

## EGLES STĀDĪJUMI NESEKMĪGI APMEŽOTĀS AUGSNĒS: MĒSLOŠANAS EKSPERIMENTS AR KĀLIJA MAGNĒZIJU

**Gunta Čekstere<sup>1</sup>, Anita Osvalde<sup>1</sup>, Vilnis Nollendorfs<sup>1</sup>, Jolanta Pormale<sup>1</sup>,  
Andis Karlsons<sup>1</sup>, Guntars Šnepsts<sup>2</sup>, Pēteris Zālītis<sup>2</sup>, Gunta Dudele<sup>3</sup>,  
Līga Jankevica<sup>4</sup>, Sandra Minova<sup>4</sup> un Māris Laiviņš<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts, Augu minerālās barošanās laboratorija, E-pasts: gunta.cekstere@lu.lv

<sup>2</sup> Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

<sup>3</sup> a/s "Latvijas valsts meži"

<sup>4</sup> Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts, Eksperimentālās entomoloģijas un mikrobioloģijas laboratorija

Piemērota mēslošanas līdzekļa izvēle, kas balstās uz kompleksu problēmterritorijas analītisko izpēti, veicot atbilstošas augsnes un augu analīzes, ir būtiska degradētu egļu audžu vitalitātes un produktivitātes nodrošināšanai. Pētījuma mērķis bija noskaidrot kālija magnēzija ietekmi uz egles mežaudzi kūdras augsnē: (1) egles augšanas intensitāti un produktivitāti, (2) indivīdu veselības stāvokli, (3) zemsedes vaskulāro augu un sūnu sugu sastāva pārmaiņas, (4) barības elementu uzkrāšanos sistēmā augsne-augi.

Divas eksperimentālo parauglūkumu sērijas iekārtotas 2007. gadā. Pirmā parauglūkumu sērija iekārtota Valkā un Kalsnavā mēslošanas ietekmes vērtējumam jauno egļu stādījumos (egles iestādītas 2008. gadā). Otrā parauglūkumu sērija iekārtota Kalsnavā, lai novērtētu mēslošanas ietekmi uz egļu audzes (egles stādītas 1989. gadā) attīstību un ražību. Rezultāti parādīja, ka 2007.–2008. gada egļu stādījumu mēslošana ar kālija magnēziju ir būtiski uzlabojusi minerālās barošanās nodrošinājumu ne tikai ar K, bet arī ar Ca, Zn un N. Pēc mēslošanas ir būtiski uzlabojusies koku vainagu vitalitāte, un palielinājusies egļu ražība. Mēslošanas efekts ir konstatēts visā pētījuma periodā (2008.–2016. gadā). Ar kālija magnēziju mēslotajos 2008. gada stādījumos egles 2016. gadā bija 2,9 reizes augstākas, stumbra caurmērs pie sakņu kakla bija 2,0 reizes lielāks, salīdzinot ar nemēsloto egļu stādījumiem. Savukārt 1989. gada mēslotajos stādījumos attiecīgi 2016. gadā egles bija 1,4 reizes augstākas, 1,3 reizes lielāks stumbra caurmērs (1,3 m augstumā), 3,5 reizes platākas gadskārtas un 2,8 reizes lielāka koksnes krāja, salīdzinot ar kontroles variantu. Mēslošana ar kālija magnēziju nav būtiski ietekmējusi celulozi noārdošo mikroorganismu daudzumu augsnē, bet nozīmīgi ir palielinājuši baktēriju un mikroskopisko sēņu apjomu. Nitrofilo augu (lielās nātres *Urtica dioica*, meža suņburkšķa *Anthriscus sylvestris*, meža *avenes* *Rubus idaeus*) un sūnu (smailās skrajlāpes *Plagiomnium cuspidatum*, dumbra skrajlāpes *P. ellipticum*) sugu seguma pieaugums mēslotajos parauglūkumos liecina par bioloģiski aktīvā slāpekļa un barības vielu aprites aktivitātes palielināšanos augtenē.

Raksturvārdi: *Picea abies*, barības elementi, *Myrtillosa turf. mel.*, audzes ražība, audzes vitalitāte, sugu sastāva dinamika.

### IEVADS

Viena no saimnieciski izplatītākajām koku sugām, kas tiek plaši izmantota nosusinātu meža zemju apmežošanā kūdras augsnēs Latvijā un arī citos boreonemorālā klimata reģionos, ir parastā egle *Picea abies* (L.) Karst. (Zālītis, 2006). Latvijā parasti egli, kā mērķa sugu, nosusinātās mezoeitrofās un eitrofās kūdras augsnēs (*Myrtillosa turf. mel.*, *Oxalidosa turf. mel.*) pašlaik audzē aptuveni 37 tūkstošos hektāru (7 % no egles audžu kopapjoma) lielā platībā (Valsts meža dienests, 2016), ar egli apmežo arī nosusinātos zemos purvus un pārmitrās pļavas, kuru platība pašlaik pārsniedz 20 tūkstošus hektāru (Zālītis & Lībiete, 2005; Lībiete & Zālītis, 2007).

Latvijā egles stādījumiem kūdras augsnēs nosusinātos zemajos purvos un grīšļū

plāvās daudzviet ir zema ražība un vitalitāte, nereti stādījumi iznīkst. Pēc pētnieku atzinuma egles stādījumu nepietiekamā vitalitāte un nereti arī to destrukcija, ir cieši saistīta ar barības vielu attiecībām un daudzumu augsnē (Moilanen *et al.*, 2010), sevišķi ar kālija nodrošinājumu, kas bieži vien kūdras augsnēs augiem ir nepietiekamā daudzumā (Laiho & Laine, 1995; Hoosbeek *et al.*, 2002). Kālija limitējošā loma mežaudžu (egles audžu) produktivitātē kūdras augsnēs konstatēta pētījumos Somijā (Finér, 1989; Sarkkola *et al.*, 2016), Kanādā (Caisse *et al.*, 2008), tā arī Latvijā (Zālītis, 1991; Zālītis & Lībiete, 2004). Dažādos pētījumos ir konstatēts arī citu barības elementu, piemēram, bora deficīts jeb pazemināts saturs (Möttönen *et al.*, 2005). Augu apgāde ar barības elementiem ir ļoti svarīgs faktors, jo pietiekams barības elementu nodrošinājums veicina ne tikai koku pieaugumu, bet arī toleranci pret slimībām un dažādiem stresa apstākļiem, tieši ietekmējot stādījumu vitalitāti un produktivitāti. Lai objektīvi izvērtētu augu nodrošinājumu ar barības elementiem, svarīgi ir veikt kompleksu diagnostiku, kas sevī ietver vienlaicīgu konkrētās vietas apstākļu – stādījuma augsnes un augu agroķīmisko izpēti. Ne mazāk svarīga ir augšņu ķīmisko analīžu veikšanai pielietotā metode un interpretācija, kas ļauj noteikt ne tikai barības elementu koncentrāciju, bet arī to attiecības.

Egļu audžu mēslošanai kūdras augsnēs parasti izmanto koksnes pelnus un ķīmiski sintezētos kālija mēslošanas līdzekļus kā KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, u. c. (Finér, 1989; Zālītis, 1991; Saarsalmi & Tamminen, 2005; Klavina *et al.*, 2016a; Lībiete *et al.*, 2016; Okmanis *et al.*, 2016). Nav datu par dabiskas minerālas izcelsmes kāliju saturoša mēslošanas līdzekļa kālija magnēzija (patentkālija, Langbeinite) integrētu ietekmi uz barības elementu nodrošinājumu dažāda vecuma un dažādas izcelsmes egļu audzēs. Trūkst informācijas par šī mēslošanas līdzekļa pielietojuma efektivitāti saistībā ar audzes produktivitāti, kā arī ilgtermiņa ietekmi uz ekosistēmu kopumā nosusinātā kūdras augsnē klimata izmaiņu kontekstā boreo-nemorālajā klimata zonā mūsdienās. Kālija magnēzijs ir neitrāls (pH ≈ 7), nodrošina augiem viegli pieejamu kālija, magnija un sēra daudzumu, kālija magnēzija izmantošana ir atļauta bioloģiskajā lauksaimniecībā.

Pētījuma mērķis bija noskaidrot kālija magnēzija ietekmi uz egles mežaudzi kūdras augsnē: (1) egļu augšanas intensitāti un produktivitāti, (2) indivīdu veselības stāvokli, (3) zemsedzes vaskulāro augu un sūnu sugu sastāva pārmaiņām un (4) barības elementu uzkrāšanos sistēmā augsne-augi.

## MATERIĀLS UN METODES

### *Eksperimentālie parauglaukumi*

Kālija magnēzija mēslošanas ietekmes vērtējumam uz egles augšanu 2007. gadā iekārtotas divas eksperimentālo parauglaukumu sērijas. Pirmā parauglaukumu sērija iekārtota Valkā un Kalsnavā mēslošanas ietekmes vērtējumam uz jauno egļu stādījumiem. Otrā parauglaukumu sērija iekārtota Kalsnavā, bijušajā plāvā, lai novērtētu mēslošanas ietekmi uz 18 gadus vecas egles jaunaudzes (egles stādītas 1989. gadā) attīstību un ražību.

**Pirmā eksperimenta mērķis** bija novērtēt kālija magnēzija ietekmi uz egles stādījumu augšanu nosusinātā kūdras augsnē. Kūdras slāņa biezums >1 m, kūdras humifikācijas pakāpe pēc Posta skalas 0–0,05 m un 0,05–0,20 m dziļumā – H3–H8, 0,20–0,30 m dziļumā – H4–H8. Eksperimentālie parauglaukumi iekārtoti 2007. gadā Valkā (57°41'N, 26°09'E) un Kalsnavā (56°40'N, 25°50'E) šaurlapju kūdrenī (*Myrtillosa turf. mel.*), kur egles bija stādītas pirms 25 gadiem (1982. gadā), 95 % no tām 2007. gadā bija nokaltušas un stādījumu vietā bija izveidojušies purva bērza un egles retaine.

Pirms mēslošanas eksperimenta ierīkošanas 2007. gada augustā Valkā un Kalsnavā tika nocirsti un nozāģēti visi krūmi un koki, kas pēc tam iznesti ārpus parauglaukumiem vismaz 20 m attālumā. Katrā vietā iekārtoti divi 100 m<sup>2</sup> lieli parauglaukumi – vienā no tiem ir stādītas jaunās egles bez kālija magnēzija mēslojuma (kontroles parauglaukums), otrs – egles stādījumi ar kālija magnēzija mēslojumu. Katrā eksperimentālajā laukumā 2008. gada aprīlī iestādīti 30 viengadīgi parastās egles stādi, kuru vidējais garums 20 cm. Egles stādi izaudzēti kūdras substrātā a/s “Latvijas valsts meži” kokaudzētavā “Strenči”. Stādījuma shēma: 1,5 × 2,0 m jeb 3000 stādi ha<sup>-1</sup>. Egļu stādu skuju ķīmiskais sastāvs pirms stādīšanas bija: N – 1,20 %, P – 0,26 %, K – 1,00 %, Ca – 0,47 %, Mg – 0,19 %, S – 0,08 %, Fe – 220 mg kg<sup>-1</sup>, Mn – 134 mg kg<sup>-1</sup>, Zn – 36 mg kg<sup>-1</sup>, Cu – 5,0 mg kg<sup>-1</sup>, Mo – 1,2 mg kg<sup>-1</sup> un B – 23,0 mg kg<sup>-1</sup>.

Kalsnavā 2014. gadā pētījumi egles stādījumos bija jāpārtrauc, jo ilgstošas applūšanas ietekmē (bebru aizsprosti tuvējā novadgrāvī) egles stādījumi iznīka.

**Otrā eksperimenta mērķis** bija novērtēt kālija magnēzija ietekmi uz 18 gadus vecas egļu jaunaudzēs veselības stāvokli, attīstību un ražību. Līdzīgi kā pirmajā eksperimentā, 2007. gadā tika ierīkoti divi 100 m<sup>2</sup> lieli parauglaukumi (kontrolē jeb nemēslojums un mēslojums variants) 18 gadus vecā egles jaunaudzē (stādīta 1989. gadā) Kalsnavā (56°40'N, 25°50'E) šaurlapju kūdrenī (*Myrtillosa turf. mel.*). Koku biezums 1989. gadā bija 5000 indivīdi ha<sup>-1</sup>, bet eksperimenta uzsākšanas brīdī – 2007. gadā – 1500 indivīdi ha<sup>-1</sup>.

### *Mēslošanas devas*

2007. gada septembrī abu eksperimentu mēslošanai paredzētajos parauglaukumos izkaisīts kālija magnēzijs – 100 g m<sup>-2</sup>, bet pēc tam nākamā gada pavasarī (2008. gada aprīlis) atkārtoti – 50 g m<sup>-2</sup>. Kālija magnēzija (K – 24,9 %, Mg – 6,0 % un S – 17,0 %) devas aprēķinātas, pamatojoties uz 2007. gada egles skuju un augsnes analīžu datiem, kas iegūti pirms eksperimentu ierīkošanas.

### *Stādījumu agrotehniskā kopšana, augu un augsnes paraugu ievākšana*

Lakstaugu pļaušana veikta tikai pirmā eksperimenta parauglaukumos četras reizes 2008. gadā un divas reizes 2009., 2010. un 2011. gadā, nopļautos augus atstājot parauglaukumā. Augsnes paraugu ievākšana veikta pirms abu eksperimentu ierīkošanas 2007. gada augustā, tad 2008. gada aprīlī, kā arī 2010., 2012., 2014. un 2016. gada septembrī. Katrā kontrolē jeb nemēslotajā un mēslotajā parauglaukumā izvēlētas

piecas randomizētā kārtībā augošas jaunās egles, kuru vainaga projekcijas zonā 1–20 cm dziļumā trīs atkārtojumos tika ievākti augsnes paraugi, no kuriem izveidots katram kokam atbilstošs vidējais paraugs. Augsnes paraugi ievietoti plastmasas maisiņos un nogādāti laboratorijā. Vienlaicīgi ar augsnes paraugu ievākšanu paņemti atbilstošās egles skuju paraugi ķīmiskām analizēm no iepriekš atlasīto piecu koku tekošā gada dzinumiem.

2012. un 2016. gada jūlijā un septembrī Valkā un 2012. gada jūlijā un septembrī Kalsnavā no abu eksperimentu katra parauglaukuma 1–10 cm dziļumā ievākti četri augsnes paraugi kultivējamo augsnes mikroorganismu kvantitatīvai analīzei. Paraugi ievietoti sterilos plastmasas maisiņos (*Nasco WHIRL-PAK*) un nogādāti laboratorijā, kur uzglabāti +4°C temperatūrā līdz mikrobioloģisko analīžu veikšanai. No katra parauglaukuma ievāktie atsevišķie paraugi apvienoti un analizēti kā viens paraugs ar četriem atkārtojumiem.

### *Egles audžu taksācija*

Iestādītajām pirmā eksperimenta jaunajām eglēm 2008., 2012., 2016. gada oktobrī izmērīts augstums un stumbra caurmērs pie sakņu kakla. Savukārt otrajā eksperimentā eglēm minētajos gados mērīts augstums un stumbra caurmērs 1,3 m augstumā. 2016. gada oktobrī no visām augošajām eglēm ar Preslera svārpstu iegūti koksnes paraugi radiālā pieauguma noteikšanai. Radiālā pieauguma mērīšana veikta, izmantojot iekārtu *LNTAB IV*, Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava”. Datu pirmapstrādei izmantota datorprogramma *TSAP WIN Scientific 0.55*. Krājas aprēķināšanai izmantota I. Liepas atsevišķa koka tilpuma formula (Liepa, 1996), ņemot vērā koku skaitu, koku vidējo augstumu un vidējo kvadrātisko caurmēru:

$$V = 2,3106 \cdot 10^{-4} \cdot H_g^{0,78193} \cdot D_g^{0,34175 \cdot \lg H_g + 1,18811} \cdot N,$$

kur

$M$  – mežaudzes krāja,  $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ;

$H_g$  – mežaudzes vidējais augstums, m;

$D_g$  – mežaudzes vidējais krūšaugstuma caurmērs, cm;

$N$  – mežaudzes koku skaits,  $\text{ha}^{-1}$ .

### *Vainaga stāvokļa vērtējums*

Egles vainagu stāvoklis noteikts visos pirmā un otrā eksperimenta parauglaukumos 2012. un 2016. gada oktobrī, atbilstoši Meža monitoringa vadlīnijām (UN/ECE, 2006; Schomaker *et al.*, 2007). Pēc Meža monitoringa metodikas novērtēti trīs egļu vainaga parametri: vainaga atmirums, vainaga kopējā defoliācija un vainaga dehromācija (Anon., 2000; Schomaker *et al.*, 2007).

*Vainaga atmirums* jeb sauso zaru daudzums raksturo vainaga atmiršanas pakāpi. Sauso zaru daudzums vērtēts vainaga augšējā un vainaga vidusdaļā.

*Vainaga defoliācija* ir integrāls vainaga stāvokļa vērtējums, ko nosaka pēc skuju zuduma vainagā, ņemot vērā arī vainaga blīvuma un atmiruma rādītājus.

*Vainaga dehromācija* ir no vainaga kopējā skuju apjoma iekrāsoto skuju daudzums, kas

norāda uz vides stresa faktoru ietekmi, galvenokārt uz barošanās apstākļu nelīdzsvarotību. Vainaga stāvokļa rādītāji novērtēti pēc acumēra procentos ar 5 % intervālu.

### *Veģētācijas uzskaitē un Ellenberga ekoloģisko faktoru vērtības*

Pirms eksperimentu ierīkošanas 2007. gada augustā un pēc tam 2012. un 2016. gada jūlijā visos parauglaukumos uzskaitītas visas koku ( $E_3$ ), krūmu ( $E_2$ ), lakstaugu ( $E_1$ ) un sūnu ( $E_0$ ) stāva sugas. Pēc acumēra procentos novērtēts katra mežaudzes stāva, kā arī katra stāva sugu projektīvais segums (Dierschke, 1994). Pamatojoties uz sugu ekoloģisko faktoru (apgaismojums, siltuma apstākļi un klimata kontinentalitāte, augsnes mitrums, skābums un aktīvā slāpekļa daudzums) Ellenberga vērtību skaitļiem (Ellenberg *et al.*, 1992), aprēķināti augtēnes ekoloģisko apstākļu parametri parauglaukumos.

### *Augu un augsnes ķīmiskās analīzes*

Augsnes un egļu skuju paraugu ķīmiskās analīzes veiktas Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta Augu minerālās barošanās laboratorijā. Augsnes paraugi žāvēti divas dienas  $+35^{\circ}\text{C}$  temperatūrā, pēc tam izsijāti caur  $2_3\text{mm}$  sietu. Skuju paraugi noskaloti ar destilētu ūdeni, izžāvēti  $+60^{\circ}\text{C}$  temperatūrā un samalti, iegūstot viendabīgu skuju vidējo paraugu.

Augsnes izvilkums N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B un Mo noteikšanai iegūts, augsni ekstrahējot ar 1 M HCl šķīdumu. Tajā pāriet ne tikai viegli uzņemamais, bet arī veģētācijas perioda laikā potenciāli pieejamais barības elementu daudzums (Osvalde, 1996). Šī metode sekmīgi izmantota arī citu kokaugu minerālās barošanās pētījumos (Čekstere & Osvalde, 2013; Čekstere *et al.*, 2016). Augsnes un 1 M HCl tilpumattiecība bija 1:5. P, S un Mo noteikšanai augsnes izvilkums tika oksidēts, izmantojot  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  un  $\text{HClO}_4$ , iegūtie sāļi izšķīdināti HCl un destilētā ūdenī (Ринькис и др., 1987). Augsnes reakcijas (pH) noteikšanai izmantots 1 M KCl augsnes izvilkums. Augsnes un 1 M KCl tilpumattiecība bija 1:2,5. Augsnes elektrovadītspējas noteikšanai iegūts destilēta ūdens izvilkums; augsnes un destilēta ūdens tilpumattiecība 1:5.

P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu un Mo noteikšanai egļu skuju paraugos izmantota sausā pārpelnošana ar  $\text{HNO}_3$  tvaikiem procesa noslēgumā, pēc tam pelni izšķīdināti atšķaidītā HCl šķīdumā (HCl un destilēta ūdens tilpumattiecība 3:100). Katra parauga iesvars – 2,50 g. N noteikšanai lapu paraugiem (iesvars – 0,20 g) veikta slapjā pārpelnošana ar koncentrētu  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , procesa noslēgumā atšķaidot ar destilētu ūdeni, S (iesvars – 0,20 g) – ar koncentrētu  $\text{HNO}_3$ . Savukārt B noteikšanai skujās paraugiem (iesvars – 0,50 g) veikta sausā pārpelnošana ar  $\text{HNO}_3$  tvaikiem procesa noslēgumā (Ринькис и др., 1987).

Ca, Mg, Fe, Cu, Zn un Mn koncentrācija augsnes un skuju paraugos noteikta, izmantojot atomabsorbcijas spektrofotometru *Perkin Elmer AAnalyst 700* acetilēnagaisa liesmā (Page *et al.* (ed.), 1982; Analytical Methods..., 2000). K analizēts ar liesmas fotometru (*JENWAY PFPJ*). N, P, B un Mo analizēts kolorimetriski, S – turbidimetriski, izmantojot spektrofotometru (*JENWAY 6300*); N augos – ar modificēto Kjeldāla metodi,

bet N augsnes izvilkumā (minerālais  $(\text{NH}_4+\text{NO}_3)$  + organiskais un minerālais) – ar Neslera reaģentu sārmainā vidē. P analizēts ar amonija molibdātu skābā reducētā vidē; B – ar hinalizarīnu sērskābā vidē; Mo – ar rodanīdu skābā (reducētā) vidē; S – ar  $\text{BaCl}_2$ . Augsnes elektrovadītspēja noteikta, izmantojot konduktometru *Hanna EC 215*, augsnes reakcija – izmantojot pH-metru *Sartorius PB-20*. Organiskās vielas saturs augsnē noteikts pēc Tjurina metodes (Ринькис и др., 1987). Kopējais augsnes mitrums noteikts augsnes paraugos pēc 24 stundu žāvēšanas  $+105^\circ\text{C}$  temperatūrā. Paraugu analīzes veiktas trīs atkārtojumos.

### *Augsnes mikrobioloģiskās analīzes*

Analīzes veiktas Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta Eksperimentālās entomoloģijas un mikrobioloģijas laboratorijā. Kultivējamo baktēriju un mikroskopisko sēņu daudzumu noteica, tās attiecīgi uzsējot uz peptona – rauga ekstrakta barotnes (*NA "Biolife"*, Itālija) un Bengālijas agara ar hloramfenikolu (*Laboratorios Conda*, Spānija). 10 g augsnes parauga ievietoja 250 ml kolbā ar 90 ml sterila destilētā ūdens un 30 minūtes kratīja automātiskajā kratītājā (Alef & Nannipieri, 1998). Tika sagatavoti desmitkārtēji atšķaidījumi un inokulēti Petri traukos ar barotnēm. Baktērijas un mikroskopiskās sēnes inkubētas  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  temperatūrā, attiecīgi  $72 \pm 4$  un  $120 \pm 4$  stundas. Pēc inkubācijas uzskaitītas koloniju veidojošās vienības (KVV) un aprēķinās to daudzums uz 1 g sausas augsnes. Lai salīdzinātu augsnes paraugus, aprēķināta sēņu/baktēriju daudzuma attiecība.

Izmantojot I. Zaharova (Захаров, 1978) ieteikto metodi, novērtēta celulozi noārdošo miroorganismu sastopamība, mikroskopisko sēņu un baktēriju izdalīšanai attiecīgi izmantota Častuhina un Kadota barotne. Barotnes salēja Petri traukos un pārklāja ar sterilu filtrpapīru ( $\varnothing 70$  mm). Augsni samitrināja ar sterilu ūdeni un izveidoja nelielas augsnes piciņas. Katrā Petri traukā ar pinceti ievietoja 25 augsnes piciņas. Katram variantam veikti 10 atkārtojumi. Petri trauki tika inkubēti 10–14 dienas  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  temperatūrā. Rezultātus izteica procentos – apaugušo piciņu skaits/ $25 \cdot 100$  %.

### *Datu statistiskās apstrādes metodes*

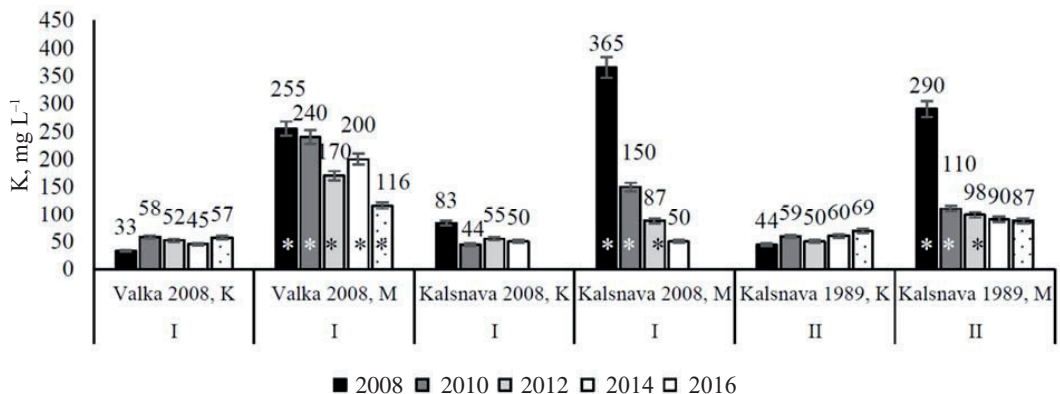
Rezultātu statistiskajai analīzei izmantotas šādas datorprogrammas: *R-Studio*, *R 2.14.1*, *PC-ORD*, *version 5*. Vidējo rezultātu atspoguļošanai un analīzei katram pētījuma parauglaukumam aprēķinātas standartkļūdas (SE), bet izmaiņu statistiskai analīzei izmantots Stjūdenta tests (*t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variance*). Koku gadskārtējā pieauguma un koksnes krājas apjoms aprēķināts pēc I. Liepas (Liepa, 1996). Vainaga parametru variēšanas būtiskums starp egļu vainagu parametriem nemēsloātā un mēsloātā variantā Valkā un Kalsnavā novērtēts ar *t-test* metodi *Two-Sample Assuming Unequal Variances*. Eksperimentālo parauglaukumu sugu sastāva objektīvu izmaiņu analīzei lietota detrendētās korespondentanalīzes sukcesijas vektoru interpretācija (DCA) un datorprogramma *PC-ORD*, *version 5* (McCune & Grace, 2002). Vides gradientu identificēšanai DCA ordinācijā izmantotas Ellenberga skaitļu vērtības, kas aprēķinātas katram parauglaukumam, pamatojoties uz augu sugu projektīvā seguma datiem. Lai

novērtētu atšķirības starp sēņu un baktēriju koloniju veidojošo vienību (KVV) augsnē starp pētījuma parauglaukumiem, datiem veikta normalizēšana un analīze, izmantojot *one-way ANOVA* un *Tukey's* ticamības atšķirību testu ( $p < 0,05$ ).

## REZULTĀTI

### Barības elementu dinamika augsnē

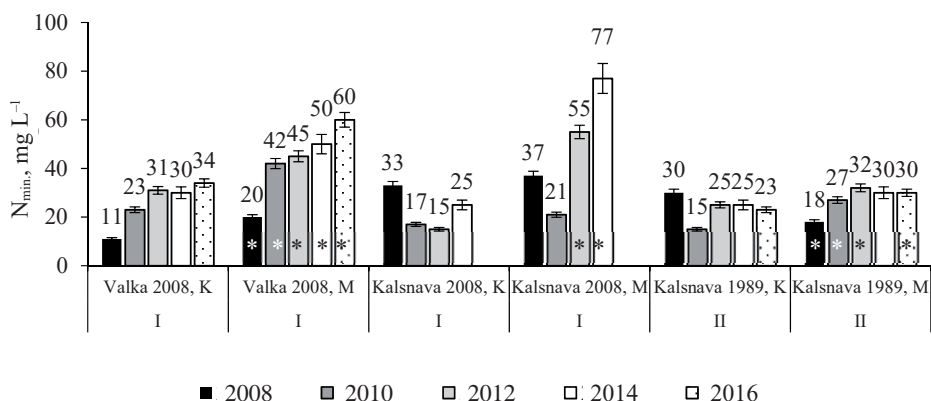
Konstatēta būtiska pozitīva mēslošanas ietekme uz K nodrošinājumu augsnē visās eksperimentālajās vietās (1. att.). Lai gan K koncentrācija augsnē samazinājās laika periodā no 2008. gada, kad tika veikta mēslošana, līdz 2016. gadam, tomēr saglabājot statistiski būtisku atšķirību pirmā eksperimenta Valkas parauglaukumos un otrā eksperimenta Kalsnavas parauglaukumos. Turpretim pretēja tendence konstatēta minerālā N gadījumā – tā koncentrācija augsnē būtiski pieauga attiecīgajā laika posmā pirmā eksperimenta mēslotajos parauglaukumos Valkā un Kalsnavā (2. att.). Būtiski augstāka S koncentrācija, salīdzinot ar kontroles variantu, bija galvenokārt raksturīga mēslotajos parauglaukumos 2008. gadā (3. att.). Mēslošana ar kālija magnēziju būtiski palielināja augiem pieejamā Mg koncentrāciju (4. att.), kā arī ietekmēja vairāku citu barības elementu koncentrāciju augsnē (1. tab.): konstatēts augstāks  $N_{kop}$  saturs abos veiktajos mēslošanas eksperimentos, P – pirmajā mēslošanas eksperimentā 2008. gada stādījumā Valkā, kā arī Ca koncentrācijas samazināšanās augsnē pēc mēslošanas ar kālija magnēziju otrā eksperimenta jeb 1989. gada egļu stādījuma mēslotajā parauglaukumā. Lai gan pētījumā konstatēta būtiski augstāka Mg un Ca koncentrācija augsnē mēslotajos parauglaukumos, tomēr augsnes reakciju mēslojums ar kālija magnēziju būtiski nav ietekmējis (1. tab.).



1. attēls. Kālija koncentrācija kūdras augsnē ( $\text{mg L}^{-1}$ , 1 M HCl izvilkumā) egļu eksperimentālajos parauglaukumos 2008.–2016. gada augustā.

Figure 1. Potassium concentration in peat soil ( $\text{mg L}^{-1}$ , in 1 M HCl extraction) at the experimental plots in August 2008–2016.

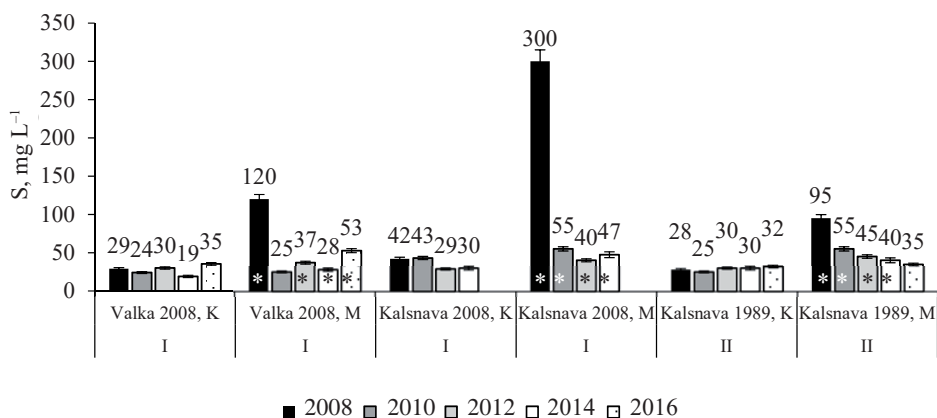
K – kontrole/control, M – mēslojums/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķirās starp kontroli un mēslojuma parauglaukumu (*t-Test*,  $p < 0,05$ )/\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site (*t-Test*,  $p < 0.05$ ).



2. attēls.  $N_{\min}$  saturs kūdras augsnē ( $\text{mg L}^{-1}$ , 1 M HCl izvilkumā) egļu eksperimentālajos parauglaukumos 2008.–2016. gada augustā.

Figure 2.  $N_{\min}$  concentration in peat soil ( $\text{mg L}^{-1}$ , in 1 M HCl extraction) in the experimental plots in August 2008–2016.

K – kontrole/control, M – mēslojs/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķiras starp kontroli un mēsloto parauglaukumu ( $t$ -Test,  $p < 0,05$ )/\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site ( $t$ -Test,  $p < 0.05$ ).

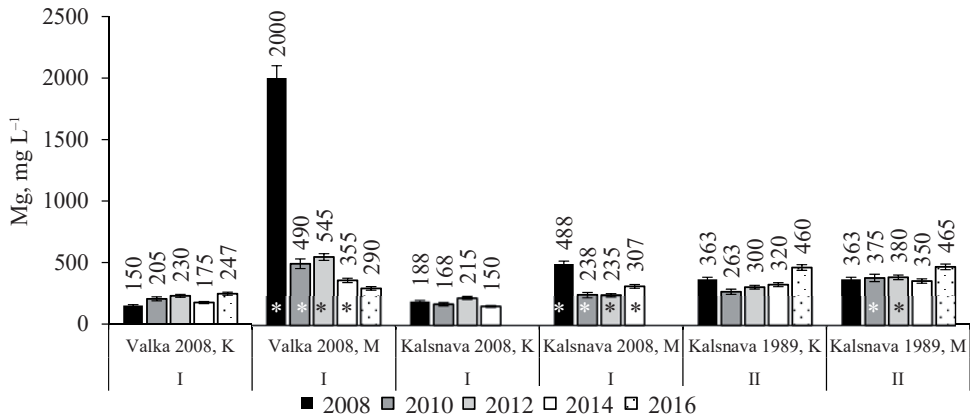


3. attēls. Sēra koncentrācija kūdras augsnē ( $\text{mg L}^{-1}$ , 1 M HCl izvilkumā) egļu eksperimentālajos parauglaukumos 2008.–2016. gada augustā.

Figure 3. Sulphur concentration in peat soil ( $\text{mg L}^{-1}$ , in 1 M HCl extraction) in the experimental plots in August 2008–2016.

K – kontrole/control, M – mēslojs/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķiras starp kontroli un mēsloto parauglaukumu ( $t$ -Test,  $p < 0,05$ )/\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site ( $t$ -Test,  $p < 0.05$ ).





4. attēls. Magnija koncentrācija kūdras augsnē ( $\text{mg L}^{-1}$ , 1 M HCl izvilkumā) eglu eksperimentālajos parauglaukumos 2008.–2016. gada augustā.

Figure 4. Magnesium concentration in peat soil ( $\text{mg L}^{-1}$ , in 1 M HCl extraction) in the experimental plots in August 2008–2016.

K – kontrole/control, M – mēslojums/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķiras starp kontroli un mēslojuma parauglaukumu ( $t$ -Test,  $p < 0,05$ )\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site ( $t$ -Test,  $p < 0,05$ ).

1. tabula. Vidējā barības vielu koncentrācija kūdras augsnē ( $\text{mg L}^{-1}$ , 1 M HCl izvilkumā), augsnes reakcija un elektrovadītspēja eksperimentālajos parauglaukumos

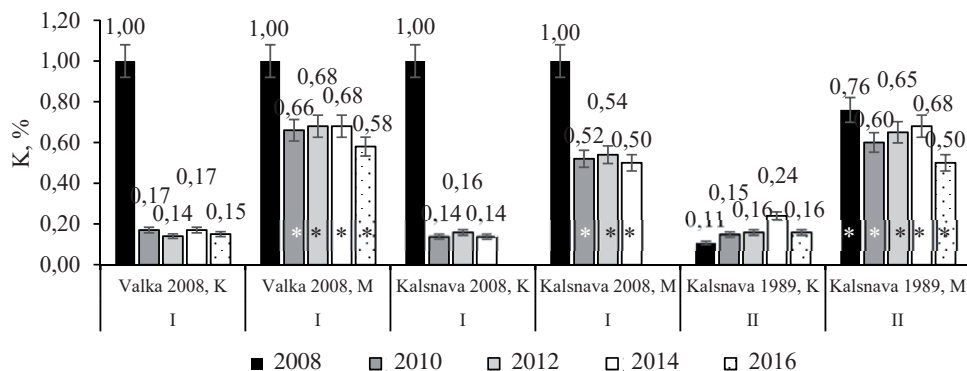
Table 1. Average nutrient concentrations in soil ( $\text{mg L}^{-1}$ , 1 M HCl extraction), soil reaction and electrical conductivity from the spruce experimental sites

Rādītājs Parameter	Valka, 2008. g. stādījums (2008–2016) Planted in 2008		Kalsnava, 2008. g. stādījums (2008–2014) Planted in 2008		Kalsnava, 1989. g. stādījums (2008–2016) Planted in 1989	
	Kontrole Control	Mēslojums Fertilized	Kontrole Control	Mēslojums Fertilized	Kontrole Control	Mēslojums Fertilized
N <sub>tot</sub>	219 ±4 a*	273 ±48 b	183 ±38 a	267 ±32 b	201 ±19 a	214 ±20 a
P	129 ±19 a	299 ±52 b	368 ±39 a	313 ±76 a	139 ±26 a	164 ±23 a
K	49 ±5 a	196 ±25 b	53 ±4 a	246 ±151 b	56 ±4 a	135 ±39 b
Ca	5634 ±380 a	4998 ±423 a	2642 ±200 a	2924 ±491 a	4091 ±297 b	3021 ±427 a
Mg	201 ±18 a	736 ±319 b	167 ±17 a	317 ±59 b	333 ±34 a	387 ±20 b
S	29 ±3 a	54 ±18 b	39 ±5 a	111 ±63 b	30 ±2 a	54 ±11 b
Fe	13050 ±955 a	16429 ±1688 b	10190 ±1120 a	10663 ±1704 a	6620 ±848 a	6660 ±412 a
Mn	245 ±22 a	222 ±22 a	63 ±5 a	63 ±11 a	63 ±18 a	53 ±22 a
Zn	10,77 ±0,75 a	9,86 ±1,16 a	7,32 ±0,58 a	6,87 ±1,31 a	5,60 ±1,02 a	6,38 ±2,59 a
Cu	0,83 ±0,09 a	0,95 ±0,12 a	1,16 ±0,06 a	1,32 ±0,17 a	0,89 ±0,14 a	0,89 ±0,11 a
Mo	0,04 ±0,00 a	0,04 ±0,01 a	0,05 ±0,02 a	0,07 ±0,02 a	0,06 ±0,01 a	0,05 ±0,00 a
B	0,77 ±0,14 a	0,76 ±0,27 a	0,23 ±0,03 a	0,36 ±0,07 b	0,37 ±0,06 a	0,36 ±0,07 a
pH <sub>KCl</sub>	4,21 ±0,07 a	4,28 ±0,12 a	4,17 ±0,03 a	4,22 ±0,08 a	4,09 ±0,08 a	3,99 ±0,06 a
EC mS cm <sup>-1</sup>	0,43 ±0,08 a	0,46 ±0,06 a	0,29 ±0,02 a	0,64 ±0,34 a	0,42 ±0,04 a	0,51 ±0,08 a

\* Vidējie rādītāji ar dažādiem burtiem rindā bija būtiski atšķirīgi eksperimentālajā vietā ( $t$ -Test,  $p < 0,05$ , a < b)\* Means with different letters in a row were significantly different for experimental site ( $t$ -Test,  $p < 0,05$ , a < b).

## Barības elementu dinamika egļu skujās

Visos eksperimentālajos parauglaukumos, kur veikta mēslošana ar kālija magnēziju, būtiski augstāka K koncentrācija egļu skujās raksturīga līdz pat pēdējai paraugu ņemšanas reizei 2016. gadā (5. att.), kā arī kopumā augstāks Ca un Zn saturs (2. tab.). N koncentrācijas pieaugums un būtiski augstāks Fe līmenis egļu skujās bija kokiem, kas auga pirmā eksperimenta jeb 2008. gada egļu stādījumā abos mēslotajos parauglaukumos (2. tab., 6. att.). Turpretī būtiski zemāks nekā kontroles variantā bija tikai B saturs egļu skujās pirmā eksperimenta mēslotajā parauglaukumā Valkā (2. tab.). Savukārt citiem barības elementiem būtiskas atšķirības egļu skujās starp kontroli un mēsloto parauglaukumu nevienā eksperimentā netika konstatētas (2. tab.).



5. attēls. Kālija saturs (%) tekošā gada egļu skujās eksperimentālajos parauglaukumos 2008.–2016. gada augustā. 2008. g. stādījumam K saturs skujās noteikts 2008. gada aprīlī pirms stādīšanas.

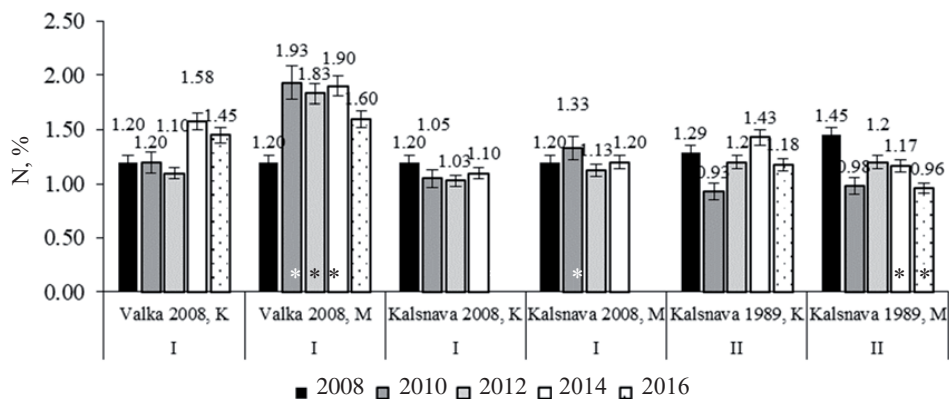
Figure 5. Potassium concentration (%) in spruce needles of current year in the experimental plots in August 2008–2016. K content in spruce needles of planting 2008 was detected in April 2008.

K – kontrole/control, M – mēslojums/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķirās starp kontroli un mēsloto parauglaukumu (*t*-Test,  $p < 0,05$ )/\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site (*t*-Test,  $p < 0.05$ ).

2. tabula. Vidējā barības vielu koncentrācija tekošā gada egļu skuņās eksperimentālajos parauglaukumos  
 Table 2. Average nutrient concentrations in the current year spruce needles from the experimental sites

Barības elements Nutrient	Valka, 2008. g. stādījums (2010–2016) Planted in 2008		Kalsnava, 2008. g. stādījums (2010–2014) Planted in 2008		Kalsnava, 1989. g. stādījums (2008–2016) Planted in 1989	
	Kontrole Control	Mēslojums Fertilized	Kontrole Control	Mēslojums Fertilized	Kontrole Control	Mēslojums Fertilized
N, %	1,33 ±0,11 a	1,82 ±0,08 b	1,06 ±0,02 a	1,22 ±0,06 b	1,21 ±0,08 a	1,15 ±0,09 a
P, %	0,20 ±0,01 a	0,19 ±0,01 a	0,17 ±0,01 a	0,17 ±0,03 a	0,17 ±0,01 a	0,16 ±0,02 a
K, %	0,16 ±0,01 a	0,65 ±0,02 b	0,15 ±0,01 a	0,52 ±0,01 b	0,16 ±0,02 a	0,64 ±0,04 b
Ca, %	0,35 ±0,01 a	0,44 ±0,03 b	0,29 ±0,03 a	0,40 ±0,05 b	0,34 ±0,03 a	0,45 ±0,02 b
Mg, %	0,11 ±0,02 a	0,10 ±0,02 a	0,09 ±0,01 a	0,09 ±0,01 a	0,08 ±0,00 a	0,09 ±0,01 a
S, %	0,09 ±0,01 a	0,07 ±0,01 a	0,10 ±0,01 a	0,11 ±0,01 a	0,06 ±0,01 a	0,07 ±0,01 a
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	42,50 ±1,50 a	51,50 ±5,32 b	46,33 ±1,86 a	58,00 ±1,15 b	53,50 ±14,08 a	49,40 ±13,85 a
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	604,00 ±21,59 a	624,50 ±30,45 a	537,33 ±18,81 a	756,00 ±158,40 b	690,00 ±138,20 a	752,00 ±176,15 a
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	17,55 ±2,16 a	30,00 ±4,69 b	18,00 ±3,46 a	42,07 ±11,66 b	18,50 ±0,29 a	25,12 ±3,10 b
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	3,80 ±1,73 a	4,30 ±2,21 a	3,77 ±2,02 a	4,13 ±1,54 a	2,45 ±0,17 a	2,55 ±0,31 a
Mo, mg kg <sup>-1</sup>	0,29 ±0,06 a	0,29 ±0,05 a	0,30 ±0,10 a	0,22 ±0,02 a	0,35 ±0,12 a	0,33 ±0,11 a
B, mg kg <sup>-1</sup>	17,75 ±1,38 b	9,75 ±0,85 a	10,00 ±1,15 a	9,33 ±0,88 a	13,75 ±2,66 a	13,00 ±0,71 a

\* Vidējie rādītāji ar dažādiem burtiem rindā bija būtiski atšķirīgi eksperimentālajā vietā (*t*-Test,  $p < 0,05$ ,  $a < b$ )\* Means with different letters in a row were significantly different for experimental site (*t*-Test,  $p < 0,05$ ,  $a < b$ ).



6. attēls. Slāpekļa saturs (%) tekošā gada skuņās eksperimentālajos parauglaukumos 2008.–2016. gadā augustā. 2008. gada stādījumam N saturs skuņās noteikts 2008. g. aprīlī pirms stādīšanas.

Figure 6. Nitrogen concentration (%) in spruce needles of current year in the experimental plots in August 2008–2016. N content in spruce needles of planting 2008 was detected in April 2008.

K – kontrole/control, M – mēslojums/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķīrās starp kontroli un mēslojuma parauglaukumu (*t*-Test,  $p < 0,05$ )\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site (*t*-Test,  $p < 0,05$ ).

### Augsnes mikrofloras novērtējums

Kultivējamo baktēriju un mikroskopisko sēņu daudzums augsnes paraugos, kas ievākti egļu meža eksperimentālajos stādījumos, attiecīgi bija diapazonā no  $1,2 \times 10^6$  līdz  $1,6 \times 10^{10}$  un no  $2,2 \times 10^4$  līdz  $3,7 \times 10^6$  KVV  $g^{-1}$  sausas augsnes (3., 4. tab.). 2008. gadā iekārtotajos eksperimentālajos stādījumos Valkā un Kalsnavā, kur tika veikta mēslošana, visās paraugu ņemšanas reizēs baktēriju un mikroskopisko sēņu daudzums augsnē bija būtiski lielāks ( $p < 0,05$ ) nekā kontroles stādījumos.

Arī Kalsnavas parauglaukumā, kur egles stādītas 1989. gadā, 2012. gada jūlijā un septembrī konstatētas būtiskas mikroskopisko sēņu un baktēriju skaita atšķirības ( $p < 0,05$ ) starp mēslo to un kontroles parauglaukumu. 2016. gadā šī veicinošā ietekme pazuda. Tomēr baktēriju un mikroskopisko sēņu masa 2016. gadā bija ievērojami pieaugusi abos Kalsnavas parauglaukumos. Kopumā novērota liela baktēriju un mikroskopisko sēņu skaita izkliede starp abiem pētījuma gadiem. 2016. gada rudenī konstatēts vislielākais baktēriju skaits  $(3,5 \pm 0,7) \times 10^6$  un  $(3,7 \pm 0,7) \times 10^6$  KVV  $g^{-1}$  sausas augsnes, salīdzinot ar citām sezonām un citiem parauglaukumiem.

Celulozi noārdošo mikroorganismu un mikroskopisko sēņu sastopamība atspoguļota 5. tabulā. Netika konstatēts, ka mēslošana būtiski ietekmētu šos abus rādītājus augsnē. Celulozi noārdošo mikroskopisko sēņu sastopamība parauglaukumos bija 2–3 reizes lielāka nekā celulozi noārdošo baktēriju sastopamība.

3. tabula. Kultivējamo baktēriju daudzums egļu eksperimentālo parauglaukumu augsnē 2012. un 2016. gada jūlijā un septembrī

Table 3. Amount of cultivable bacteria in soil, samples collected in experimental spruce plantings in July and September 2012 and 2016

Parauglaukums Research site	Va- riants Treat- ment	Baktēriju daudzums, KVV $g^{-1}$ sausas augsnes Amount of bacteria, CFU $g^{-1}$ dry soil			
		2012		2016	
		Jūlijs July	Septembris September	Jūlijs July	Septembris September
Valka, 2008. g. stādījums Valka, planted in 2008	K	$(2,1 \pm 0,5) \times 10^6$ a	$(3,0 \pm 0,4) \times 10^6$ a	$(5,8 \pm 0,9) \times 10^6$ a	$(8,1 \pm 1,4) \times 10^6$ a
	M	$(5,2 \pm 1,0) \times 10^6$ b	$(7,9 \pm 1,5) \times 10^6$ b	$(1,3 \pm 0,2) \times 10^7$ b	$(1,9 \pm 0,2) \times 10^7$ b
Kalsnava, 2008. g. stādījums Kalsnava, planted in 2008	K	$(1,3 \pm 0,2) \times 10^6$ a	$(2,2 \pm 0,8) \times 10^6$ a	-	-
	M	$(2,6 \pm 0,2) \times 10^6$ b	$(6,4 \pm 1,2) \times 10^6$ b	-	-
Kalsnava, 1989. g. stādījums Kalsnava, planted in 1989	K	$(3,2 \pm 0,7) \times 10^6$ a	$(1,2 \pm 0,1) \times 10^6$ a	$(2,3 \pm 0,3) \times 10^7$ a	$(1,2 \pm 0,7) \times 10^{10}$ a
	M	$(3,4 \pm 0,6) \times 10^6$ a	$(3,2 \pm 0,9) \times 10^6$ b	$(1,6 \pm 0,4) \times 10^7$ a	$(1,6 \pm 0,8) \times 10^{10}$ a

K – kontrole/control, M – mēslošana/fertilized. Vidējie rādītāji ar dažādiem burtiem kolonnā bija būtiski atšķirīgi eksperimentālajā vietā (*t-Test*,  $p < 0,05$ ,  $a < b$ ) / Means with different letters in a column were significantly different for experimental site (*t-Test*,  $p < 0.05$ ,  $a < b$ ).

4. tabula. Mikroskopisko sēņu daudzums egļu eksperimentālo parauglaukumu augsnē 2012. un 2016. gada jūlijā un septembrī

Table 4. Amount of microscopic fungi in soil, samples collected in experimental spruce plantings in July and September 2012 and 2016

Parauglaukums Research site	Variants Treatment	Mikroskopisko sēņu daudzums, KVV g <sup>-1</sup> sausas augsnes Amount of microscopic fungi, CFU g <sup>-1</sup> dry soil			
		2012		2016	
		Jūlijs July	Septembris September	Jūlijs July	Septembris September
Valka, 2008. g. stādījums Valka, planted in 2008	K	(5,2 ±0,5) × 10 <sup>4</sup> a	(5,9 ±1,1) × 10 <sup>4</sup> a	(1,6 ±0,3) × 10 <sup>5</sup> a	(1,8 ±0,3) × 10 <sup>5</sup> a
	M	(1,1 ±0,1) × 10 <sup>5</sup> b	(3,6 ±1,2) × 10 <sup>5</sup> b	(2,9 ±0,2) × 10 <sup>5</sup> b	(3,4 ±0,5) × 10 <sup>5</sup> a
Kalsnava, 2008. g. stādījums Kalsnava, planted in 2008	K	(7,7 ±1,1) × 10 <sup>4</sup> a	(2,6 ±1,6) × 10 <sup>4</sup> a	-	-
	M	(1,7 ±0,7) × 10 <sup>5</sup> b	(2,4 ±0,9) × 10 <sup>5</sup> b	-	-
Kalsnava, 1989. g. stādījums Kalsnava, planted in 1989	K	(3,8 ±0,5) × 10 <sup>4</sup> a	(2,2 ±0,6) × 10 <sup>4</sup> a	(3,7 ±0,4) × 10 <sup>5</sup> a	(3,5 ±0,7) × 10 <sup>6</sup> a
	M	(7,5 ±1,2) × 10 <sup>4</sup> b	(3,4 ±1,0) × 10 <sup>4</sup> a	(3,0 ±0,3) × 10 <sup>5</sup> a	(3,7 ±0,7) × 10 <sup>6</sup> a

K – kontrole/control, M – mēslošana/fertilized. Vidējie rādītāji ar dažādiem burtiem kolonnā bija būtiski atšķirīgi eksperimentālajā vietā (*t*-Test,  $p < 0,05$ ,  $a < b$ ) / Means with different letters in a column were significantly different for experimental site (*t*-Test,  $p < 0.05$ ,  $a < b$ ).

5. tabula. Celulozi noārdošo mikroskopisko sēņu un baktēriju sastopamība eksperimentālajos parauglaukumos (uzskaites veiktas pēc Zaharova (1978) metodes 2012. un 2016. gada septembrī)

Table 5. Abundance of cellulose-degrading microscopic fungi and bacteria in experimental spruce plantings (the assessment was made in accordance with the Zakharov (1978) method in September 2012 and 2016)

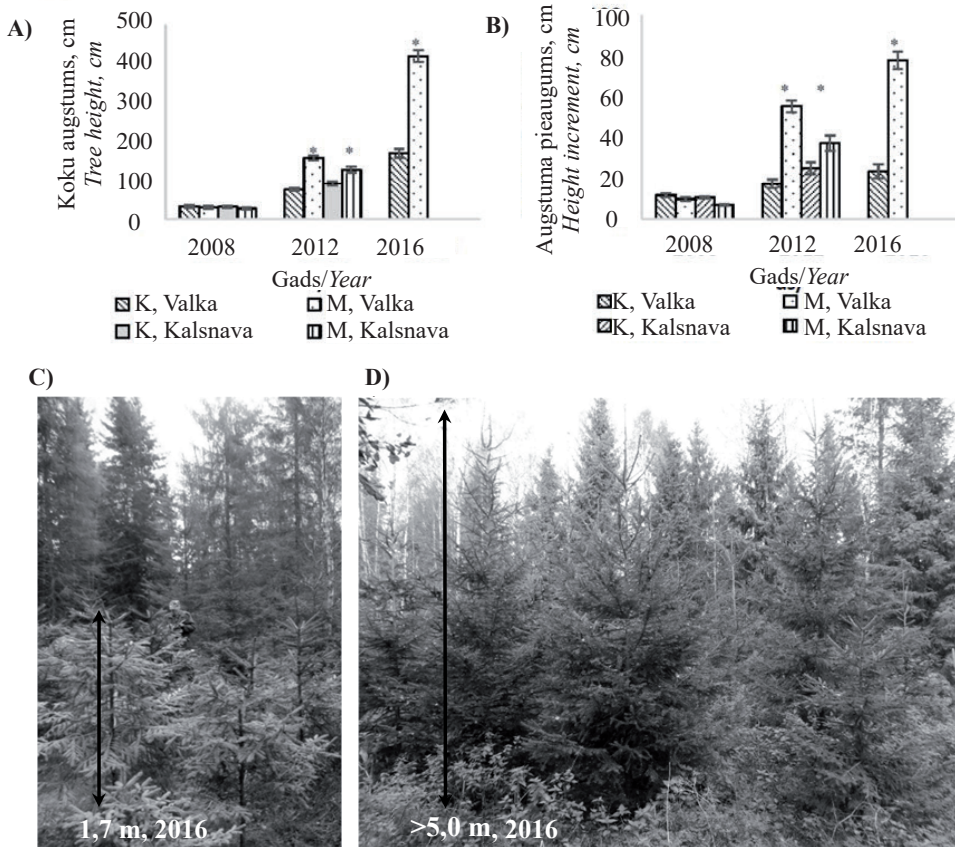
Parauglaukums Research site	Variants Treatment	Celulozi noārdošo mikroskopisko sēņu sastopamība, % Abundance of cellulose-degrading microscopic fungi, %		Celulozi noārdošo baktēriju sastopamība, % Abundance of cellulose-degrading bacteria, %	
		2012	2016	2012	2016
		Jūlijs July	Septembris September	Jūlijs July	Septembris September
Valka, 2008. g. stādījums Valka, planted in 2008	K	97,5 ±4,8	92,5 ±5,4	44,5 ±9,2	42,5 ±10,7
	M	99,5 ±1,4	99,5 ±1,4	58,9 ±10,2	64,5 ±12,4
Kalsnava, 2008. g. stādījums Kalsnava, planted in 2008	K	85,5 ±6,6	-	42,5 ±12,5	-
	M	95,5 ±5,4	-	46,0 ±12,0	-
Kalsnava, 1989. g. stādījums Kalsnava, planted in 1989	K	88,5 ±8,2	95,5 ±5,7	49,5 ±12,9	47,5 ±8,2
	M	96,0 ±5,7	100	56,4 ±12,0	58,0 ±15,7

K – kontrole/control, M – mēslošana/fertilized.

### Audzes ražības parametri

Mēslošana ar kālija magnēziju ir būtiski ietekmējusi egļu augšanu un vitalitāti. Pirmajā eksperimentā (2008. gada stādījumi) vidējais egļu augstums mēslotajā parauglaukumā ir trīs reizes, bet stumbra caurmērs pie sakņu kakla – divas reizes lielāks salīdzinājumā ar kontroli (7. att.). Savukārt 18 gadus vecā stādījumā (otrais eksperiments) uzreiz pēc mēslošanas ir sācijas straujš gadskārtu platuma pieaugums, salīdzinot ar kontroli (8. att.). Kopumā mēslošana ar kālija magnēziju veicinājusi egļu labāku augšanu: mēslotajā

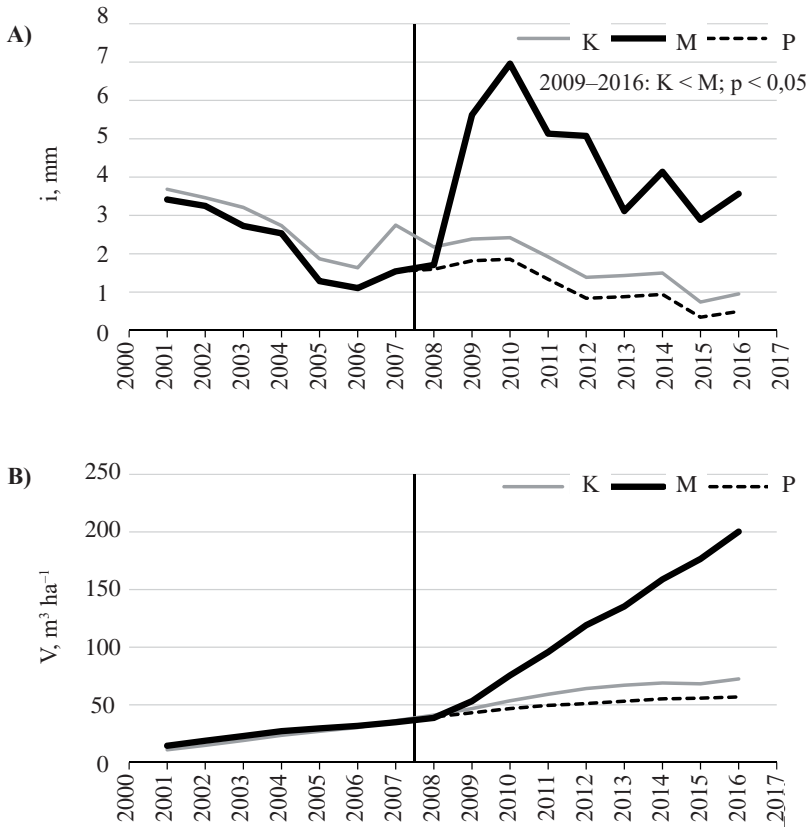
variantā konstatēts 3,5 reizes lielāks koksnes gadskārtu platums salīdzinājumā ar kontroli, 1,3 reizes lielāks stumbra caurmērs un 1,4 reizes lielāks egļu augstums (6. tab., 8. att.). Rezultātā mēslotajām eglēm krājas apjoms līdz 2016. gadam (ieskaitot) bija izveidojies par  $128 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  jeb 2,8 reizes lielāks, salīdzinot ar kontroles variantu, un par  $143 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  jeb 3,5 reizes lielāks, salīdzinot ar prognozēto koksnes krāju tai pašai mežaudzei, neveicot mēslošanu.



7. attēls. Egļu augstums (A, C, D) un augstuma pieaugums gadā (B) eksperimentālajos parauglaukumos 2008. gada stādījumā.

Figure 7. Total height (A, C, D) and annual height increment (B) of spruces in the experimental plots in the of planting 2008.

K – kontrole/control, M – mēslojums/fertilized. \* Eksperimentālajā vietā vidējie rādītāji būtiski atšķiras starp kontroli un mēslojuma parauglaukumu (*t*-Test,  $p < 0,05$ )/\* Means were significantly different between the control and fertilized plots in the experimental site (*t*-Test,  $p < 0.05$ ).



8. attēls. Koksnes pieaugums un krājas dinamika egļu eksperimentālajos parauglaukumos Kalsnavā, 1989. gada stādījumā ( $i$  – vidējais koksnes gadskārtu pieaugums (A);  $V$  – krāja (B); K – kontrole; M – mēslošana ar kālija magnēziju 2007. gada augustā un 2008. gada aprīlī; P – prognozētās taksācijas parametru vērtības egļu audzei, neveicot mēslošanu).

Figure 8. Dynamics of stem volume increment and stock volume in the spruce experimental plots in Kalsnava, planted in 1989 ( $i$  – average stem annual increment (A);  $V$  – stock volume (B); K – control; M – fertilized with potassium magnesium sulfate in August 2007 and April 2008; P – prognostic value for the spruce stand without fertilization).

6. tabula. Egļu augšanas parametru mērījumu rezultāti otrā eksperimenta parauglaukumos Kalsnavā (1989. gada stādījums)

Table 6. Measurement results of spruce growth parameters in plots at the 2<sup>nd</sup> experimental site in Kalsnava (planting 1989)

Gads Year	Parauglaukums Plot	D, cm	H, m	N, ha	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	V, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
2016	Mēslojums/ <i>Fertilized</i>	16,8	11,6	1600	36	200
	Nemēslojums/ <i>Control</i>	12,5	8,5	1300	16	72
2012	Mēslojums/ <i>Fertilized</i>	14,0	9,6	1600	24	119
	Nemēslojums/ <i>Control</i>	11,1	7,5	1600	15	64
2007	Mēslojums/ <i>Fertilized</i>	8,8	5,9	1600	10	35
	Nemēslojums/ <i>Control</i>	8,8	6,1	1600	10	36

D – vidējais caurmēris/ *average stem diameter*; H – vidējais augstums/ *average height*;

N – indivīdu skaits/ *number of individuals*; G – šķērslaukums/ *basal area*; V – krāja/ *volume*.

### Egļu vainagu stāvoklis

Mēslojamos variantos kā Valkā (pirmais eksperiments), tā Kalsnavā (otrais eksperiments), salīdzinot ar nemēslojamiem variantiem, egļu vainagi ir kupli, ar veselīgām, tumši zaļām skujujām. Atšķirības starp vainaga atmirumu un skuju zudumu vainagā (vainaga defoliāciju) un skuju dehromāciju ir statistiski ticamas (7. tab.).

Raksturīgi, ka kontroles variantā kā Valkā, tā Kalsnavā vismaz trešajai daļai egļu ir vidēji vai stipri bojāti vainagi (Valkā – 33 %, Kalsnavā – 42 %). Savukārt mēslojamos variantos nav sastopamas egles ar vidēji vai stipri izretinātu vainagu, bet trešdaļai egļu vainagu (Valkā – 36 %, Kalsnavā – 33 %) vispār nav saskatāmas bojājumu pazīmes, vainagi ir pilnīgi veseli (9. att.).

Egļu vitalitātes straujo uzlabošanu pēc mēslošanas uzskatāmi raksturo skuju iekrāsošanās pakāpe jeb skuju dehromācija. Nākamajā gadā uzreiz pēc mēslošanas egļu skuju kļuva zaļākas, dehromācijas intensitāte samazinājās. Acīmredzot mēslojamos audzēs intensificējās asimilējošie procesi, kuru efekts ir saglabājies vismaz līdz 2016. gadam.

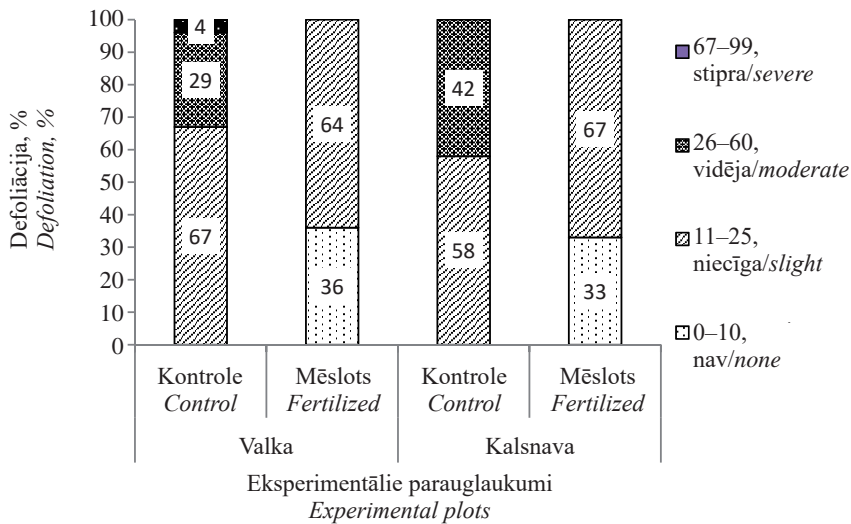
7. tabula. Egļu vainagu novērtējuma rezultāti eksperimentālajos parauglaukumos

Table 7. Results of spruce crown parameters at the experimental site

Paraug- laukums <i>Research site</i>	Atmirums <i>Dieback</i>			Defoliācija <i>Defoliation</i>			Dehromācija <i>Dechromation</i>		
	2007	2008	2016	2007	2008	2016	2007	2008	2016
1. eksperiments, 2008. g. stādījums/ <i>1<sup>st</sup> experiment, planted in 2008</i>									
Valka, K	-	5,2 ± 0,5 a*	14,8 ± 1,4 b	-	5,4 ± 0,4 a	27,3 ± 2,8 b	-	5,2 ± 0,4 a	85,4 ± 0,7 b
Valka, M	-	5,0 ± 0,4 a	7,3 ± 0,5 a	-	5,1 ± 0,3 a	14,8 ± 0,9 a	-	5,1 ± 0,4 a	5,3 ± 0,4 a
Kalsnava, K	-	5,3 ± 0,4 a	-	-	5,6 ± 0,7 a	-	-	5,3 ± 0,4 a	-
Kalsnava, M	-	5,1 ± 0,3 a	-	-	5,0 ± 0,4 a	-	-	5,4 ± 0,3 a	-
2. eksperiments, 1989. g. stādījums/ <i>2<sup>nd</sup> experiment, planted in 1989</i>									
Kalsnava, K	24,2 ± 1,9 a	24,7 ± 1,2 b	22,9 ± 1,7 b	31,4 ± 3,1 a	30,7 ± 4,5 a	29,2 ± 3,1 b	86,3 ± 7,2 a	82,7 ± 0,5 b	90,7 ± 0,7 b
Kalsnava, M	25,9 ± 1,3 a	14,7 ± 1,4 a	11,7 ± 1,5 a	33,2 ± 2,9 a	22,7 ± 3,2 a	14,7 ± 1,0 a	90,3 ± 8,4 a	5,2 ± 0,6 a	5,2 ± 0,4 a

K – kontrole/ *control*, M – mēslojums/ *fertilized*. \* Vidējie rādītāji, kas apzīmēti ar dažādiem burtiem kolonnā, bija būtiski atšķirīgi eksperimentālajā vietā starp kontroli un mēslojamo variantu (*t-Test*,  $p < 0,05$ ,  $a < b$ )/ \* Means with different letters in a column were significantly different between experimental plots of the same site (*t-Test*,  $p < 0.05$ ,  $a < b$ ).





9. attēls. Egles vainagu defoliācijas struktūra 2016. gadā eksperimentālajos parauglaukumos (Valka – 2008. gada stādījums, Kalsnava – 1989. gada stādījums).

Figure 9. Crown defoliation of Norway spruce at the experimental sites in 2016 (Valka – planting of 2008, Kalsnava – planting of 1989).

### Pārmaiņas mežaudzes augājā

Pirmajā eksperimentā Valkā, kontroles variantā, 2007. gadā uzskaitītas 18 vaskulāro augu (valdošās – sarkanā auzene *Festuca rubra*, parastā ciņusmilga *Deschampsia cespitosa*, pļavas bitene *Geum rivale*) un astoņas sūnu (valdošās – parastā spuraine *Rhytidadelphus squarrosus*, smailā skrajlape *Plagiomnium cuspidatum*) sugas. Salīdzinot ar 2007. gadu, 2016. gadā kā vaskulāro augu (24 sugas), tā sūnu (10 sugas) sugu skaits ir palielinājies, bet eksperimenta sākumā zemsedzē dominējošās sugas bija valdošās arī pēc desmit gadiem (1. pielikums). Savukārt mēslojuma variantā pirmajos gados pēc mēslošanas krasi ir palielinājies nitrofilo augstzāļu meža suņburkšķa *Anthriscus sylvestris*, meža avenes *Rubus idaeus*, lielās nātres *Urtica dioica*, šaurlapu ugunspuķes *Chamaenerion angustifolium* projektīvais segums. Pieaugot egles edifikatorloma, minēto augstzāļu sugu projektīvais segums ir samazinājies, bet joprojām šīs nitrofilās sugas lakstaugu stāvā bija valdošās arī 2016. gadā. Sūnu stāvā pēc mēslošanas krasi palielinājies skrajlapju (*Plagiomnium*) projektīvais segums.

Otrajā eksperimentā Kalsnavā, kontroles variantā, 2007. gadā konstatētas 33 vaskulāro augu (valdošās – parastā ciņusmilga, ložņu gundega *Ranunculus repens*, purva vijolīte *Viola palustris*) un 12 sūnu (valdošās – parastā kociņsūna *Climacium dendroides*, parastā spuraine, smailā skrajlape) sugas, kuras saglabā valdošās pozīcijas visu novērojumu laiku. Pēc mēslošanas 2012. gadā, tāpat kā pirmajā eksperimentā, krasi ir palielinājies lielās nātres un meža suņburkšķa segums, bet nākamajos gados, palielinoties apēnojumam (egles vainagu slēgums 2016. gadā ir 95%), augstzāļu sugu (un arī lakstaugu stāvā kopumā), projektīvais segums ir sarucis. Desmit gados pēc mēslojuma sūnu stāvā

valdošās ir skrajlapes – smailā skrajlapē un dumbra skrajlapē *Plagiomnium ellipticum* (2. pielikums).

## DISKUSIJA

Barības elementu nodrošinājuma līmenis augsnē pirms mēslošanas ir būtisks faktors, kas ietekmē mežaudzes reakciju pēc mēslošanas (Hökkä *et al.*, 2012; Moilanen *et al.*, 2015). Tā kā egļu audžu destrukcija Latvijā bieži izplatīta jau vairākus gadu desmitus, ļoti būtiski bija noskaidrot šīs problēmas cēloni un potenciālos risinājumus. Kompleksa iepriekšējā izpēte, kas sevī ietvēra gan vizuālos novērojumus, gan augsnes un egļu skuju ķīmiskās analīzes, apstiprināja būtisku minerālās barošanās disbalansu degradētajās egļu audzēs (Nollendorfs, 2007). Pielietotā augšņu analīžu metodika – visu barības elementu noteikšana 1 M HCl izvilkumā un rezultātu izteikšana tilpuma vienībās bija īpaši piemērota kūdras augsnēm un sekmīgi ļāva atklāt galvenos problēmu cēloņus. Šie pētījumi kā galvenos egļu audzi negatīvi ietekmējošos faktorus uzrādīja barības elementu K, Mg, S, Cu u. c. deficītu augsnē un attiecīgi arī egļu skujās, kā arī elementu disbalansu. Iegūtais zināšanu kopums rosina domāt, ka potenciāli perspektīvākais mēslošanas līdzeklis degradētajās egļu audzēs, kā arī nesekmīgi apstādītajās teritorijās ir kālija magnēzijs, kas vienā savienojumā satur trīs būtiskus augsnē trūkstošos makroelementus – K, Mg un S.

Mūsu veiktais eksperimentālais pētījums parādīja, ka mēslošanas rezultātā ar kālija magnēziju visos mēslošanas parauglaukumos K koncentrācija egļu skujās bija 3–4 reizes augstāka, kas būtiski pārsniedza deficīta robežlīmeni. Vēl vairāk – mēslošana uzlaboja N:K attiecību egļu skujās. Iepriekšējie pētījumi rāda, ka K ietekme uz kokiem var izpausties aptuveni 10–15 gadus pēc mēslošanas (Silfverberg & Hartman, 1999; Silfverberg & Moilanen, 2008; Moilanen *et al.*, 2015). Mūsu pētījumā pārsteidzošs bija fakts, ka, lai arī nelielas, tomēr statistiski būtiskas atšķirības augsnes nodrošinājumā ar kāliju bija konstatētas līdz pat pētījuma perioda beigām 2016. gadā. Lai gan kālija magnēzijs ir pilnībā ūdenī šķīstošs, tas šķīst lēnāk nekā citi biežāk lietotie K minerālmēsli.

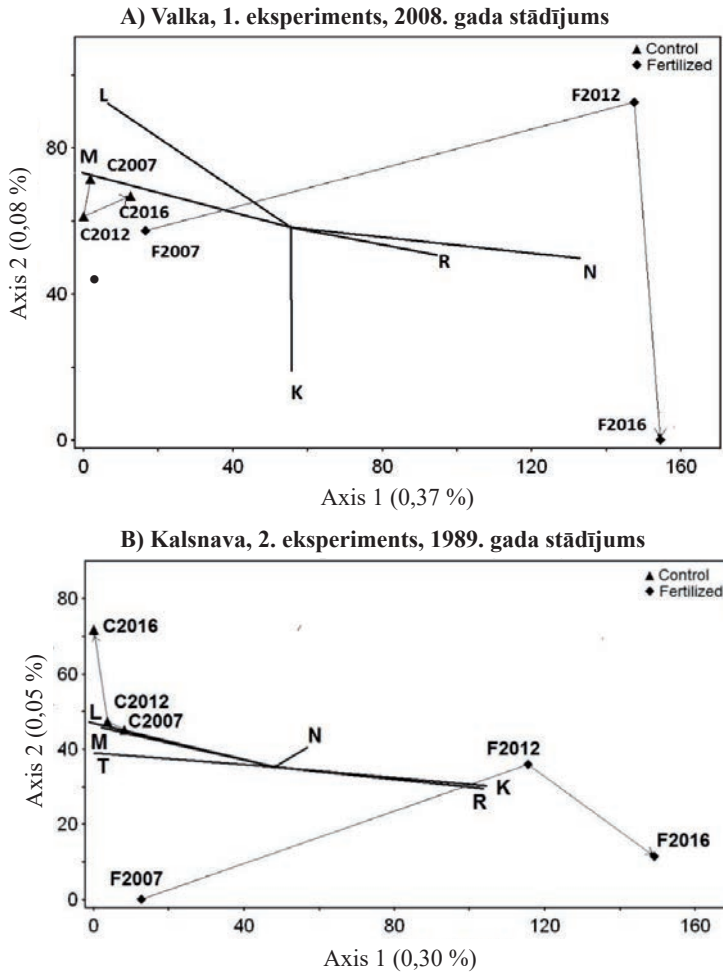
Negaidīti, bet mēslošana ar kālija magnēziju nepaaugstināja S un Mg saturu egļu skujās, egles stādījumos arī pēc mēslošanas S un Mg daudzums bija zems vai pat konstatēts minēto barības elementu deficīts. Optimāla Mg koncentrācija egļu skujās ir 0,10–0,25 % (Bergmann, 1988), bet kritisks līmenis ir 0,08–0,13 % (Mellert & Göttlein, 2012). Savukārt S saturam skujās būtu jāpārsniedz 0,15 % (Renou-Wilson & Farrel, 2007). Zemais abu minēto barības elementu saturs skujās varētu tikt skaidrots ar “atšķaidīšanas” efektu, kas radies līdz ar palielinātu koku biomasas producēšanu un šo elementu iesaisti lakstaugu stāva veģetācijas intensīvākā augšanā, kā arī barības elementu antagonismu (Ca/Mg, K/Mg).

Augsnes ķīmiskais sastāvs, piemēram, N, P, K saturs augsnē, var ietekmēt augu sugu sabiedrību sastāvu (Knecht & Göransson, 2004; Tripler *et al.*, 2006). Iegūtie rezultāti pārlicinoši pierāda, ka mēslošana ar kālija magnēziju nenoliedzami bija iemesls ķīmiskā sastāva, mikrobioloģiskās aktivitātes un augu sugu sastāva pārmaiņām nosusinātājās kūdras augsnēs. Būtisks nitrofilo augu sugu pieaugums norādīja uz bioloģiski aktīvā slāpekļa pieaugumu augsnes virskārtā, kas liecina par barības vielu aprites intensitātes

palielināšanos, ko atspoguļoja arī vides gradientu analīzes rezultāti, izmantojot Ellenberga vērtības (10. att.). Valkas parauglaukumu ordinācijā (pirmais eksperiments) ar pirmo asi (kas nosaka parauglaukumu izkārtojumu ordinācijas telpā), lielākās pozitīvās vērtības (*tau* koeficients) ir nitrofilo sugu lielās nātres (0,966), augstās skrajlapes *Plagiomnium elatum* (0,828) un meža suņburkšķa (0,690) daudzumam, kā arī augsnes reakcijas (0,467) un slāpekļa (0,759) skaitļiem. Līdzīgi arī Kalsnavā (otrais eksperiments) ar pirmo asi lielākās pozitīvās sakarības ir neitrālu un ar slāpekli bagātu augteņu – smailā skrajlape (0,900), meža suņburkšķis (0,602) – sugām un augsnes reakcijas (0,501) skaitlim. Savukārt ar pirmo asi lielākās negatīvās sakarības ir nemēsloto parauglaukumu fona sugām, Valkā – birztaļu veronikai *Veronica chamaedrys* (–0,828) un lielajai spurainei (–0,867), bet Kalsnavā – parastajai kociņsūnai (–0,966) un parastajai ciņusmilgai (–0,867). Augstāks N nodrošinājuma līmenis var palielināt augu prasības arī pēc citiem barības elementiem, tādējādi palielinot risku, ka tiks iztērētas augšanu limitējošo barības elementu rezerves.

Mēslošanas ietekme, kā rezultātā palielinājās kopējais slāpekļa saturs augsnē, bija raksturīga tikai jaunajiem jeb 2008. gada egļu stādījumiem. Kūdras augsnēs slāpekļis galvenokārt ir organiskā formā, kas nav tiešā veidā pieejams augiem un var būtiski limitēt koku augšanu (Moilanen *et al.*, 2010). Tomēr vairāki pētījumi ir parādījuši, ka daudzas augu sugas, tajā skaitā skujkoki, var uzņemt slāpekli arī no organiskiem slāpekļa avotiem (Öhlund & Näsholm, 2001). Rezultātā slāpekļa saturs egļu skujās 2008. gada stādījuma mēslotajos parauglaukumos bija diapazonā no latentā deficīta līdz normālam līmenim, kamēr vecākajām eglēm jeb 1989. gada stādījumam – deficīta līmenī. Tā kā mēslošana būtiski veicināja egļu augšanu arī otrajā eksperimentā (1989. gada stādījums), tad minētais fenomens varētu tikt skaidrots ar “atšķaidījuma” efektu, kas saistīts ar strauju biomasas pieaugumu, īpaši apstākļos ar nelielu nitrofilo augu sugu skaitu lakstaugu stāvā, ko ietekmējis vainagu slēgums.

Kālija magnēzija mēslojuma ietekme uz augsnes mikrobioloģisko sastāvu eksperimentālajos parauglaukumos tika konstatēta jau 2008. gada veģetācijas sezonas beigās. Noskaidrots, ka mēslošana palielināja maltozi izmantojošo baktēriju daudzumu, kā arī baktēriju kopējo skaitu augsnes virsējā slānī (5–10 cm dziļumā), bet neietekmēja celulozi noārdošo mikroorganismu īpatsvaru (Nepublicēti LVMI Silava Meža fitopatoloģijas un mikoloģijas grupas dati; Nollendorfs, 2008). Mūsu rezultāti labi saskan ar D. Kļaviņas un kolēģu pētījumu rezultātiem (Kļaviņa *u. c.*, 2016b), kur jaunu egļu stādījumos kūdras augsnē, kas mēsloja ar koksnes pelniem un kālija sulfātu, konstatēts būtiski augstāks mikroorganismu daudzums. O. Mutere un kolēģi (Muter *et al.*, 2015) ir konstatējuši, ka mikroorganismu daudzums smilšainā augsnē mainās dažādos attālumos no eglēm, savukārt L. Grantiņas un kolēģu (Grantina *et al.*, 2012) pētījumā secināts, ka atšķirības baktēriju un mikroskopisko sēņu kopskaitā (KVV) aktīvajā veģetācijas periodā un miera periodā nav būtiskas. Mūsu pētījumā Kalsnavas parauglaukumos, kur egles stādītas 1989. gadā, mikroorganismu daudzuma atšķirības 2016. gada vasaras un rudens paraugos varēja ietekmēt zemsedzes sugu sastāvs un koka vainaga apēnojums augsnes parauga ņemšanas punktos. Nākamajos gados, lai veiktu meža augsnes kvalitātes monitoringu, ieteicams kā augsni raksturojošu indikatoru izmantot mikrobioloģiskās biomasas noteikšanas metodi (Minova *et al.*, 2015).



10. attēls. Eksperimentālo parauglaukumu mežaudzes sugu sastāva un vides gradientu (Ellenberga ekoloģisko faktoru vērtības) ordinācija ar detrendēto korespondentanalīzi (DCA) (C – kontrole, F – mēslojs; vides faktori: L – gaisma, T – temperatūra, K – kontinentalitāte, M – mitrums, R – reakcija, N – slāpekļlis).

Figure 10. Detrended correspondence analysis (DCA) of distribution of plant and moss species composition at the Norway spruce experimental sites and gradients of ecological factors (Vectors: Ellenberg values for detected plant species: L – light, T – temperature, K – continentality, M – humidity, R – reaction, N – nitrogen)

Eksperiments ar kālija magnēziju būtiski uzlaboja egļu nodrošinājumu ar Ca un Zn, šo elementu saturs skujās mūsu pētījumā raksturojams kā egļu augšanas prasībām (Renou-Wilson *et al.*, 2007) optimāls. Vairāki pētījumi parāda, ka pastāv tieša saistība starp K, Ca un Zn nodrošinājumu un koksnes veidošanos (Barrelet *et al.*, 2006; Fromm, 2010; Guerriero *et al.*, 2014). Mūsu pētījums pārliecinoši pierādīja kālija magnēzija pozitīvo ietekmi uz koku augšanu, kā rezultātā 2009.–2016. gadā koksnes kopējā krāja otrajā mēslošanas

eksperimentā bija 2,8 reizes lielāka, salīdzinot ar kontroli, un 3,5 reizes lielāka, salīdzinot ar prognozēto koksnes krāju, tajā pašā mežaudzē, neveicot mēslošanu. Kālija magnēzija mēslojumam, salīdzinot ar koksnes pelnu, kālija hlorīda vai kālija sulfātu kūdreņos (Zālītis, 1991; Okmanis *et al.*, 2016), varētu būt lielāks audzes ražības palielināšanas efektivitātes potenciāls. Mēslojot egles audzes ar kālija sulfātu un pelniem, kur kālija deva sasniedza 62–65 kg ha<sup>-1</sup>, papildus krājas pieaugums 36–47 gadus vecām eglēm šaurlapju kūdrēnī un mētru ārenī bija 9–19 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Okmanis *et al.*, 2016). Mūsu pētījumā papildus krājas pieaugums, mēslojot ar kālija magnēziju četrus gadus (2009–2012), bija 55 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, salīdzinot ar kontroli, un 68 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, salīdzinot ar prognozēto koksnes krāju tajā pašā mežaudzē, neveicot mēslošanu. Mūsaprāt, intensīvāks krājas pieaugums, mēslojot ar kālija magnēziju, ir saistāms ar lielāku kālija devu un kālija magnēzija kompleksitāti, mazinot K, Mg un S deficītu augšanas vidē. Mēslošana ar kālija magnēziju nodrošināja egļu vainagu defoliācijas un skuju dehromācijas līmeņa samazināšanos, intensificējot fotosintēzes, barības vielu aprites, organisko vielu sintēzes u. c. fizioloģiskos procesus, tādējādi veicinot kokaudzes ražības pieaugumu.

Ar aktīvām barības vielām, sevišķi kāliju, nabadzīgu, nosusinātu kūdras augšņu mēslošana ar kālija magnēziju ir finansiāli izdevīga mežaudzes apsaimniekošanas metode. Vienkāršs ekonomisks aprēķins (minerālmēslojuma izmaksas uz hektāru un 1 m<sup>3</sup> papīrmalkas cena 2017. gadā) parāda, ka minerālmēsli lietošana atmaksātos nepilnos četros gados.

Ne noliedzami, mēslošanas rezultāti var būt atkarīgi no vairākiem faktoriem, piemēram, audzes vecuma, sākotnējā nodrošinājuma ar barības elementiem, mēslojuma veida un devas, koku blīvuma, mikroklimata u. c. faktoriem. Turklāt būtisks aspekts ir arī mēslojuma ietekme uz veģētāciju, augsnes ekoloģiskajiem procesiem, sakņu mikorizas attīstību, pārmaiņām augsnes ķīmiskajā sastāvā, barības vielu aprītē, kas kopumā “nemeža” augsni pārvērs par meža augsni, kur veiksmīgi un produktīvi var attīstīties egļu audze. Tāpēc mēslošanas režīma izstrāde un optimizācija ir nozīmīgs pasākums meža apsaimniekošanā, lai nodrošinātu koku vajadzības pēc barības vielām, palielinātu audzes ražību un atrastu līdzsvaru starp ekonomiskajiem, ekoloģiskajiem un sociālajiem aspektiem. Līdz ar to nākotnē nepieciešams veikt tālākus pētījumus un papildus eksperimentus ar dažādām kālija magnēzija devām atšķirīgos meža augšanas apstākļos. Piemērota mēslošanas līdzekļa izvēle, kas balstās uz kompleksu problēmteritorijas analītisko izpēti, veicot atbilstošas augsnes un augu analīzes, pareiza tā lietošana precīzās devās ir izšķiroša, lai izvairītos no augsnes un gruntsūdens piesārņojuma, kā arī neradītu citu barības elementu disbalansu.

## PATEICĪBAS

Pētījums veikts 2007.–2008. gadā ar Meža attīstības fonda finansiālu atbalstu: pētījums “Egļu audžu panīkuma un sabrukšanas cēloņu noskaidrošana, to samazināšanas iespējamie pasākumi” (līgums Nr. 300408/S128), un 2016.–2017. gadā ar Latvijas Universitātes bāzes un snieguma finansētā projekta “Ekoloģija un bioloģiskā daudzveidība” apakšprojekta

“Dzīvo organismu bioloģiskie pētījumi pilsētas, lauku un ūdens ekosistēmās” finansiālu atbalstu (projekta Nr. AAP2016/B034, ZD2015/AZ81). Autori pateicas Dr. biol. Līgai Strazdiņai par nepazīstamo sūnu sugu noteikšanu.

## LITERATŪRA

- Alef, K., and Nannipiri, P. (eds.), 1988. *Methods in Applied Soil Microbiology*. Elsevier, pp. 20–100.
- Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*, 2000. PerkinElmer Instruments LLC.
- Barrelet, T., Ulrich, A., Rennenberg, H., and Kraehenbühl, U., 2006. Seasonal profiles of sulphur, phosphorus, and potassium in Norway spruce wood. *Plant Biology* 8: 462–469.
- Bergh, J., Nilsson, U., Grip, H., Hedwall, P.-O., and Lundmark, T., 2008. Effects of frequency of fertilisation on production, foliar chemistry and nutrient leaching in young Norway spruce stands in Sweden. *Silva Fennica* 42(5): 721–733.
- Bergmann, W., 1988. *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Błońska, E., Małek, S., Januszek, K., Barszcz, J., and Wanic, T., 2015. Changes in forest soil properties and spruce stands characteristics after dolomite, magnesite and serpentinite fertilization. *European Journal of Forest Research* 134: 981–990.
- Caisse, G., Boudreau, S., Munson, A.D., and Rochefort, L., 2008. Fertiliser addition is important for tree growth on cut-over peatlands in eastern Canada. *Mires and Peat* 3: 1–15.
- Cekstere, G., and Osvalde, A., 2013. A study of chemical characteristics of soil in relation to street trees status in Riga (Latvia). *Urban Forestry and Urban Greening* 12(1): 69–78.
- Čekstere, G., Osvalde, A., and Laiviņš, M., 2016. Mineral nutrition of young ash in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B* 70(3): 138–149.
- Dierschke, H., 1994. *Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., and Paulissen, D., 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropas. *Scripta Geobotanica* 18: 1–258.
- Finér, L., 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. *Acta Forestalia Fennica* 208: 63 p.
- Fromm, J., 2010. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. *Tree Physiology* 30(9): 1140–1147.
- Grantina, L., Bondare, G., Janberga, A., Tabors, G., Kasparinskis, R., Nikolajeva, V., and Muiznieks, I., 2012. Monitoring seasonal changes in microbial populations of spruce forest soil of the Northern Temperate zone. *Estonian Journal of Ecology* 61: 190–214.

- Guerriero, G., Sergeant, K., and Hausman, J.-F., 2014. Wood biosynthesis and typologies: a molecular rhapsody. *Tree Physiology* 34: 839–855.
- Hoosbeek, M.R., van Breemen, N., Vasander, H., Buttler, A., and Berendse, F., 2002. Potassium limits potential growth of bog vegetation under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and N deposition. *Global Change Biology* 8: 1130–1138.
- Hökkä, H., Repola, J., and Moilanen, M., 2012. Modelling volume growth response of young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands to N, P, and K fertilization in drained peatland sites in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 42(7): 1359–1370.
- Jansons, Ā., Matisons, R., Krišāns, O., Džeriņa, B., and Zeps, M., 2016. Effect of initial fertilization on 34-year increment and wood properties of Norway spruce in Latvia. *Silva Fennica* 50(1), article ID 1346.
- Klavina, D., Pennanen, T., Gaitnieks, T., Velmala, S., Lazdins, A., Lazdina, D., and Menkis, A., 2016a. The ectomycorrhizal community of conifer stands on peat soils 12 years after fertilization with wood ash. *Mycorrhiza* 26: 153–160.
- Kļaviņa, D., Lazdiņš, A., Bārdule, A., Nikolajeva, V., Okmanis, M., Skrandā, I., Gaitnieks, T., and Menkis, A., 2016b. Fine root development and mycorrhization in Norway spruce stands one year after fertilization with potassium sulphate and wood ash. *Journal of Forest Science* 62(1): 17–23.
- Knecht, M.F., and Göransson, A., 2004. Terrestrial plants require nutrients in similar proportions. *Tree Physiology* 24: 447–460.
- Laiho, R., and Laine, ., 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 218–224.
- Lībiete, Z., and Zālītis, P., 2007. Determining the growth potential for even-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Baltic Forestry* 13: 2–9.
- Libiete, Z., Bardule, A., and Lupikis, A., 2016. Long-term effect of spruce bark ash fertilization on soil properties and tree biomass increment in a mixed scots pine-Norway spruce stand on drained organic soil. *Agronomy Research* 14(2): 495–512.
- Liepa, I., 1996. *Pieauguma mācība*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- McCune, B., and Grace, J.B., 2002. *Analysis of Ecological Communities*. Glenden Beach, Oregon: MjM Software Design.
- Mellert, K.H., and Göttlein, A., 2012. Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research* 131: 1461–1472.
- Minova, S., Jankevica, L., Salmane, I., and Čekstere, G., 2015. Preliminary studies on microbial biomass and the microarthropod community as soil health and quality indicators in urban grasslands, Rīga as an example. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Natural Exact and Applied Sciences* 69(3): 140–144.
- Moilanen, M., Saarinen, M., and Silfverberg, K., 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44: 583–601.
- Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H., and Ahtikoski, A., 2015. Fertilization increased

- growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland. *Silva Fennica* 49(3): article ID 1301.
- Möttönen, M., Lehto, T., Rita, H., and Aphalo, P.J., 2005. Recovery of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings from repeated drought as affected by boron nutrition. *Trees* 19: 213–223.
- Muter, O., Kasparinskis, R., Grantina-Ievina, L., Ševčuka, A., Afanasjeva, K., Brumelis, G., and Nikodemus, O., 2015. Characterization of the changes in physicochemical and microbiological properties of sandy soil under individual *Picea abies* L. trees on former agricultural lands. In: Truu, J., and Kalnenieks, U. (eds.) *Soil ecosystem health and management of contaminated sites*. Tartu: University of Tartu Press, pp. 22–45.
- Nilsen, P., and Abrahamsen, G., 2003. Scots pine and Norway spruce stands responses to annual N, P and Mg fertilization. *Forest Ecology and Management* 174: 221–232.
- Nollendorfs, V., 2008. *Egļu audžu panīkuma un sabrukšanas cēloņu noskaidrošana, to samazināšanas iespējamie pasākumi*. MAF, projekta atskaite, līgums Nr. 300408/S128, Salaspils: LVMI Silava.
- Okmanis, M., Skranda, I., Lazdiņš, A., and Lazdiņa, D., 2016. Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil. *Research for Rural Development* 2: 62–68.
- Osvalde, A., 1996. *Smagie metāli – Pb, Hg, Ni, Sn – bioloģiskajos objektos Latvijā un to toksiskuma mazināšana, regulējot augu barošanas*. Disertācijas kopsavilkums. Rīga: Latvijas Universitāte.
- Öhlund, J., and Näsholm, T., 2001. Growth of conifer seedlings on organic and inorganic nitrogen sources. *Tree Physiology* 21: 1319–1326.
- Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (eds.), 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Wisconsin.
- Renou-Wilson, F., and Farelli, E.P., 2007. The use of foliage and soil information for managing the nutrition of Sitka and Norway spruce on cutaway peatlands. *Silva Fennica* 41(3): 409–424.
- Saarsalmi, A., Tamminen, P., and Kukkola, M., 2014. Effects of long-term fertilisation on soil properties in Scots pine and Norway spruce stands. *Silva Fennica* 48(1): article ID 989.
- Saarsalmi, A., and Mälkönen, E., 2001. Forest fertilization research in Finland: A literature review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16(6): 514–535.
- Saarsalmi, A., and Tamminen, P., 2005. Boron, phosphorus and nitrogen fertilization in Norway spruce stands suffering from growth disturbances. *Silva Fennica* 39(3): 351–364, article ID 373.
- Sarkkola, S., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M., Laiho, R., Laurén, A., Finér, L., and Nieminen, M., 2016. Should harvest residues be left on site in peatland forests to decrease the risk of potassium depletion? *Forest Ecology and Management* 374: 136–145.



- Schomaker, M.E., Zarnoch, S.J., Bechtold, W.A., Latell, J., Burkman, W.G., and Cox, S. M., 2007. *Crown-Condition Classification: A Guide to Data Collection and Analysis. General Technical Report SRS-102*. Asheville NC, US Department of Agriculture. Forest service. Southern Research Station: I+VIII, 78 p.
- Silfverberg, K., and Hartman, M., 1999. Effects of different phosphorus fertilisers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. *Silva Fennica* 33(3): 187–206.
- Silfverberg, K., and Moilanen, M., 2008. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland. *Suo – Mires and Peat* 59(3): 71–88.
- Tripler, C.E., Kaushal, S.S., Likens, G.E., and Walter, M.T., 2006. Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. *Ecology Letters* 9: 451–466.
- UN/ECE, 2006. *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. Part II Visual Assessment of Crown Condition*. Hamburg and Prague.
- Valsts meža dienests, 2016. *Meža statistikas CD*. Valsts meža dienests: <http://www.vmd.gov.lv/valsts-meza-dienests/statiskas-lapas/publikacijas-un-statistika/meza-statistikas-cd?nid=1809#jump>, skatīts 10.08.2017.
- Zālītis, P., 1991. Potenciāli bagāto, pagaidām mazražīgo nosusināto zāļu purvu mežsaimnieciskā apgūšana. *Jaunākais Mežsaimniecībā* 33: 54–60.
- Zālītis, P., 2006. *Mežkopības priekšnosacījumi*. Rīga: et cetera.
- Zālītis, P., un Lībiete, Z., 2004. Egļu jaunaudžu augšanas gaitas savdabības āreņos un kūdreņos. *Mežzinātne* 13: 21–36.
- Zālītis, P., un Lībiete, Z., 2005. Egļu jaunaudžu augšanas potenciāls. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti* 14: 83–93.
- Ринькис, Г.Я., Рамане, Х.К., и Куницкая, Т.А., 1987. *Методы анализа почв и растений*. Рига: Зинатне.
- Захаров, И.С., 1978. *Образование гумусовых веществ целлюлозоразрушающими микроорганизмами*. Кишинев: ЦТТИИИЦА.

## NORWAY SPRUCE PLANTINGS ON LOW-FERTILITY FOREST SOILS: FERTILIZATION EXPERIMENT WITH POTASSIUM MAGNESIUM SULFATE

Gunta Čekstere, Anita Osvalde, Vilnis Nollendorfs, Jolanta Pormale,  
Andis Karlsons, Guntars Šnepsts, Pēteris Zālītis, Gunta Dudele,  
Līga Jankevica, Sandra Minova, Māris Laiviņš

### Summary

In Latvia, Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is often used for afforestation of drained peat soils. Spruce stands, established on organic soils, including drained conditions, outside forest land frequently have low productivity. At the same time, decrease in vitality and productivity and even dieback are often observed in initially very productive 30–40 years old spruce monocultures. The investigations indicate that the low vitality and destruction of spruce stands are closely related with nutrient status in soil. The aim of our study was to elucidate the impact of potassium magnesium sulfate on spruce stand on peat soils by evaluating: (1) growth intensity and productivity of spruce; (2) health status of spruce individuals; (3) changes in composition of vascular plant and moss species; (4) nutrient accumulation in soil-plant system. Thereby, two experimental sites were established in 2007 and studied until 2016. The first experimental site was established in Valka and in Kalsnava in order to assess the impact of fertilization with potassium magnesium sulfate on a young spruce planting (planted in 2008). The second experimental site was established in Kalsnava to assess the impact of fertilization on the development and productivity of a spruce stand planted in 1989. The results of the experiment revealed that the fertilization with potassium magnesium sulfate in 2007 and 2008 significantly improved spruce mineral nutrition not only with K, but also Ca, Zn, and N. Also significant improvements in crown vitality and stand productivity were observed during the research period. The fertilization with potassium magnesium sulfate caused increase in the amount of cultivable bacteria and microscopic fungi, but did not affect the abundance of cellulose-degrading microorganisms. Significant changes in the composition of vascular plant species, specially increase in nitrophilous species, e.g. *Urtica dioica*, *Anthriscus sylvestris*, *Rubus idaeus*, as well as moss species *Plagiomnium cuspidatum* and *P. ellicpticum* were also recorded.

Key words: *Picea abies*, mineral nutrients, *Myrtillosa turf. mel.*, stand productivity, stand vitality, dynamic of species composition.

1. pielikums. Sugu sastāva dinamika pirmā eksperimenta parauglaukumos  
Appendix 1. Dynamic of species composition at the first experimental site

Audzes stāvs/ Stand layer Suga/ Species	Kontrole Control			Mēslosts Fertilized		
	2007	2012	2016	2007	2012	2016
<i>Picea abies</i> slēgums, % Cover of <i>Picea abies</i> , %	1	4	5	2	10	32
Krūmu stāva slēgums, % Cover of shrub layer, %	.	5	5	.	1	1
<i>Frangula alnus</i>	.	1	+*	.	+	+
<i>Salix cinerea</i>	.	.	.	.	+	+
Lakstaugu stāva segums, % Cover of herb layer, %	75	82	80	70	99	95
<i>Agrostis canina</i>	6	10	5	+	2	10
<i>Agrostis stolonifera</i>	.	.	+	2	1	5
<i>Agrostis tenuis</i>	.	.	.	1	.	.
<i>Anthriscus sylvestris</i>	1	2	7	5	40	12
<i>Betula pubescens</i>	.	.	.	1	.	.
<i>Calamagrostis canescens</i>	3	2	+	.	1	+
<i>Carex echinata</i>	5	3	+	.	.	1
<i>Carex nigra</i>	1	1	2	3	.	.
<i>Cardamine pratensis</i>	.	.	.	+	.	.
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	.	.	.	.	8	5
<i>Cirsium palustre</i>	+	.	.	.	.	.
<i>Deschampsia cespitosa</i>	11	10	7	2	+	.
<i>Dryopteris carthusiana</i>	.	.	1	.	.	.
<i>Dryopteris cristata</i>	.	.	.	+	.	.
<i>Equisetum arvensis</i>	.	.	.	.	.	1
<i>Equisetum pratense</i>	.	.	.	.	+	.
<i>Festuca rubra</i>	30	25	15	14	7	2
<i>Filipendula ulmaria</i>	.	.	4	2	12	10
<i>Galeopsis tetrahit</i>	.	.	.	.	5	2
<i>Galium album</i>	8	9	3	2	7	8
<i>Galium boreale</i>	.	.	+	+	+	2
<i>Geum rivale</i>	8	10	9	10	12	20
<i>Melampyrum polonicum</i>	.	.	4	1	.	.
<i>Melampyrum pratensis</i>	+	.	.	.	.	.
<i>Moehringia trinervia</i>	.	.	.	.	2	+
<i>Myosotis palustris</i>	.	.	.	.	+	.
<i>Oxalis acetosella</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Paris quadrifolia</i>	.	.	.	.	1	2
<i>Picea abies</i>	.	.	1	.	1	1
<i>Poa pratensis</i>	.	.	.	.	3	1
<i>Poa trivialis</i>	+	+	.	+	2	.
<i>Quercus robur</i>	.	.	+	.	.	.

Audzes stāvs/ <i>Stand layer</i> Suga/ <i>Species</i>	Kontrole <i>Control</i>			Mēslois <i>Fertilized</i>		
	2007	2012	2016	2007	2012	2016
<i>Ranunculus acris</i>	.	.	.	.	3	+
<i>Ranunculus repens</i>	1	3	5	1	8	+
<i>Rubus idaeus</i>	.	1	+	.	8	3
<i>Rumex acetosa</i>	.	.	.	3	.	+
<i>Stellaria media</i>	.	.	.	.	3	+
<i>Trientalis europaea</i>	+	+	.	.	.	.
<i>Urtica dioica</i>	2	3	1	2	10	22
<i>Veronica chamaedrys</i>	1	1	3	4	6	1
<i>Veronica longifolia</i>	.	.	1	.	.	.
<i>Viola canina</i>	.	.	.	+	.	.
<i>Viola palustris</i>	.	+	.	.	.	.
<i>Viola tricolor</i>	1	2	2	1	.	.
Sūnu stāva segums, % <i>Cover of moss layer, %</i>	53	54	56	51	67	90
<i>Aulacomnium palustre</i>	1	3	4	+	.	.
<i>Brachytecium oedipodium</i>	1	5	7	3	15	18
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	.	.	.	.	10	6
<i>Climacium dendroides</i>	12	15	12	14	3	4
<i>Hylocomium splendens</i>	.	1	1	.	1	4
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	5	5	6	3	16	30
<i>Plagiomnium ellipticum</i>	4	2	3	4	7	16
<i>Plagiomnium undulatum</i>	.	.	.	.	12	10
<i>Pleurozium schreberi</i>	.	+	+	+	.	.
<i>Polytrichum commune</i>	2	1	4	.	1	2
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	21	20	15	25	2	1
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	7	2	3	+	.	.

\* sugas slēgums/segums ir mazāks par 1 %/ *cover of species < 1 %*.

2. pielikums. Sugu sastāva dinamika otrā eksperimenta parauglaukumos  
Appendix 2. Dynamic of species composition at the second experimental site

Audzes stāvs/ Stand layer Suga/ Species	Kontrole Control			Mēslosts Fertilized		
	2007	2012	2016	2007	2012	2016
<i>Picea abies</i> slēgums, % Cover of <i>Picea abies</i> , %	22	21	22	26	66	95
Krūmu stāva slēgums, % Cover of shrub layer, %	2	3	5	1	1	1
<i>Frangula alnus</i>	2	3	5	1	+	+
<i>Salix cinerea</i>	.	.	.	.	.	+
Lakstaugu stāva segums, % Cover of herb layer, %	80	75	85	85	90	35
<i>Agrostis canina</i>	+	+	.	3	.	.
<i>Agrostis stolonifera</i>	2	1	2	+	7	1
<i>Anthriscus sylvestris</i>	.	.	.	.	12	+
<i>Athyrium filix-femina</i>	.	.	+	.	1	+
<i>Betula pubescens</i>	2	1	1	+	.	.
<i>Calamagrostis canescens</i>	5	4	7	3	3	2
<i>Carex echinata</i>	+	.	.	1	.	.
<i>Carex nigra</i>	2	3	1	1	.	.
<i>Cardamine pratensis</i>	+	+	.	2	.	+
<i>Chamerion angustifolium</i>	.	.	+	.	3	+
<i>Cirsium palustre</i>	1	+	1	1	.	.
<i>Comarum palustre</i>	+	+	+	2	.	.
<i>Deschampsia cespitosa</i>	8	12	14	10	7	6
<i>Dryopteris carthusiana</i>	+	+	+	1	+	3
<i>Dryopteris cristata</i>	+	+	+	+	.	+
<i>Equisetum palustre</i>	+	+	+	.	.	.
<i>Equisetum pratense</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Filipendula ulmaria</i>	.	+	+	.	.	.
<i>Galeopsis tetrahit</i>	+	.	1	1	.	+
<i>Galium album</i>	+	1	1	2	2	.
<i>Geum rivale</i>	5	3	3	3	7	2
<i>Moehringia trinervia</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Myosotis palustris</i>	3	4	2	5	.	.
<i>Oxalis acetosella</i>	+	+	+	+	.	.
<i>Paris quadrifolia</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Poa palustris</i>	1	.	+	+	.	.
<i>Poa trivialis</i>	+	+	+	+	1	.
<i>Ranunculus acris</i>	2	1	3	3	3	1
<i>Ranunculus auricomus</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Ranunculus repens</i>	12	15	13	15	8	5
<i>Rubus idaeus</i>	4	5	7	3	10	.
<i>Rumex acetosa</i>	2	3	3	+	.	+

Audzes stāvs/ <i>Stand layer</i> Suga/ <i>Species</i>	Kontrole <i>Control</i>			Mēslois <i>Fertilized</i>		
	2007	2012	2016	2007	2012	2016
<i>Scutellaria galericulata</i>	1	+	1	1	.	.
<i>Stellaria media</i>	.	.	.	.	.	+
<i>Stellaria palustris</i>	+	1	+	+	+	+
<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	+	.	.	.
<i>Trientalis europaea</i>	+	.	.	1	.	1
<i>Urtica dioica</i>	8	8	12	10	21	2
<i>Valeriana officinalis</i>	2	+	.	2	.	1
<i>Veronica chamaedrys</i>	2	2	3	3	5	1
<i>Viola palustris</i>	12	11	10	14	8	5
Sūnu stāva segums, % <i>Cover of moss layer, %</i>	68	67	75	71	62	60
<i>Aulacomnium palustre</i>	1	.	+	2	.	.
<i>Brachytecium oedipodium</i>	2	1	1	+	3	8
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	1	1	+	3	5	3
<i>Climacium dendroides</i>	25	25	30	21	5	1
<i>Dicranum polysetum</i>	7	5	8	3	2	.
<i>Hylocomium splendens</i>	+	1	+	.	.	.
<i>Plagiomnium affine</i>	.	.	.	.	.	1
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	12	10	8	16	25	30
<i>Plagiomnium ellipticum</i>	2	5	5	4	14	10
<i>Plagiomnium undulatum</i>	1	+	.	.	10	7
<i>Pleurozium schreberi</i>	+	.	1	.	.	.
<i>Polytrichum commune</i>	.	.	.	+	.	+
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	16	18	20	21	+	+
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	+	.	.	.	.	.

\* sugas slēgums/segums ir mazāks par 1 %/ *cover of species < 1 %*.