnu paraugi tika iedalīti trīs pelnu paraugu veidos: smagie pelni, vieglie pelni un jauktie pelni. Par sākotnējo šķīdumu tika izvēlēta 20% koncentrācija - katrs pelnu veids tika šķīdināts destilētā ūdenī 200 g pelnu uz 1000 ml ūdens, un iegūtie šķīdumi tika ievietoti maisītājā uz 24 stundām. No šādiem sākotnējiem pelnu šķīdumiem sagatavotas pārējās nepieciešamās koncentrācijas.

### 2.2. Graudaugu augšanas testi

Graudaugu augšanas testi tika veikti trīs etapos. Kviešu un miežu sēklu diedzēšana, izdiedzētā graudaugu materiāla audzēšana hidroponikas sistēmā mākslīgās gaismas skapī un izaugušā auga biomasas analīze. Tests tika atkārtots 3 reizes.

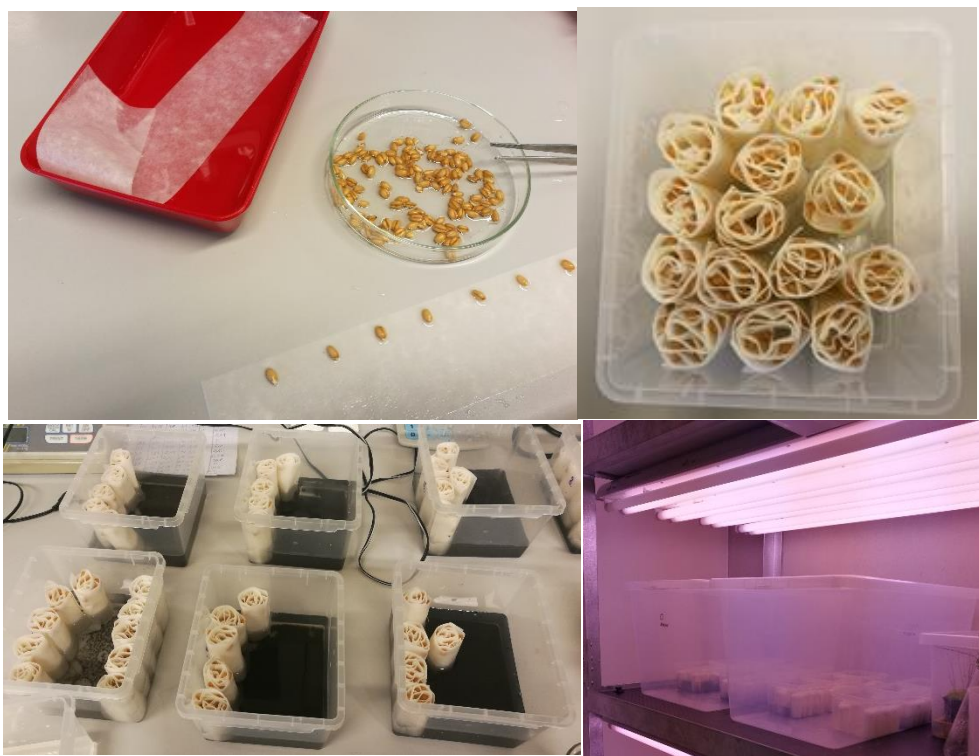
#### 2.2.1. Graudaugu paraugu sagatavošana diedzēšanai

Dīgšanai nepieciešams ūdens, siltums un gaiss, un piebriedušā graudā dažādu fermentu iedarbībā endospermā esošās vielas pārvēršas viegli šķīstošos savienojumos, kurus tālāk uzņem dīglis un, sākot augt, pārplēš grauda apvalku. Latvijas apstākļos dīgtspēja graudaugiem ir 70-90%. Pētījuma vajadzībām tika izmantoti no Latvijā apstiprinātajiem tirgotājiem iepirkti graudaugi – mieži un kvieši, kuri tika kodināti 7 minūtes stikla vārglāzē hlora/ūdens šķīdumā un ūdeni attiecībā 1:1. Pēc tam graudus skalo ar destilētu ūdeni 10 reizes, kā arī tos atstāj ūdenī vienu stundu. Pēc stundas tiek noliets liekais ūdens un graudus plānā slānī izklāj uz paplātes starp ar destilētu ūdeni samitrinātām salvetēm (zem un virs sēklām). Paplāti pārklāj ar vāku un ieliek tumsā uz 24 stundām. Graudam piebriestot patērētais ūdens daudzums miežiem ir 55%, bet kviešiem 45%, savukārt to dīgšanai optimāla temperatūra ir 15-25°C.

### 2.2.2. Kviešu un miežu sagatavošana audzēšanai hidroponikas sistēmā

Hidroponika ir augu audzēšana bez augsnes, bet augiem ir nepieciešamas tās pašas barības vielas, kas augot augsnē. Vajadzīgās barības vielas un ūdens var tikt uzņemtas ar sakņu sistēmu ātrāk, kas attiecīgi veicina arī augu ātrāku augšanu. Tāpēc graudaugi pētījumā tika audzēti hidroponikas sistēmā.

Pirms turpmākā darba uzsākšanas ir jāaprēķina un jāsagriež nepieciešamais daudzums 5×30 cm lielas filtrpapīra sloksnes. Atsevišķu trauku (paplāti) piepilda ar destilēto ūdeni, tajā samitrina filtrpapīra strēmeli. Uzmanīgi, ar pinceti filtrpapīra augšējā daļā, visa tā garumā tiek liktas 10 sēklas, tās tiek pārklātas ar otru tādu pašu samitrinātu filtrpapīra sloksni; sloksnes ar sēklām tiek sarullētas. Pēc katra testa noteiktās shēmas caurspīdīgos traukos ar tilpumu 1L tika salieti attiecīgie šķīdumi, ar pH-metru nomēra parauga vides reakciju un katrā traukā ievieto noteiktu skaitu izveidoto kviešu un miežu rullīšus (2.1.att.). Mieži un kvieši ir garās dienas augi, tie attīstās normāli, ja denas gaismas ilgums nav mazāks par 13 stundām un tumsas periods šiem augiem nav nepieciešams. Līdz ar to trauki tika ievietoti 48 L lielās caurspīdīgās kastēs un novietoti gaismas skapī, kur graudaugi auga vairākas dienas un reizi dienā tika vēdināti noņemot vāku. Šis process veicot pētījumu tika atkārtots 3 reizes.



2.1. attēls. Graudaugu sagatavošana audzēšanai hidroponikas sistēmā (Foto: Z. Vincēvičas-Gailes, 2017).

### Pirmais tests

tika veikts izmantojot vieglo pelnu šķīdumu, jo zinātniskajā literatūrā vieglie pelni ir aprakstīti kā piemērotākie lauksaimniecības vajadzībām. Pēc zinātniskās literatūras var secināt, ka vieglajos pelnos ir vairāk augu augšanai piemērotu elementu, bet smagajos pelnos ir vairāk dažādu piemaisījumu. Tika izveidoti 12 paraugi pēc dotās shēmas un tad tika nomērīts vides pH paraugā (2.1.tabula). Kontrolei tika izmantots destilēts ūdens, kā arī Knop barības šķīdums, kura sastāvā ir  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{FeSO}_4$  un ūdens.

2.1. tabula

Pirmā testa shēma, izmantojot vieglo pelnu šķīdumu

Paraugs	pH natīvs	pH neutralizēts
100% destilēta ūdens	+	X
100% Knop barības šķīdums	+	
2,5% pelnu šķīdums	+	+
5% pelnu šķīdums	+	+
25% pelnu šķīdums	+	+
50% pelnu šķīdums	+	+
100% pelnu šķīdums	+	+

Paraugu šķīdumiem izmēra pH vērtības, kas ir ļoti būtiski, jo normālos apstākļos kviešu un miežu optimālā augsnes reakcija ir pH 6-7, bet ļoti skābā vai ļoti sārmainā augsnē ir traucēta vairāku barības elementu, gaisa un ūdens uzņemšana. Līdz ar to pieciem no iepriekš norādītajiem paraugu šķīdumiem pievieno 1 M HCl, lai neutralizētu pH līmeni. Šajā mēģinājumā izmanto 60 kviešu un 60 miežu rullīšus, tos sakārto 12 caurspīdīgās kastītēs pa 5 rullīšiem miežu un 5 rullīšiem kviešu katrā no tām; visus izveidotos paraugus ieliek vienā caurspīdīgā kastē un ievieto gaismas skapī. Hidroponikas sistēmā graudus audzē 8 dienas, pēc tam ar lineālu mēra katra grauda saknes, pirmās lapas un otrās lapas garumus, kā arī nosaka lapas un sakņu sistēmas svaru (2.2.att.).



2.2.attēls. Graudaugu audzēšanas un mērīšanas pirmais tests izmantojot vieglos pelnus.

### Otrais tests

tika veikts izmantojot smago un jaukto pelnu šķīdumus (200 g uz 1000 mL). Testa realizēšanai graudaugu audzēšana tika veikta 12 paraugos, tika izveidoti 3 miežu un 3 kviešu rullīši katram tabulā parādītajam paraugam. Testa sagatavošanas process tika atkārtots un graudaugi tika audzēti hidroponikas sistēmā pēc 2.2. tabulā atainotās shēmas. Graudaugi tika diedzēti 24 stundas un hidroponikas sistēmā auga 8 dienas. Tam sekoja miežu un kviešu pirmās un otrās lapas mērīšana un svēršana visiem 72 rullīšiem (10 augi katrā).

2.2. tabula

Otrā testa shēma, izmantojot jaukto un smago pelnu šķīdumus

Paraugu apraksts	Kontrole	Šķīdumam ar smagajiem pelniem; pH natīvs	Jauktajiem pelniem; pH natīvs
100% destilēts ūdens	+	X	
100% Knop barības šķīdums	+		
2,5% pelnu šķīdums	X	+	+
5% pelnu šķīdums		+	+
25% pelnu šķīdums		+	+
50% pelnu šķīdums		+	+
100% pelnu šķīdums		+	+

### Trešajā testā

tika izveidoti 16 paraugi pēc noteiktas shēmas (2.3.tab.), tika izveidoti pa 56 miežu un 56 kviešu rullīšiem. Mieži tika audzēti 9 dienas, bet kvieši 14 dienas. Starpība laikā radās, jo vienā dienā nomērīt un nosvērt visus augus nebija iespējams to lielā apjoma pēc. Pelnos pietrūkst slāpeklis, jo degšanas procesā tas tiek izvadīts atmosfērā ar dūmgāzēm (Aronssons, 2007) un, lai nodrošinātu graudaugus ar slāpekli un fosforu, tiem tika pievienots 0,1 M  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .

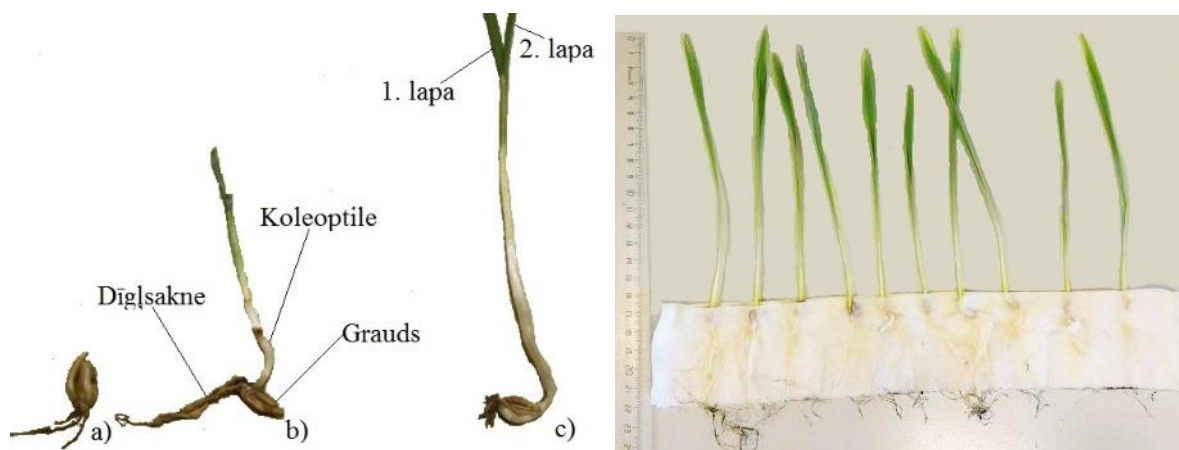
Trešā testa shēmas ar visiem pelnu šķīdumiem un pievienotu slāpekli un fosforu

Paraugu apraksts	Kontrole	Vieglie pelni; pH natīvs	Smagie pelni; pH natīvs	Jauktie pelni; pH natīvs
100% destilēts ūdens (negatīvā kontrole)	+	X		
2 mL (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> un 100% ūdens	+			
4 mL (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> un 100% ūdens	+			
6 mL (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> un 100% ūdens	+			
25% pelnu šķīdums	X	+	+	+
25% pelnu šķīdums + 2 mL (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		+	+	+
25% pelnu šķīdums + 4 mL (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		+	+	+
25% pelnu šķīdums + 6 mL (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		+	+	+

### 2.2.3. Graudaugu mērīšana

Graudaugus izņem no mākslīgās gaismas skapja, un uzsāk mērīšanas procesu. Mērīšanai izmanto lineālu ar kuru mēra saknes garumu (1.testis), pirmās lapas un otrās lapas garumu (2.3.att.); ar elektroniskajiem tehniskajiem svāriem ( $\pm 0,01$  g) nosver abas lapas un pirmajā testā arī sakņu sistēmu (1.pielikums). Veic atzīmes - ja sēkla nav izaugusi vai, piemēram, graudaugu lapās ir novērojami kādi bojājumi, nekrozes, vai graudaugu ir skāris pelējums.

Iegūto materiālu (lapas un saknes) no katra testa paraugu rullīša sagrupē atsevišķi un izklāj uz zema trauka (paplātes), atstāj uz 5 dienām žāvēties, pēc kurām atkārti svēršanas procesu katra rullīša visu lapu un sakņu (1.testis) svēršanu, pēc tam izrēķinot ūdens saturu augā.



2.3.attēls. Kviešu dīģsta veidošanās un mērīšana.

### 2.3. Salātu audzēšanas eksperiments

Pēc izvērtētiem pirmā posma rezultātiem tika izveidotas pelnu/sapropēja granulas, jo neapstrādātā veidā pelni ir cilvēkiem bīstami. Izmantojot pelnu/sapropēja granulas maisījumā ar kūdru tika veikts pētījuma otrais posms. No sēklām audzēti salāti pie dažādām kūdras un pelnu/sapropēja granulu attiecībām. Kontrolei tika izmantots Lietuviēšu izcelsmes kūdras substrāts “Flor” un paraugiem neitralizēts Kaigu kūdras substrāts.

Latvijas Universitātes Dabaszinātņu centra siltumnīcā tika audzēti 70 podiņi ar salātiem *Lactuca sativa*. Tie tika audzēti no sēklām, kuru veģetācijas periods bija 30 dienas. Katram podam atsevišķi tika samaisīts attiecīgais granulu un N un P daudzums (2.4.tab.).

2.4.tabula

Paraugi salātu audzēšanai ar pelnu/sapropēja granulām un kūdru

Parauga Nr.	Granulu daudzums, g	N;P, g
1	50	0
2	50	1
3	50	2
4	75	0
5	75	1
6	75	2
7	100	0
8	100	1
9	100	2

Pēc tam maisot tika pievienota kūdra un destilēts ūdens, kā arī nomērīts augsnes pH un elektrovadītspēja (2. pielikums). Tika izveidoti 9 paraugi un viena kontrole ar 7 podiņiem

katram paraugam. Sākotnēji katrā podiņā tika iesētas 5 sēklas, no kurām vēlāk atstāja vienu – lielāko un spēcīgāko stādu katrā parauga podā (2.4.att.).



2.4.attēls. Salātu augšana siltumnīcā pirms un pēc to retināšanas.

Katra iegūtā svaigu salātu masa tika nosvērta, pēc tam 72 stundas tie tika žāvēti pie 70°C žāvskapī un iegūtais sausais materiāls tika svērts atkārtoti.

## 2.4. Aprīkojums un reaģenti

### Sēklas:

Kvieši *Triticum sp.*

Mieži *Hordeum vulgare*

Salāti *Lacuta sativa*

### Aprīkojums un iekārtas:

Tehniskie svāri KERN EW ( $\pm 0,01$  g)

Žāvēšanas skapis Plus II Oven, Labasco

Gaismas skapis, ar lampu novietojumu  $\sim 0,5$  m augstumā.

pH-metrs HI 991001 portable pH/Temperature meter

Elektrovadītspējas mērītājs HI 9932, HANNA instruments

Laboratorijas trauki

Plastmasas puķu podi, ar tilpumu 1 L

Datu apstrāde veikta ar programmu MS Excel

### Reaģenti:

Amonija sulfāts 0,1 M  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

Destilēts ūdens

Hlorīdeņradis 1M HCl

Knop barības šķīdums

## 2.5. Datu analīze

Datu statistiskajai analīzei tika izmantota programma MS Excel, kurā tika apstrādāti dati par graudaugu (miežu un kviešu) augšanu hidroponikas sistēmā. Tika aprēķināti iegūto mērījumu vidējie lielumi - 1. lapa, 2. lapa, to svars, saknes garums, saknes svars, kā arī salātu audzēšanas eksperimentā veiktajiem parametru mērījumiem, piemēram, svars pirms un pēc to žāvēšanas. Tika veikti pārrēķini procentos salīdzinot ar kontroli, kā arī tika veikti standartnoviržu aprēķini. MS Excel programmatūrā tika veidoti rezultātus apkopjoši un reprezentējoši grafiki.

### 3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Lauksaimniecības vajadzībām pelni tiek izmantoti jau ļoti ilgstoši, bet tomēr ne visi pelni ir piemēroti augu mēslošanai un augsnes sastāva uzlabošanai. Pēdējo gadu laikā pelnu izpētei tiek pievērsta pastiprināta uzmanība daudzās valstīs. Bakalaura darbā tika vērtēta graudaugu (kviešu *Triticum sp.* un miežu *Hordeum vulgare*) dīgšanas un diedzēšanas potenciāls augu agrīnajās stadijās, kā arī salātu *Lactuca sativa* augšana.

#### 3.1. Vieglo pelnu testa rezultāti

Kā jau aprakstīts metožu nodaļā, pirmais tests tika veikts izmantojot vieglos pelnus. Izvērtējot zinātnisko literatūru tika secināts, ka tie pēc sava sastāva ir piemērotākie kultūraugu audzēšanai. Kviešu *Triticum sp* un miežu *Hordeum vulgare* labai ražībai skāba augsne nav piemērota. Ja vides reakcija ir zemāka par pH 5,5, tad augsni vajadzētu kaļķot. To nedarot, augs attīstīsies slikti, ziemošanas laikā tas var pat iznīkt, un augi var vieglāk inficēties ar dažādām slimībām. Arī ļoti bāziska vide kultūraugiem, tajā skaitā arī graudaugiem, nav piemērota. Kviešiem vēlamā vides reakcija ir pH 6-7, bet miežiem pH 5,5 – 6,5 (Elzebroek, Wind 2008). Izmērot paraugu pH vērtības tika secināts, ka dotie pelni ir ļoti bāziski (3.1.tab.). Lai izvērtētu vai neitralizētā vidē ar pH 6-7 graudaugi augs labāk, daļai paraugu tika pievienota sāļsskābe.

3.1.tabula.

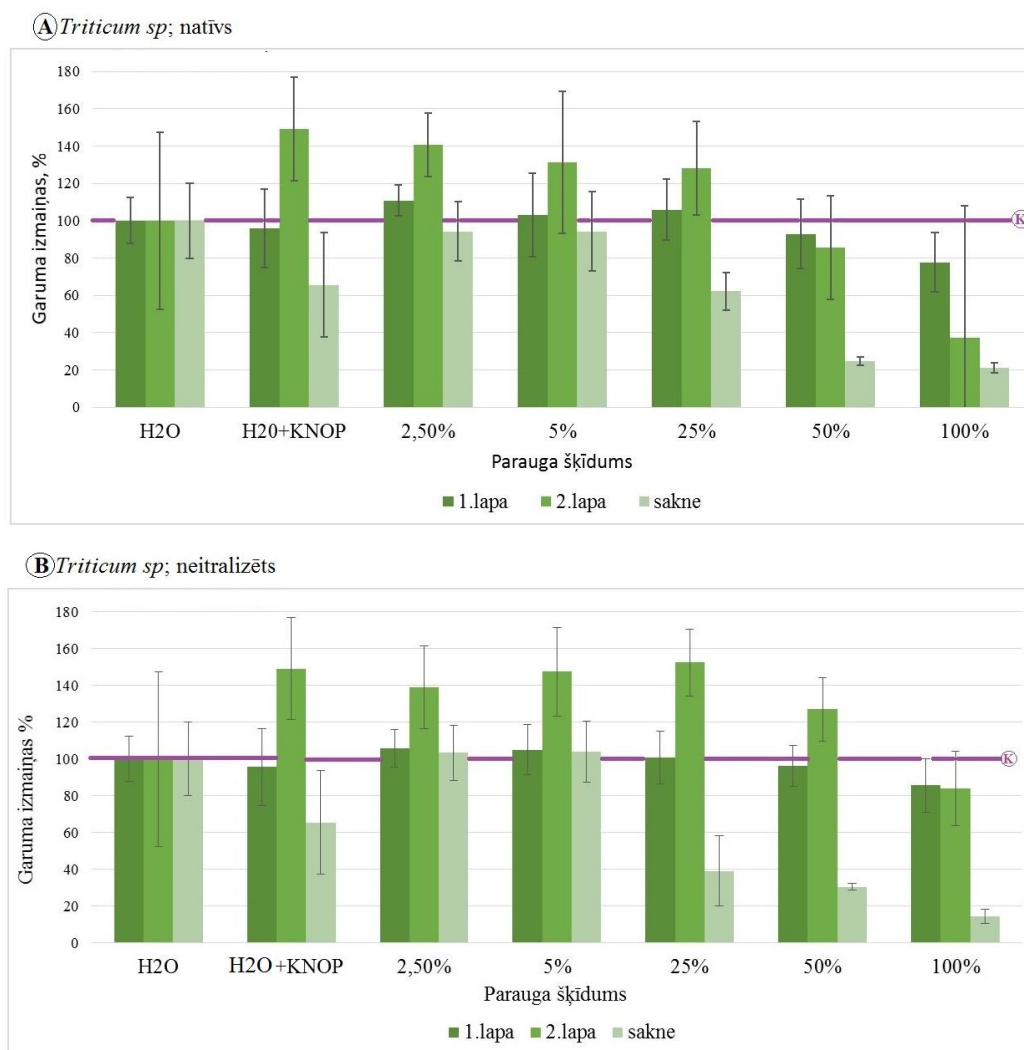
Paraugiem pievienotais HCl daudzums šķīdumu neitralizēšanai

Vieglo pelnu šķīduma koncentrācija	pH natīvs	pH pēc HCl pievienošanas	Izlietotais HCl, ml
2,5%	11,54	6,05	1,5
5%	11,97	5,89	16
25%	12,47	6,4	32
50%	12,58	6,85	65
100%	12,7	9,14	73

Pelnu šķīdumam pievienojot sāļsskābi varēja novērot, ka parauga šķīdumam piemīt buferkapacitāte. Jo vairāk pelnu šķīduma ir paraugā, jo vairāk HCl vajadzēja pievienot. 100% pelnu šķīdumā tika pievienoti 27% HCl, bet tas joprojām netika neitralizēts.

Graudaugu lapām ir ievērojama loma ražas veidošanā, jo fotosintēzes process galvenokārt notiek lapās (50-60%), jo īpaši to augšanas sākumā (Elzebroek, Wind 2008). Tāpēc ir

nepieciešams, lai augi iespējami ātri izveidotu ievērojamu lapu virsmu un tā saglabātos nebojāta visu auga augšanas laiku, kamēr notiek fotosintēzes process. Iegūtie mērījumi no kviešiem un miežiem liecina, ka pelnu klātbūtne ietekmē graudaugu biomasas veidošanos un tajos ir graudaugiem nepieciešamie elementi. Sēklām ir liela kapacitāte veiksmīgi augt hidroponikas sistēmā arī bez papildus pievienotiem elementiem, jo izmantojot to sēklās esošās barības vielas gan kvieši, gan mieži ir auguši salīdzinoši labi arī bez papildus pievienotām minerālvielām (3.1.att).

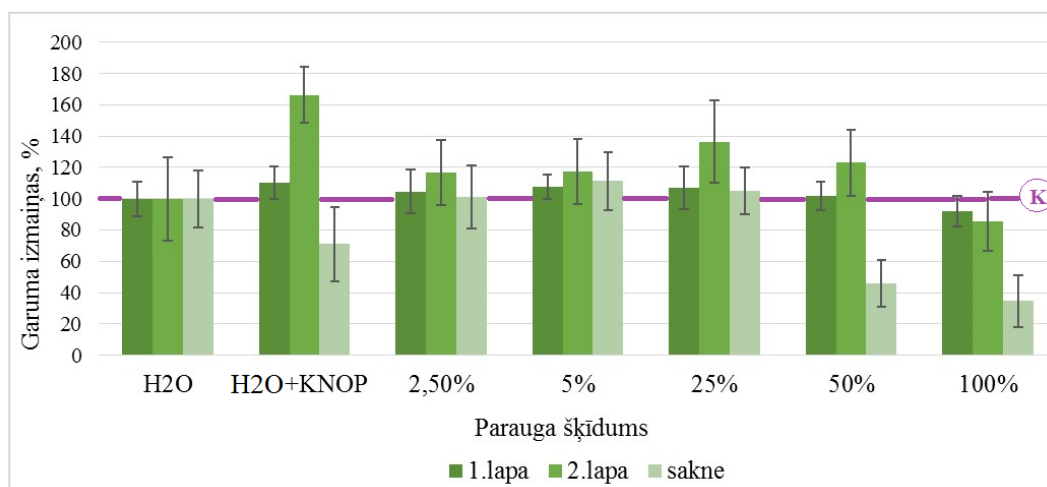


3.1. attēls. Dīgstu un sakņu garuma izmaiņas kviešiem a) natīvs, b) neutralizēts ar HCl, izmantojot vieglo pelnu šķīdumu, audzējot vieglo pelnu šķīdumā, dažādās koncentrācijās. H<sub>2</sub>O - kontrole ar ūdeni. Kontroles līnija (K) norāda 100% garumu gan dīgstiem, gan saknēm, pamatojoties uz kontroles ar ūdeni parauga rezultātiem. H<sub>2</sub>O+KNOP - kontrole ar barības šķīdumu.

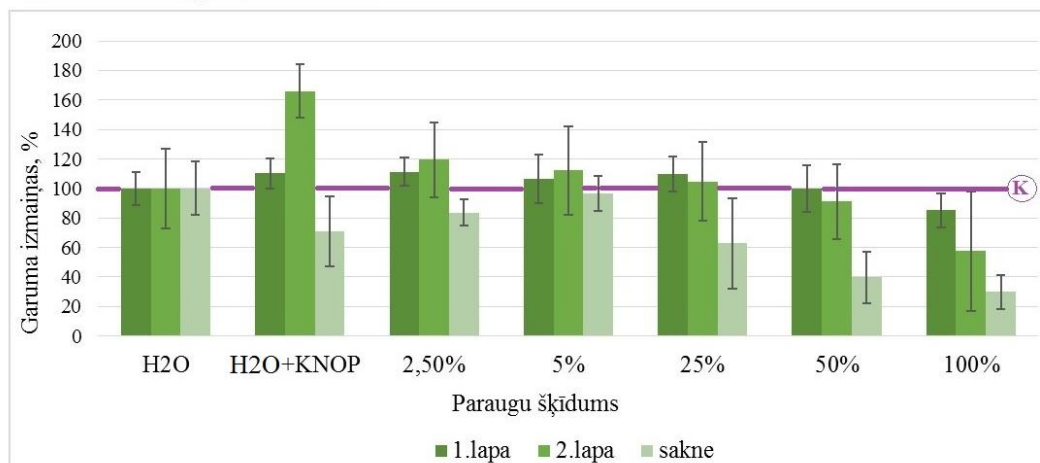
Novēroto augšanas stimulu viennozīmīgi var uzskatīt par pozitīvu. Pie 2,5% pelnu šķīduma kviešu pirmā lapa un sakne ir veidojusies pat labāk nekā kontrolē ar Knop barības šķīdumu, kurā ir augiem viegli pieejami augšanai nepieciešamie elementi.

Kopumā iegūtie rezultāti liecina, ka palielinot pelnu šķīduma koncentrāciju līdz 5%, graudaugu 1. lapas, 2. lapas un arī sakņu sistēmas izmēri palielinās, piemēram, miežiem augot natīvā 2,5% vieglo pelnu parauga šķīdumā 2. lapas izmērs ir 120%, salīdzinot ar ūdens kontroli (3.2.att.). Pievienojot pelnus vairāk par 5% augšanas stimulam un attiecīgi augu biomasai ir tendence pakāpeniski samazināties. Pie 25% pelnu šķīdums augu augšanu jau sāk kavēt un to biomasa sāk samazināties ļoti strauji. Šāda tendence tika novērota gan kviešiem *Triticum sp*, gan miežiem *Hordeum vulgare* – pie 5% pelnu šķīduma uzrādītie rezultāti bija labāki, bet pie 25% pelnu šķīduma graudaugu biomasa strauji sāka samazināties.

**A** *Hordeum vulgare*; natīvs



**B** *Hordeum vulgare*; neitralizēts



3.2. attēls. Dīgstu un sakņu garumu izmaiņas miežiem a) natīvs, b) neitralizēts ar HCl, audzējot vieglo pelnu šķīdumā dažādās koncentrācijās. H<sub>2</sub>O - kontrole ar ūdeni. Kontroles līnija (K) norāda 100% garumu gan dīgšiem, gan saknēm, pamatojoties uz kontroles ar ūdeni parauga rezultātiem. H<sub>2</sub>O+KNOP - kontrole ar barības šķīdumu.

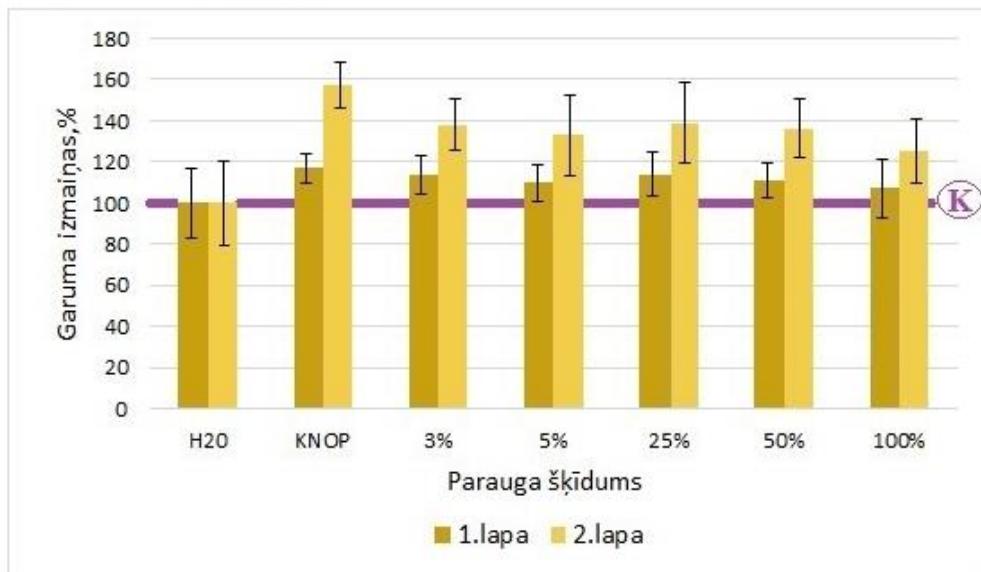
Izvērtējot graudaugus, kuri ir auguši natīvā un neitralizētā vidē var novērot, ka graudaugi pie pH 6-7 aug nedaudz labāk. Tas apliecina, ka vides pH kviešus un miežus ietekmē, jo pie ļoti bāziskas vides reakcijas tie nespēja uzņemt graudaugiem nepieciešamās barības vielas un līdz ar to augu augšana bija mazāk efektīva. Un tomēr šī atšķirība netika uzskatīta par tik būtisku, lai turpmākajos testos tiktu veikta paraugu neitralizācija – to vides pH turpmākajos testos netiks pietuvināts neitrālam (pH 7).

### **3.2. Testa ar smagajiem un jauktajiem pelniem rezultāti**

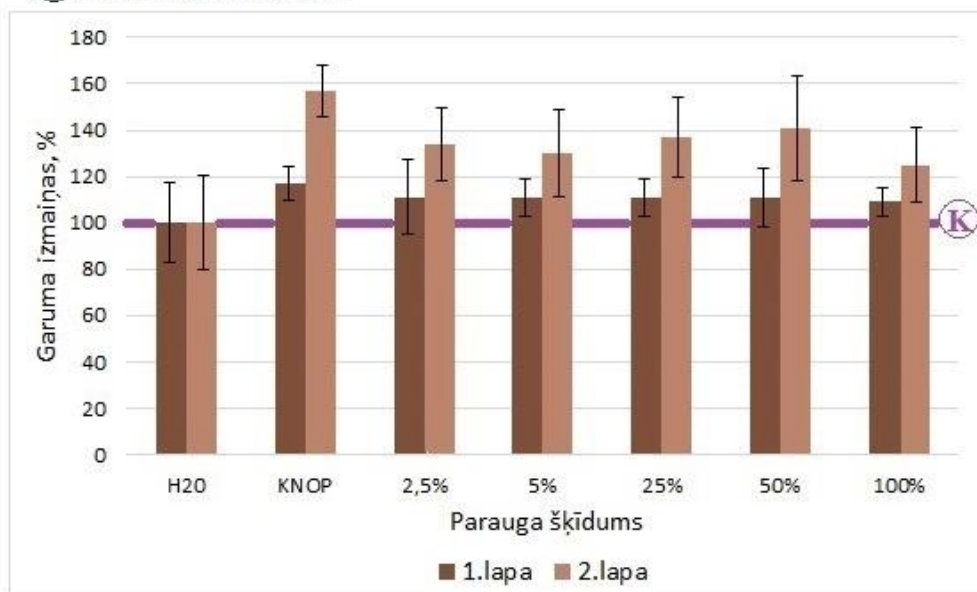
Izvērtējot, ka pie dotajām vieglo pelnu koncentrācijām graudaugu sakņu sistēma un lapu biomasa izrādīja pozitīvu tendenci, eksperiments tika turpināts izmantojot jauktos un smagos pelnus. Pelnu šķīdumu neitralizācija veikta netika, jo iegūtie rezultātiem bija pozitīva tendence arī to nedarot.

Jaukto pelnu paraugos augošie graudaugi uzrādīja labākus rezultātus nekā tie, kas auga smago pelnu paraugos. Bet tomēr pie visām koncentrācijām iegūtie rezultāti bija labāki nekā kontrolei ar ūdeni. Labākie rezultāti tika novēroti pie 25% parauga šķīduma ar jauktajiem pelniem, piemēram, kviešiem 2. lapas garums bija 139%, bet miežiem sasniedza pat 131% salīdzinot ar 100% kontroles paraugu (3.3.att. un 3.4.att).

**A** *Triticum sp.*; jauktie pelni



**B** *Triticum sp.*; smagie pelni

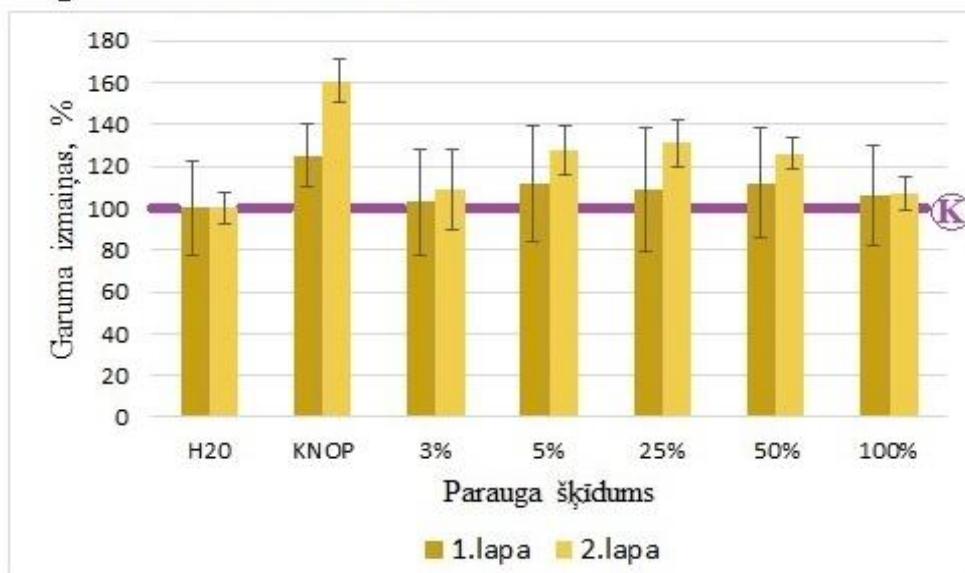


3.3. attēls. Lapu garumu izmaiņas kviešiem izmantojot a) jaukto pelnu šķīdumu, b) smago pelnu šķīdumu, audzējot dažādās pelnu koncentrācijās. H<sub>2</sub>O - kontrole ar ūdeni. Kontroles līnija (K) norāda 100% garumu gan dīgstiem, gan saknēm, pamatojoties uz kontroles ar ūdeni parauga rezultātiem. Knop - kontrole ar barības šķīdumu.

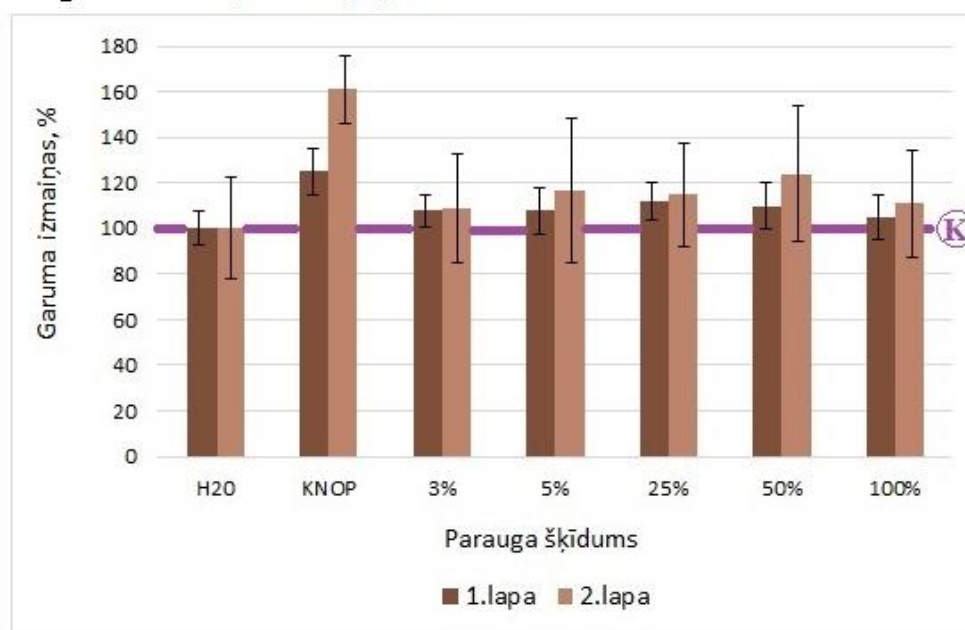
Hidroponikā iegūtie augšanas testu rezultāti atbilst literatūrā aprakstītajam, jo, salīdzinot visu trīs pelnu veidus, vis sliktākie rezultāti ir novērojami izmantojot smagos pelnus. Testā ar smagajiem un jauktajiem pelniem var novērot līdzīgu tendenci kā pirmajā testā, kad tika izmantoti viegļie pelni. Bet atšķirībā no pirmā testa paraugu rezultātiem, tad izmantojot smagos un jauktos pelnus optimālāka ir lielāka pelnu koncentrācija –vieglo pelnu šķīdumam tā bija

2,5%-5%, bet jaukto pelnu šķīdumam 25%, bet smago pelnu šķīdumā vislabākie rezultāti tika uzrādīti pat pie 50% pelnu šķīduma. Salīdzinot ar ūdens kontroli, smagajos pelnos kviešu 2. lapa sasniedza 141% garumu.

**A) *Hordeum vulgare*; jauktie pelni**



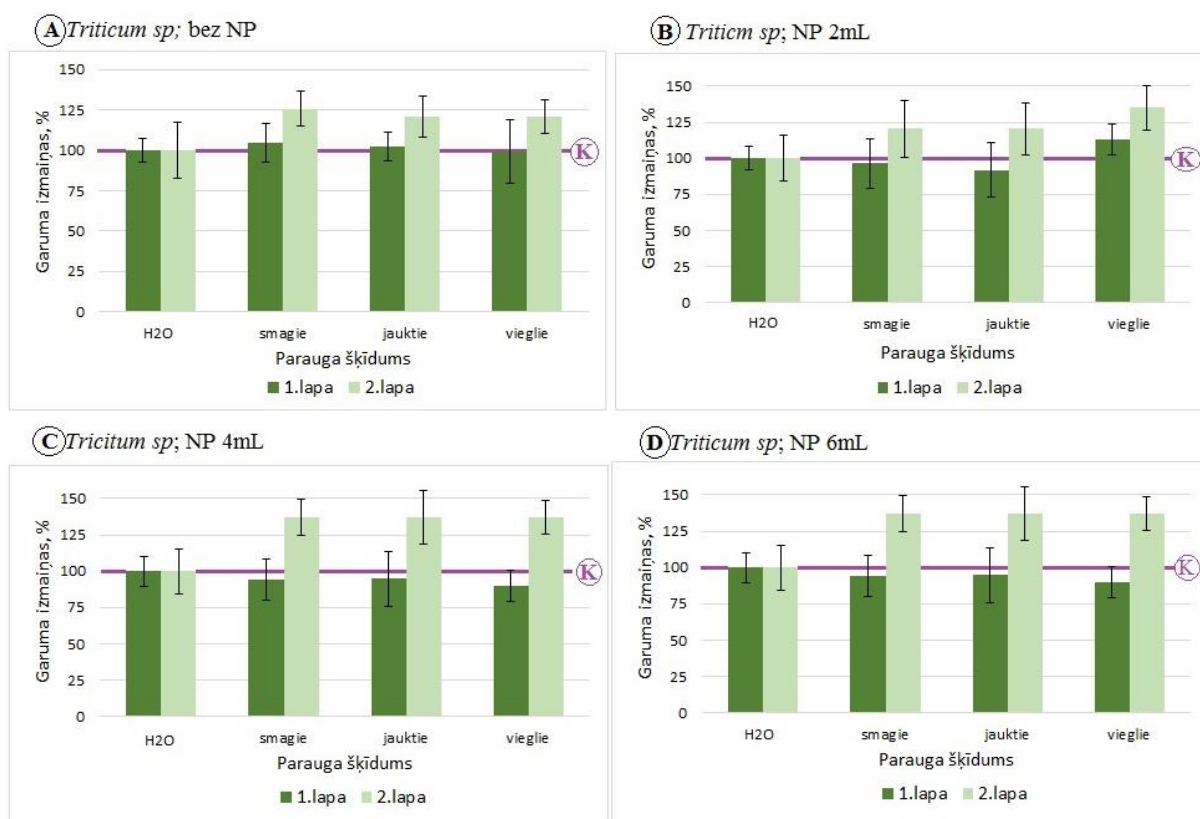
**B) *Hordeum vulgare*; smagie pelni**



3.4. attēls. Lapu garumu izmaiņas miežiem izmantojot a) jaukto pelnu šķīdumu, b) smago pelnu šķīdumu, audzējot dažādās pelnu koncentrācijās. H<sub>2</sub>O - kontrole ar ūdeni. Kontroles līnija (K) norāda 100% garumu gan dīgstiem, gan saknēm, pamatojoties uz kontroles ar ūdeni parauga rezultātiem. Knop - kontrole ar barības šķīdumu.

### 3.3. Testa rezultāti pēc slāpekļa un fosfora pievienošanas

Slāpekļis ir ļoti būtisks auga augšanas periodā zaļās masas veidošanai, savukārt fosfora lielākā nozīme ir pie augu vairošanās, tas palīdz nodrošināt augu ziedu veidošanos. Kviešiem aptuvenais nepieciešamais barības elementu daudzums: slāpekļis 90-150 kg/ha<sup>-1</sup>, fosfors 100 kg/ha<sup>-1</sup> un kālijs 100-130 kg/ha<sup>-1</sup>, vasaras un zemas kviešiem šīs vērtības nedaudz atšķiras. Miežiem nepieciešamais slāpekļis 60-120 kg/ha<sup>-1</sup>, fosfors 60-90 kg/ha<sup>-1</sup>, kālijs 70-100 kg/ha<sup>-1</sup> (Elzebroek, Wind 2008). Pēc (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> pievienošanas pelnu šķīdumu paraugiem, iegūtie rezultāti ievērojami mainījās. Koksnes pelnos slāpekļa gandrīz nav, tapēc pēc to pievienošanas visu pelnu šķīdumu paraugos graudaugu augšanas stimulācija uzlabojās līdzīgi, kā tas ticis novērots arī citos pētījumos (Jacobson 2003). Pievienojot lielākās koncentrācijas ar slāpekli un fosforu (attiecīgi, 4 mL un 6 mL), smagajos un jauktajos pelnos graudaugi auga pat labāk nekā vieglajos (3.5. un 3.6.att.).

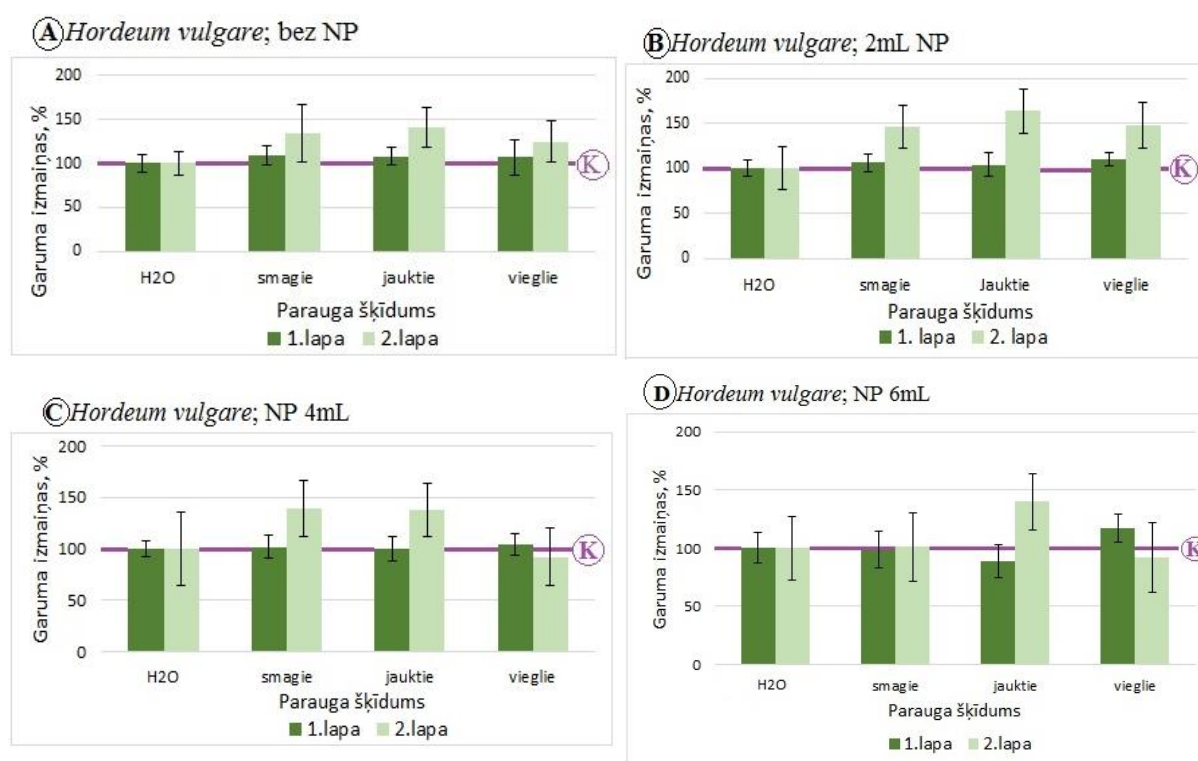


3.5. attēls. Dīgstu lapu garumu izmaiņas kviešiem audzējot 25% smago, jaukto un vieglo pelnu šķīdumos a) nepievienojot N un P, b) pievienojot 2mL N un P, c) pievienojot 4mL N un P, d) pievienojot 6mL N un P. H<sub>2</sub>O - kontrole ar ūdeni, kuram ir pievienots attiecīgais N un P daudzums. Kontroles līnija (K) norāda 100% garumu augu 1. un 2. lapām pamatojoties uz ūdens kontroles parauga rezultātiem.

Kopumā kviešiem vislabākie rezultāti tika novēroti vieglo pelnu šķīduma paraugam ar pievienotu 4mL (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1. lapas garums ir 113% (13,8cm), bet 2. lapas garums 135% (25,1cm) salīdzinot ar kontroli. Savukārt miežiem šie rādītāji nav tik viennozīmīgi, bet šāda koncentrācija varētu būt optimāla arī miežu augšanas stimulācijai.

Vissliktākie rezultāti kviešiem ir novērojami tos audzējot ar smagajiem pelniem ar, kam pievienoti 2mL slāpekļa un fosfora. Pirmās lapas garums ir 94%, kas ir sliktāks rādītājs par ūdens kontroli, un 2. lapas garums sasniedz 116% - tātad kviešu augšana stimulēta netiek, dotie pelni pat kavē augiem piejamo elementu uzņemšanu.

Izvērtējot iegūtos rezultātus, var secināt, ka koksnes pelniem ir nepieciešams pievienot papildus slāpekli, lai pelnus varētu izmantot augu ražības uzlabošanai.



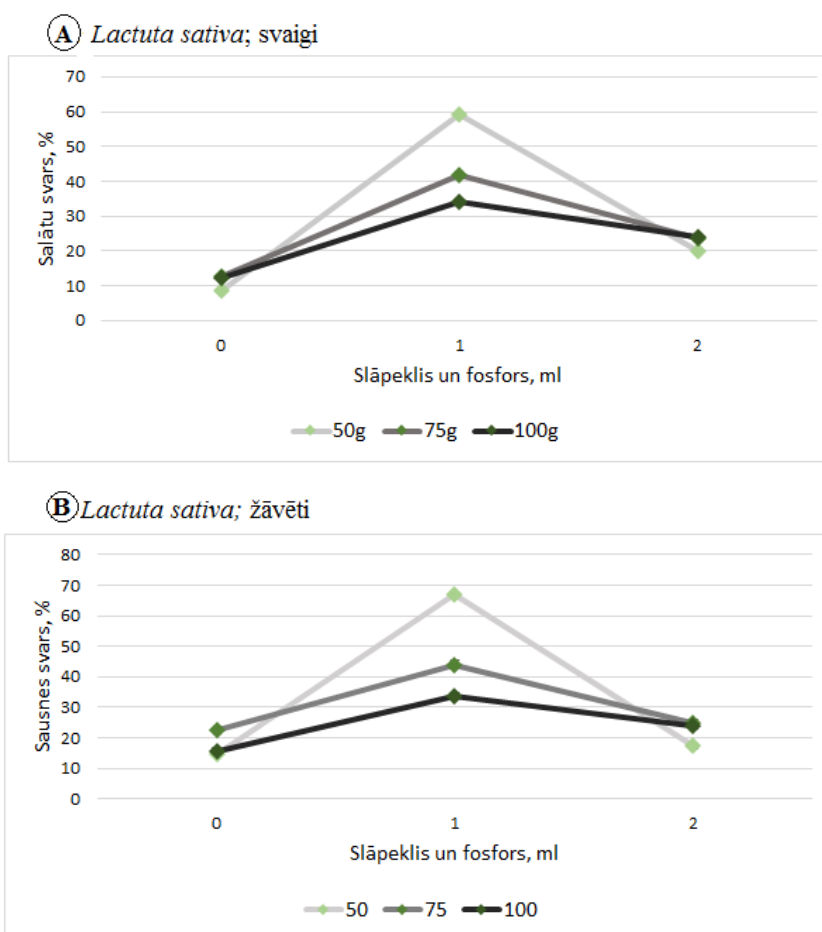
3.6. attēls. Dīgstu lapu garumu izmaiņas miežiem audzējot 25% smago, jaukto un vieglo pelnu šķīdumos a) nepievienojot N un P, b) pievienojot 2mL N un P, c) pievienojot 4mL N un P, d) pievienojot 6mL N un P. H<sub>2</sub>O - kontrole ar ūdeni, kuram ir pievienots attiecīgais N un P daudzums. Kontroles līnija (K) norāda 100% garumu augu 1. un 2. lapām pamatojoties uz ūdens kontroles parauga rezultātiem.

### 3.4. Salātu audzēšanas eksperimenta rezultāti

Plastmasas podiņos ar tilpumu 1L tika samaisīta kūdra ar pelna/sapropeļa granulām. Vienādās koncentrācijās auguši salāti ievērojami atšķīrās arī savstarpēji, piemēram, paraugā ar

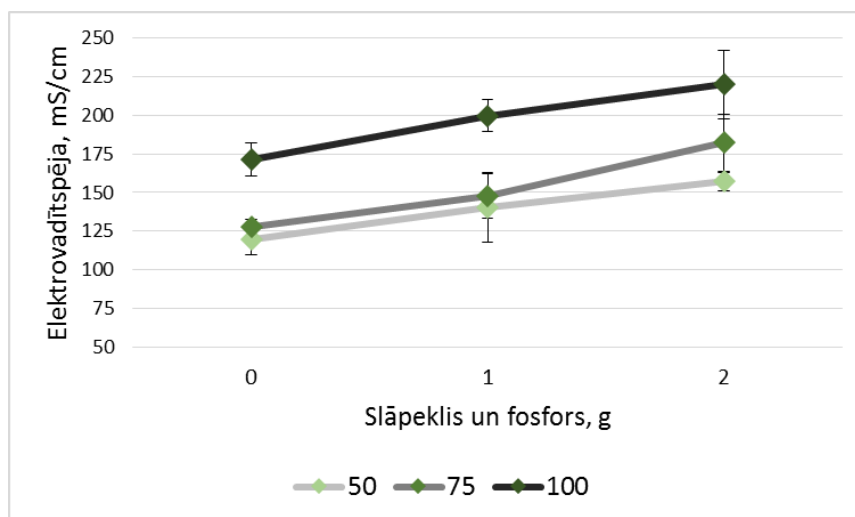
50g granulām un 2g Nun P – četri salātu paraugi svēra mazāk kā 3 gramus un trīs citi tādā pašā koncentrācijā auguši salāti svēra vairāk par 20 un pat 30 gramiem. Tapēc iespējams šo pētījuma daļu vajadzētu atkārtot. Tomēr iespējams, tas ir saistīts ar izveidotā substrāta atšķirīgo homogenitāti, ko būtu jānodrošina maksimāli vienādu granulu un kūdras maisījuma veidošanās procesā. Tāpat arī iemesls varētu būt tas, ka pelnu/sapropeļa granulas nav vienāda izmēra un attiecīgi to šķīdība augus laistot ir atšķirīga.

Kopumā vērtējot iegūtie mērījumi liek domāt, ka ir nepieciešama neliela pelnu granulu un slāpekļa koncentrācija. Pie lielām koncentrācijām, iespējams, vide kļūst pārāk sārmaina, kas augiem traucē uzņemt nepieciešamās barības vielas. Salātu audzēšanā vislielākā biomasa tika iegūta paraugā, kuru substrātam tika pievienots 50 g vieglo pelnu/sapropeļa granulas un 1g slāpekļa un fosfora – salātu ražu ievācot tā biomasa svēra 35,71 g, bet pēc žāvēšanas 2,89 g.



3.7. attēls. Salātu masas izmaiņas un to salīdzinājums ar kontroli a) svaigu salātu paraugi b) žāvētu salātu paraugi. Kontrole - ar mikroelementiem bagātināta kūdra.

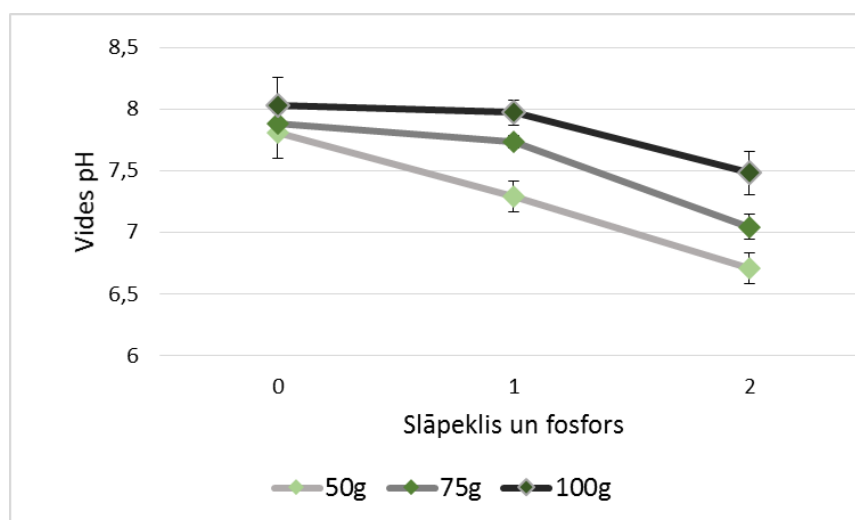
Salātu augšanu var ietekmēt arī sāļu daudzums, tapēc paraugos tika mērīta substrāta elektrovadītspēja, kas norāda uz sāļu daudzumu augsnē (3.8.att.). Jo lielāka sāļu koncentrācija substrātā, jo lielāka ir tā elektrovadītspēja, piemēram, destilēts ūdens elektrību nevada. Neliels sāļu daudzums augiem ir vēlams, bet pārāk liela sāļu koncentrācija augā var aizkavēt vielu apmaiņu.



3.8. attēls. Substrāta elektrovadītspējas izmaiņas atkarībā no pelnu/sapropeļa granulu daudzuma un pievienotā slāpekļa un fosfora. 50, 75 un 100 ir paraugos izmantotais granulu daudzums gramos.

Pelnu sastāvā ir sāļi, piemēram Na koncentrācija ir paaugstināta vieglo pelnu/sapropeļa granulās (Bērziņš 2017) un paraugos, kuros tika pievienots vairāk slāpekļa un fosfora, elektrovadītspēja palielinās. Iegūtie mērījumi liecina, ka dotajās granulās sāļu līmenis ir pieņemams lielākajai daļai kultūraugu (3.8.att.). Jūtīgu augu augsnei pievienot 100g pelnu/sapropeļu granulu un 2g NP nebūtu vēlams (220 mS/cm). Iespējams, ka tas ietekmēja arī salātu augšanu.

Salāti ir jutīgi pret skābu vides reakciju, bet vis ticamāk, ka vides pH salātus neietekmēja, jo novērotās izmaiņas bija salīdzinoši nelielas no pH 6,71 paraugam, kurš saturēja 50 g granulu un 2 g un NP (3.9.att.). Sārmainākā vide tika nomērīta paraugā ar 100g granulu – pH 8,03.









3.9. attēls. Vides reakcijas izmaiņas dažādās vieglo pelnu/sapropeļa granulu un N un P koncentrācijās. 50 g, 75 g un 100 g ir paraugos izmantotais granulu daudzums.

### 3.5. Izmantoto pelnu elementu sastāva piemērotība veģetācijai

Pelnu vides reakcija parasti ir pH 8-12 (Srivastava, 2016). Pētījumā izmantoto pelnu sastāva analīzes tika veiktas jau iepriekš maģistra darba “Koģenerācijas staciju koksnes pelnu un bioogles īpašības un to izmantošanas iespēju lauksaimniecībā novērtējums” ietvaros (Bērziņš 2017). Pelnu sastāvs tika analizēts Latvijas Universitātē Vides kvalitātes un monitoringa laboratorijā. Pamatelementu sastāva analīzes pētījumā izmantotajiem vieglajiem pelniem ir: C 47,6%, H 0,82% un N 0,15%, un nomērītās barības/apmaiņas elementu koncentrācijas vieglajos pelnos var redzēt 3.1.tabulā, kurā kā uzskatāms piemērs ņemts augs no literatūras avota (Bērziņš 2017), lai uzskatāmāk parādītu attiecīgā elementa ietekmi uz augiem kopumā. Jāpiebilst, ka augi šos elementus ir spējīgi uzņemt tikai kādā noteiktā formā, piemēram, slāpekli saistītā veidā no nitrātiem  $\text{NO}_3^-$  un amonija  $\text{NH}_4^+$ .

Pētījumā izmantoto pelnu ķīmisko elementu sastāvs, kuri būtiski ietekmē augu augšanu (izstrādājusi autore, izmantojot Bērziņš 2017; Līpenīte et al. 2016; Cervantes 2015.)

Elements	Kopējā koncentrācija pelnos, g kg <sup>-1</sup>	Ietekme uz kultūraugiem	
Slāpekļis, N	0,9	<p>Pārāk liela koncentrācija / Deficīts</p> 	<p>Ļoti nozīmīgs augu barošanās procesā, biomasas veidošanā un ražības kvalitātes nodrošināšanā. Ja slāpekļa nepietiek, tad lapas ir mazas un blāvas, tās ātri dzeltē un nobirst.</p>
Fosfors, P	6	<p>Pārāk liela koncentrācija / Deficīts</p> 	<p>Ja trūkst P, tad lapas kļūst tumšas, ar sārtu nokrāsu. Ātri sažūst un kļūst melnas.</p>
Kālijs, K	38	<p>Pārāk liela koncentrācija / Deficīts</p> 	<p>Auga lapu malas dzeltē, kļūst brūnas un nobirst. Tās salokās uz leju grumbuļainas.</p>

Kalcijs, Ca	92	<p>Pārāk liela koncentrācija / Deficīts</p> 	<p>Apikālie pumpuri un bojātās saknes atmirst.</p>
Magnijs, Mg	12	<p>Pārāk liela koncentrācija / Deficīts</p> 	<p>Labas bālē un dzeltē, lapas malas un plātne starp dzīslām kļūst sarkana.</p>
Sērs, S	-	<p>Pārāk liela koncentrācija / Deficīts</p> 	<p>Sērs korelē ar slāpekļa darbību. S ir daļa no fermenta, kas nepieciešams slāpekļa uzņemšanai. Sērs ir iesaistīts fotosintēzes procesā, kopējā enerģijas vielmaiņā un ogļhidrātu ražošanā.</p>

Veicot izaugušo graudaugu mērīšanu varēja novērot, ka dažos paraugos graudaugi bija sākuši pelēt, bet savukār citos paraugos pie lielām pelnu koncentrācijām, piemēram, pirmajā testā ar vieglajiem pelniem 50% pelnu šķīdumā, lapu galotnes bija sākušas dzeltēt un dažas lapas bija nokaltušas. Tam par iemeslu natīvajos pelnu šķīdumu paraugos var būt, ka sārmainā vide graudaugus apdedzināja, bija pārāk liels sāļu saturs, piemēram, nātrija koncentrācija izmantotajos vieglajos pelnos pārsniedz vēlamo koncentrāciju. Bojātās augs daļas varēja

veidoties arī no nepietiekoša daudzuma augiem pieejamā slāpekļa, jo paraugiem, kam tas tika pievienots, bojātas auga daļas vairs netika novērotas.

## SECINĀJUMI

- Kopumā vērtējot izvirzītais apgalvojums, ka biomasas pelnus un to granulas varētu veiksmīgi izmantot mežsaimniecībā un lauksaimniecības vajadzībām tika apstiprināts, bet pirms jebkuru pelnu izmantošanas ir jāveic pelnu sastāva analīze, kā arī vajadzētu pelnus apstrādāt, piemēram, veidojot granulas.
- Viegļie pelni satur daudzus augu augšanai nepieciešamus elementus. No salātu audzēšanas ar pievienotām pelnu/sapropeļa granulām netika uzrādīti tik pat labi rezultāti kā ar barības vielām bagātā kūdra, kura tika izmantot kontrolei, bet iegūtie rezultāti liecina, ka pelniem ir potenciāls stimulēt augu augšanu, kā arī granulas varētu aizstāt kaļķa izmantošanu augsnes pH palielināšanai.
- Šobrīd pelnu pētījumi galvenokārt notiek laboratorijās, bet izpēti vajadzētu turpināt un izvērtēt kādu ietekmi pelni atstāj uz veģētāciju un to ķīmisko sastāvu, jo īpaši daudzgadīgajiem kultūraugiem. Būtu jāpārlicinās vai ilgstošā periodā augos un augsnē neuzkrājas vielas dzīvniekiem un cilvēkiem bīstamās koncentrācijās.
- Pētījumu varētu turpināt izanalizējot izžāvēto kviešu, miežu un salātu sastāvu, piemēram, vai kūdras substrātā augošajos salātos atrodamie elementi atrodas līdzīgās koncentrācijās kā salātos, kuri auga paraugos ar granulām.

## PATEICĪBA

Paldies profesoram Ģedertam Ieviņam par palīdzību bakalaura darba izstrādē. Īpaši lielu pateicību vēlos izteikt darba vadītājai Zane Vincēvičai-Gailei par neizmērojamo pacietību, idejām un palīdzību darba praktiskās daļas īstenošanā, kā arī padomiem un materiāliem teorētiskās daļas izstrādē.

Bakalaura darbs tika izstrādāts pateicoties LU sadarbībai ar SIA “Baltic Institute for Regional Development”.

# LITERATŪRAS AVOTI

## Publicētā literatūra

- Ahmaruzzaman, M. 2010. A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*. 36, 327-363.
- Aronssons, A.K. 2007. Effects of wood ash on freshwater organisms and aquatic forest ecosystems. MID Sweden University.
- Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P.B.S, Mahapatra S.C. 2009. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. *Progress in Natural Science*. 19, 1173-1186.
- Biederman, F., Obernberger, I. 2005. Ash related problems during biomass Combustion and possibilities for a sustainable ash utilization. In: Proceedings of the International Conference on World Renewable Energy Congress (WREC), Aberdeen, U.K.
- Biederman, J., Scott, R.L., Goulden, M.L., Vargas, R., Litvak, M.E., Kolb, T.E., Yopez, E.A., Oechel, W.C., Blanken, P.D., Bell, T.W., Garatuza-Payan, J., Maurer, G.E., Dore, S., Burns, S. 2016. Terrestrial carbon balance in a drier world: the effects of water availability in southwestern North America. *Global Change Biology*, 22(5), 1867-1879.
- Chirenje, T., Ma, Q.L. 2002. Impact of high-volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrients. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*, 33, 1-17.
- Clapham, W.M., Zibilske, L.M. 1992. Wood ash as a liming amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23(11-12), 1209-1227.
- Elzebroek, T., Wind, K. 2008. Guide to cultivated plants. CABI, UK.
- Fuzesi, A., Heil, B., Kovacs, G. 2015. Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 11(1), 55-56.
- Hansen, H.K., Pedersen, A.J., Ottosen, L.M., Villumsen, A. 2001. Speciation and mobility of cadmium in straw and wood combustion fly ash. *Chemosphere*. 45, 123-128.
- Jala, S, Goyal, D. 2006. Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production-a review. *Bioresource Technology*. 97, 1136-1147.
- James, A.K., Thring, R.W., Helle, S., Ghuman, H.S. 2012. Ash management review – applications of biomass bottom ash. *Energies*. 5(10), 3856-3873
- Kishor, P., Ghosh, A.K., Kumar, D. 2010. Use of Fly ash in Agriculture: A Way to Improve Soil Fertility and its Productivity. *Asian Journal of Agricultural Research*. 4(1), 1-14
- Līpenīte, I., Kārklīņš, A., Ruža, A. 2016. Augsnes minerālais slāpeklis un mēslošanas rekomendācijas. *Zinātniski praktiskā konference „Līdzsvarotā lauksaimniecība”*, Jelgava, Lauksaimniecības fakultāte, Latvijas Lauksaimniecības Universitāte.

- MK noteikumi Nr.302, 2011. "Noteikumi par atkritumu klasifikatoru un īpašībām, kuras padara atkritumus bīstamus" Latvijas Vēstnesis, 19.04.2011. Atsauce tekstā (MK, 2011).
- Mohr H., Schopfer P. 1995. *Plant Physiology*. Berlin-Heidelberg, Springer Verlag.
- Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O., Catalão, J.P.S. 2016. Biomass combustion systems: a review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 53, 235-242.
- Pan, H., Eberhardt, T.L. 2011. Characterization of the fly ash from the gasification of wood and assessment for its application as a soil amendment. *BioResources*. 6(4), 3987-4004.
- Pandey, V.C., Singh, N. 2010. Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*. 136, 16-27.
- Pels, J.R., de Nie, D.S., Kiel, J.H.A. 2005. Utilization of ashes from biomass combustion and gasification. In 14th European Biomass conference and exhibition, France. ECN-RX-05-182, 17-21.
- Rohr, A.C., Campleman, L.S., Long, C.M., Peterson, M.K., Weatherstone, S., Quick, W., Lewis, A. 2015. Potential Occupational Exposures and Health Risks Associated with Biomass-Based Power Generation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12, 8542-8605.
- Rosenberg, O., Persson, T., Högbom, L., Jacobson, S. 2010. Effects of wood-ash application on potential carbon and nitrogen mineralisation at two forest sites with different tree species, climate and N status. *Forest Ecology and Management*. 260, 511–518.
- Shaheen, S.B., Hooda, P.S., Tsadilas, C.D. 2014. Opportunities and challenges in the use of coal fly ash for soil improvements – a review. *Journal of Environmental Management*. 145, 249-267.
- Srivastava, R.K., Srivastava, A.K., Gautam, P. 2016. Eco-friendly utilization of fly ash in agriculture: A review. *International Journal of Environment and Pollution Research*. 4(4), 24-33.
- Stanislav, V., Vassileva, B., Baxtera, D., Andersena, L.K., Vassileva, C.G. 2012. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification. *Fuel*. 94, 1-33.
- Stanislav, V., Vassileva, B., Baxtera, D., Andersena, L.K., Vassileva, C.G. 2013. An overview of the composition and application of biomass ash.: Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges. *Fuel*. 105, 19-39.
- Trybalski, K., Kępyś, W., Krawczykowski, D., Krawczykowska, A., Szponder D. 2014. Physical Properties of Ash from Co-Combustion of Coal and Biomass. *Polish Journal of Environmental Studies*. 23(4), 1433-1436.

- Vance, D.E. 1996. Land Application of Wood-Fired and Combination Boiler Ashes: An Overview. *Journal of Environmental Quality*.25, 937-944
- Van Loo S., Koppejan J. 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*. Earthscan, London.
- Weatherstone, S., Quick, W., Lewis, A. 2015. Potential Occupational Exposures and Health Risks Associated with Biomass-Based Power Generation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12, 8542-8605

#### Nepublicētie avoti

- Белорусский государственный технологический университет, [Bez dat.]. Лабораторная работа No1 «Определение основных параметров характеризующих свойства различных видов древесной биомассы». Sk. 9.03.2018. Pieejams: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/51/%D0%AD%D0%98%D0%94%D0%91/Energet-ispoljz-biomassi-lab-rab.pdf> Atsauce tekstā (BGTU bez dat.)
- Bērziņš, E. 2017. Koģenerācijas staciju koksnes pelnu un bioogles īpašības un to izmantošanas iespēju lauksaimniecībā novērtējums. Maģistra darbs. Rīga, Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Centrālā statistikas pārvalde, [Bez dat.]. Sk. 10.04.2017. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/energetika-datubaze-30123.html> Atsauce tekstā (CSP bez dat.).
- Cervantes, J. 2015. *Marijuanagrowing.com* Sk. 1.05.2018. Pieejams: <https://ww2.marijuanagrowing.com/excerpts/>
- Komisijas regula (ES) Nr. 1357/2014 ar ko aizstāj III pielikumu Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvai 2008/98/EK par atkritumiem un par dažu direktīvu atcelšanu. Sk. 30.04.2018
- Lotkova, J. 2015. Koksnes biomasas pelnu klasifikācija no mēslojuma līdz bīstamiem atkritumiem. Kadmija daudzuma problēmas. Maģistra darbs. Rīga, Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, Rīgas Tehniskā Universitāte.
- Ministru kabineta noteikums Nr.302. Sk. 30.04.2017.
- Skagale, G. 2017. Egles un priedes baro ar pelniem. Skatīts: 10.02.2018. Pieejams: <http://laukos.la.lv/egles-un-priedes-baro-ar-pelniem/>
- Suzdaļenko, V. 2013. Koksnes granulu līdzdedzināšana ar gāzveida fosilo kurināmo. Promocijas darbs. Rīga, Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte, Rīgas Tehniskā Universitāte.

# PIELIKUMI

## Miežu mērījumu piemērs, izmantojot 50% smago pelnu šķīdumu

Grauda Nr paraugā	1.lapa	2. lapa	Lapu svars	Sausā materiāla svars
	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
8.1	16,7	6,8	0,15	0,018
8.2	14,5	n	0,11	0,018
8.3	17,6	7,8	0,18	0,018
8.4	14,8	6,7	0,11	0,018
8.5	16,0	5,4	0,14	0,018
8.6	13,7	5,8	0,13	0,018
8.7	15,0	4,2	0,12	0,018
8.8	16,2	6,9	0,16	0,018
8.9	n	n	n	n
8.10	n	n	n	n
<b>Vid</b>	<b>15,6</b>	<b>6,2</b>	<b>0,14</b>	<b>0,018</b>
8.11	15,5	4,7	0,12	0,019
8.12	18,7	9,8	0,20	0,019
8.13	15,5	5,8	0,14	0,019
8.14	16,6	7,5	0,16	0,019
8.15	16,4	11,2	0,20	0,019
8.16	15,7	5,1	0,13	0,019
8.17	16,0	5,5	0,13	0,019
8.18	17,0	7,9	0,16	0,019
8.19	12,3	4,2	0,09	0,019
8.20	15,7	6,5	0,14	0,019
<b>Vid</b>	<b>15,9</b>	<b>6,8</b>	<b>0,15</b>	<b>0,019</b>
8.21	19,8	11,3	0,23	0,020
8.22	14,5	4,4	0,10	0,020
8.23	15,3	n	0,11	0,020
8.24	19,6	9,8	0,21	0,020
8.25	14,6	6,7	0,13	0,020
8.26	18,1	8,3	0,19	0,020
8.27	15,0	4,3	0,12	0,020
8.28	16,1	5,5	0,14	0,020
8.29	14,6	6,2	0,11	0,020
8.30	n	n	n	n
<b>Vid</b>	<b>16,4</b>	<b>7,1</b>	<b>0,15</b>	<b>0,020</b>

Salātu substrāta (kūdras un granulu maisījuma) ECp (mS/cm) un pH mērījumi

Paraugs	pH	EC, mS/cm
Kontrole	5,63	169,0
50 g granulas	7,81	120,6
50g granulas + 1g NP	7,29	127,6
50g granulas + 2g NP	6,71	171,5
75 g granulas	7,88	140,2
75 g granulas + 1g NP	7,73	147,9
75g granulas + 2g NP	7,04	199,8
100 g granulas	8,03	157,0
100 g granulas + 1g NP	7,97	182,3
100 g granulas + 2g NP	7,48	219,9

Bakalaura darbs “BIOMASAS PELNU IETEKME UZ AUGU AUGŠANU” izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

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

Autors: Daina Žagata

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: pētniece Dr. chem. Zane Vincēviča-Gaile

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums

Recenzents:

Darbs iesniegts Vides zinātnes nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvedis .....

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts Bakalaura grāda akadēmisko studiju gala pārbaudījumu komisijas sēdē

.....  
gads, datums, mēnesis

protokola nr. ....

vērtējums .....

Sekretārs:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums