

KOKSNES PELNU IZKLIEDĒŠANAS IETEKME UZ IKGADĒJO PIEAUGUMU ATKARĪBĀ NO KOKSNES PELNU IZKLIEDĒŠANAS VIENMĒRĪGUMA

TOMS KALVIS

ATSKAITE PAR PAVEIKTO ĪSTEMIŅA ZINĀTNISKĀS MISIJAS LAIKĀ.

Kopsavilkums

Koksnes pelnus ir iespējams izmantot meža mēslošanā, lai uzlabotu koku augšanas apstākļus un palielinātu to radiālo pieaugumu. Šāda veida mēslošana daļēji atrisinātu koksnes pelnu utilizācijas problēmu, atgriežot tos atpakaļ dabā. Pašlaik vislabākie rezultāti mēslošanā ar koksnes pelniem ir sasniegti audzēs uz susinātām kūdras un minerālaugsnēm. Šī pētījuma mērķis ir noskaidrot, cik tālu no koksnes pelnu mēslojuma vietas saglabājas ietekme uz koku augšanu. Eksperiments ierīkots trijās vidēja vecuma parastās egles audzēs uz susinātām augsnēm šaurlapju kūdrēnī (*Myrtillosa turf. mel.*) un šaurlapju ārenī (*Myrtillosa mel.*). Katrā audzē tika ierīkoti deviņi sistemātiski izvietoti kvadrātveida parauglaukumi (400 m², 20×20 m) ar 11 m platu buferzonu ap tiem. Visiem kokiem parauglaukumos tika izmērīts caurmērs kā arī katrā parauglaukumā 10 kokiem tika noteikts augstums. Piecus gadus pēc pelnu izkļiedes tika ievākti koku urbumi un aprēķināti vidējie ikgadējie radiālie un krājas papildpieaugumi, kas variē no 1 m³ ha⁻¹ līdz 3 m³ ha⁻¹ gadā. Analizējot pelnu ietekmi 10 m zonā ārpus pelnu izkļiedes parauglaukumiem, būtisks ($t = 4.68 > t_{0.05;37} = 1.69$) un pozitīvs kumulatīvais radiālais papildpieaugums novērots tikai vienā no audzēm, kas varētu būt izskaidrojams ar augu barības elementu noskalošanos vai koku sakņu izplatību.

Atslēgvārdi: koksnes pelni, augsnes ielabošana, koksnes papildpieaugums.

Ievads

Koksnes un koksnes produktu patēriņš pieaug ik gadu un Latvijā pēc saražotās enerģijas ieņem pirmo vietu starp atjaunojamiem energoresursiem kā arī ir otrajā vietā kopējā Latvijas energobilancē uzreiz aiz naftas produktiem. Līdz ar pieaugošu biomasas patēriņu ir jādomā par intensīvāku meža produkcijas ražošanas apjomu kāpināšanu. Koksnes pieaugumu ir iespējams kāpināt ar savlaicīgām kopšanas cirtēm, melorāciju un citiem mežsaimnieciskiem pasākumiem, taču audžu produktivitāti vēl vairāk var palielināt ar meža mēslošanu (Hedwall, Gong, Ingerslev, & Bergh, 2014; Lazdins, 2014; Moilanen, Hytönen, Hökkä, & Ahtikoski, 2015). Līdz ar pieaugošu biomasas patēriņu enerģētikā palielinās saražoto pelnu apjomi, kuru alternatīvai utilizācijai tiek pievērsta aizvien lielāka uzmanība. Koksnes pelni ir efektīvs mēslošanas līdzeklis tā kā satur gandrīz visus makro un mikro elementus, no kuriem svarīgākie ir kalcijs, kālijs, fosfors, magnijs (Werkelin, Skrifvars, & Hupa, 2005; Werkelin, Skrifvars, Zevenhoven, Holmbom, & Hupa, 2010; Modris Okmanis, Lazdiņa, & Lazdiņš, 2015), kas attiecīgos meža tipos, kuros ir novērojams šo elementu deficīts, sniedz pozitīvu ietekmi uz augošajiem kokiem (Lazdiņš, Miezīte, & Bārdule, 2011; Ermane, Bardule, Balcerbule, & Gigele, 2012; M. Okmanis, Skrandā, Lazdiņš, & Lazdiņa, 2016). Līdz šim pelnu izkļiedes pētījumi veikti dažādos meža tipos visā pasaulē, tomēr labākie rezultāti novēroti audzēs uz susinātām kūdras un minerālaugsnēm, kur nereti novērojams biogēno elementu trūkums.

Pastāv dažādi mehānizētas izkļiedes veidi – mašīnizēta izkļiede, pārvietojoties pa tehnoloģiskajiem koridoriem, maza izmēra tehnikas pārvietošanās starp kokiem, aerāla izkļiede ar aviācijas tehniku u.c. Tomēr visos gadījumos vienmērīgu mēslojuma izkļiedi vairāk vai mazāk apgrūtina dažādi faktori - nelīdzens reljefs, mitras ieplakas, augoši koki u.c. Pelni atsitas pret augošu koku stumbriem un neizkļiedējas vienmērīgi, tādēļ izveidojās situācijas, kurās atsevišķās vietās audzē koksnes pelni ir vairāk koncentrēti nekā citās. Šo iemeslu dēļ ir svarīgi noskaidrot vai ir nepieciešams uzlabot izkļiedes tehnoloģijas, kas nodrošinātu vienmērīgu pelnu izkļiedi audzē, vai tomēr pietiek ar regulāru zonu noklāšanu noteiktos attālumos, lai saglabātu pozitīvo pelnu ietekmi visā audzes teritorijā. Šī pētījuma mērķis ir noskaidrot, cik tālu no mēslojuma vietas saglabājas ietekme uz koku augšanu.

Materiali un metodes

Eksperiments ierīkots trijās vidēja vecuma parastās egles audzēs uz susinātām augsnēm šaurlapju kūdrēnī (*Myrtillosa turf. mel.*) un šaurlapju ārenī (*Myrtillosa mel.*). Objektu atrašanās vietas un to raksturojošos parametrus iespējams aplūkot 1.tabulā. 2011. gada vasarā katrā audzē tika ierīkoti deviņi sistemātiski izvietoti kvadrātveida parauglaukumi (400 m², 20×20 m) ar 11 m platu buferzonu ap tiem. Visiem kokiem parauglaukumos tika izmērīts caurmērs 1,3 m augstumā ar 1 mm precizitāti kā arī katrā parauglaukumā 10 kokiem tika noteikts augstums ar 0,1 m precizitāti.

1. tabula

Objektu novietojums un raksturojošie parametri

Objekts	Meža tips	Vecums	X	Y	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	V, m ³ ha ⁻¹
16-10	Ks	47	56° 51' 25"	23° 40' 45"	23.28±0.5	18.6±0.19	16.05±0.11	144.26±0.95
17-7	Ks	43	56° 51' 32"	23° 41' 23"	26.03±0.53	19.33±0.15	23.31±0.07	209.5±0.62
41-14	As	36	23° 27' 35"	23° 27' 35"	22.03±0.6	18.34±0.19	18.15±0.07	164.44±0.61

2011. gada jūnijā katrā audzē trijos parauglaukumos tika izkliedēti koksnes pelni (P, deva 2,5 t ha⁻¹) un kālija sulfāts (M), bet atlikušie trīs parauglaukumi netika apstrādāti, atstājot tos kā kontroles parauglaukumus (K). Izkliedējot 2.5 t ha⁻¹ koksnes pelnus, augsnē ienesti 65 kg ha⁻¹ kālija, bet papildus tam pelni satur arī citus mikro un makro elementus (2. tabula).

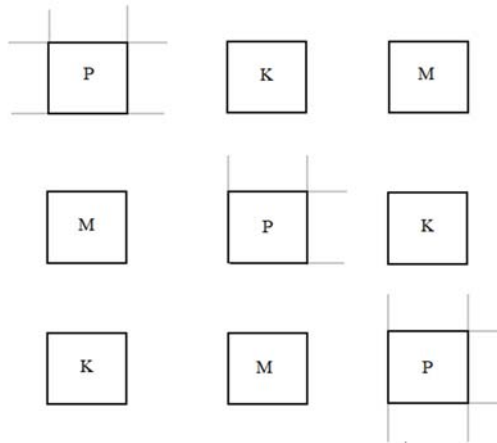
2.tabula

Biogēno elementu saturs pelnos un ienestā deva

Elements	Saturs, g kg ⁻¹	Deva kg ha ⁻¹
P	10.9	27.3
K	26.0	65.0
Ca	224.8	562.0
Mg	30.9	77.3
Mn	3.1	7.8

2017. gada augustā visos K un P parauglaukumos, izmantojot Preslera svārpstu, tika ievākti desmit koku urbumi 1.3 m augstumā virs sakņu kakla. Urbumi tika ievākti arī no kokiem ap parauglaukumiem, kur ienesti koksnes pelni (10 – 20 urbumi atkarībā no koku skaita). Urbumi ārpus parauglaukuma tika vākti no kokiem, kas atradās starp P un K laukumiem un pa eksperimenta perimetru līdz 10 m attālumā no P laukumiem, lai izslēgtu kālija sulfāta mēslojuma (M) iespējamo ietekmi (1. att.). Ārpus parauglaukuma kokiem izmērīts attālums līdz pelnu parauglaukumam. Kopumā pētījuma ietvaros tika ievākti 364 urbumi. Koksnes serdeņi tika pielīmēti pie koka pamatnes un noslīpēti, lai pēc iespējas skaidrāk redzētu apstrādājamā parauga gadskārtas. Sagatavotie paraugi tika noskenēti ar augstas izšķirtspējas skeneri Epson Expression 10000 XL. Ar programmas WinDENDRO palīdzību veikti gadskārtu mērījumi ar 0,001 mm precizitāti.

Visām audzēm aprēķināti dendrometriskie rādītāji – vidējā koka caurmērs un augstums, audzes šķērslaukums un krāja. Vidējie radiālie pieaugumi aprēķināti pēdējiem 17 gadiem (izņemot 2017 gada pieaugumu, kuram nav izveidojies vēlinās koksnes pieaugums), no kuriem 12 gadu pieaugumi ataino koku augšanas gaitu retrospekcijā, bet pēdējie 5 gadi uzrāda pieauguma izmaiņas pēc koksnes pelnu izkliedēšanas. Lai noskaidrotu pelnu ietekmē radušos papildpieaugumus, vispirms veikta regresijas analīze starp kontroles un pelnu parauglaukumu koku vidējiem radiālajiem pieaugumiem retrospekcijas periodā. Rezultātā iegūti regresijas vienādojumi, kuros, ievietojot kontroles vidējos pieaugumus, iegūti prognozētie radiālie pieaugumi jeb pieaugumi, kādi būtu kontroles kokiem, augot pelnu parauglaukumos bez mēslojuma ietekmes. Radiālais papildpieaugums ir faktiskā un prognozētā pieauguma starpība (Smits, Strike, & Liepa, 2009). Krājas papildpieaugumi aprēķināti, izmantojot vidējā koka metodi pēc I. Liepas (1996).



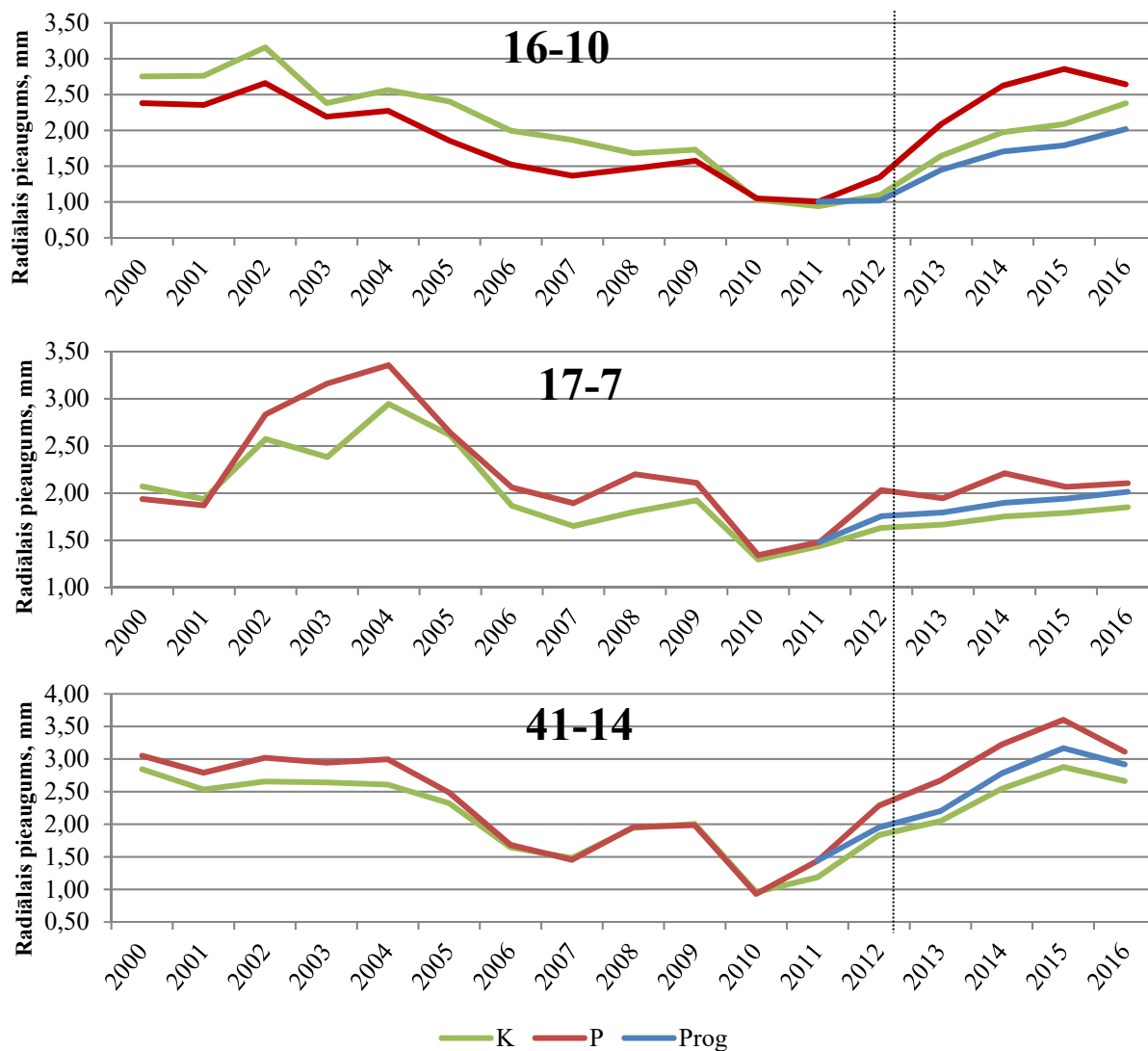
1.att. Prauglaukumu izvietojums un ārpus parauglaukumu koku urbumu ievākšanas shēma.

Ārpus parauglaukumu koku radiālie papildpieaugumi aprēķināti līdzīgi kā pelnu parauglaukumu kokiem. Vispirms atlasīti koki, kuriem retrospekcijas periodā ir cieša korelācija ar kontroles koku vidējo radiālo pieaugumu vērtībām ($r_{12;0.05} > 0.576$). Atlasītajiem kokiem katram atsevišķi aprēķināti radiālie papildpieaugumi pēc tādas pašas metodes kā pelnu parauglaukumu kokiem. Veikta korelācijas analīze starp attālumu līdz pelnu izkļiedes laukumam un kumulatīvo (5 gadu perioda) radiālo papildpieaugumu, lai noskaidrotu pelnu ietekmes attālumu. Aprēķinātas ārpusparauglaukumu koku vidējās kumulatīvās radiālās papildpieauguma vērtības un ar t-testu (Liepa, 1974) pārbaudīts, vai ārpus parauglaukumu koku kumulatīvie radiālie pieaugumi ietekmes periodā būtiski atšķiras no prognozētajām vērtībām.

Lai noskaidrotu iespējamo barības vielu noskalošanos ārpus parauglaukumiem, kas varētu ietekmēt ārpus parauglaukumu koku augšanu, izveidots reljefa modelis, izmantojot lidar datus ar punktu mākonī 4 punkti uz kvadrātmtru. Vispirms Global Mapper v16 vidē ar TIN (triangulated irregular network) metodi izveidots DEM (digital elevation model). Tālāk QGIS //2.18.12/ vidē izveidots Straumju tīkls. Lai veiktu noteces modelēšanu, DEM apstrādāts ar /Fill Sinks/ algoritmu, tādējādi aizpildītas beznoteces iepakas. Tālāk modelēti sateces baseini, izmantots SAGA GIS rīks /Catchment area/. Beigās modelētas potenciālās straumju atrašanās vietas - izmantots SAGA GIS rīks /Channel Network/.

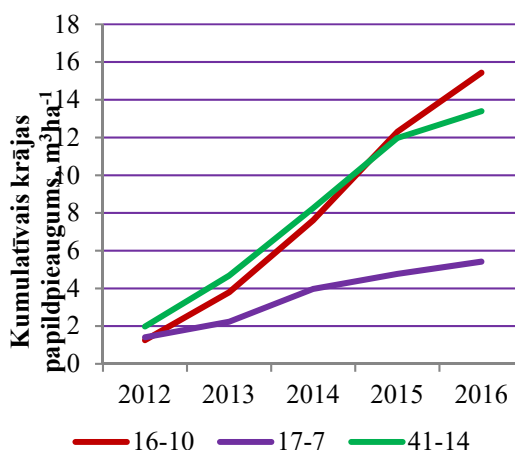
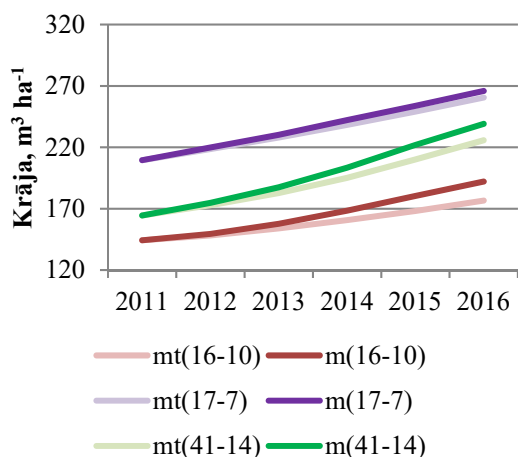
Rezultāti

Starp kontroles (K) un pelnu (P) parauglaukumu koku radiālajiem pieaugumiem retrospekcijas periodā konstatēta cieša, pozitīva korelācija ($r > 0.93$, $\alpha = 0.05$). Izmantojot iegūto regresijas vienādojumu, aprēķinātas prognostiskās pieaugumu vērtības (Prog). Pelnu izkļiedes parauglaukumu koku radiālo pieaugumu (P) un prognozēto pieaugumu (Prog) starpība ir radiālais papildpieaugums, kas radies pelnu izkļiedes ietekmē. M. Okmanis u.c. (2016) secina, ka pelni uzlabo koku augšanu jau pirmajā gadā pēc mēslošanas un pozitīvā ietekme turpinās visus četrus novērojumu gadus. Arī šajā pētījumā redzams, ka koki pozitīvi atsaucas uz pelnu izkļiedi, tomēr piektajā gadā pēc augsnes ielabošanas vērojama ietekmes mazināšanās (2.att.). Lībiete u.c. (2016) līdzīgu tendenci novēro 10 gadus pēc pelnu izkļiedes. Tomēr pelnu ietekme uz biogēno elementu saturu kokos novērota pat 30 gadus pēc mēslošanas (Sikström, Almqvist, & Jansson, 2010; Saarsalmi, Smolander, Kukkola, Moilanen, & Saramäki, 2012). Šajā gadījumā jāņem vērā, ka audzes 2010. un 2011. gadā atradušās stresa faktoru ietekmē (Lazdiņš u.c., 2011; Klavina u.c., 2016) un papildus barības vielu ienese izraisījusi straujāku audžu atlveseļošanos. Iespējams, ka normālos apstākļos papildpieaugumi nebūtu tik lieli. Mēslošanas efekts līdzīgi izpaužas visās trijās mežaudzēs, taču vislielākie papildpieaugumi vērojami tieši 16-10 audzē, kuras šķērslaukums ir vismazākais, kas apliecina nepieciešamību pēc audžu biežības optimizēšanas, sagaidot maksimālo augsnes ielabošanas efektu.



2.att. Vidējās radiālo pieaugumu vērtības kontroles un pelnu izklīdes parauglaukumos.

Redzams, ka 16-10 un 41-14 audzēs krājas papildpieaugumi ir līdzīgi, tomēr audzei ar vismazāko šķērslaukumu (16-10) kumulatīvais krājas papildpieaugums ir vislielākais ($15.44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (3.att.). Analizējot audžu krājas dinamiku, optimālākā biežība ir 41-14 audzei, tā kā, ņemot vērā augšanas tendences, tuvāko gadu laikā varētu pārsniegt 17-7 audzes krāju. Lai arī Saarsalmi u.c. (2014) pelnu ietekmi uz koku augšanu novēroja tikai sestajā gadā pēc izklīdes, kas ir saistīts ar stabilizētu pelnu izmantošanu, tomēr pelnu iniciētais ikgadējais krājas pieaugums bija par 25 % lielāks nekā kontrolē vēl turpmākos 10 gadus. Līdzvērtīgi krājas papildpieaugumi vērojami vien 16-10 audzē. Šajā pētījumā krājas papildpieaugums variē no 1 līdz $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā kamēr Okmanis u.c. (2016) secina, ka krājas papildpieaugums variē no aptuveni 2 līdz $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Par iemeslu tik izteiktām atšķirībām varētu būt samazinātais papildpieaugums piektajā gadā pēc izklīdes un optimizētais (samazinātais) paraugkoku skaits, tā kā iepriekš minētajā pētījumā tika urbtī visi parauglaukuma koki.



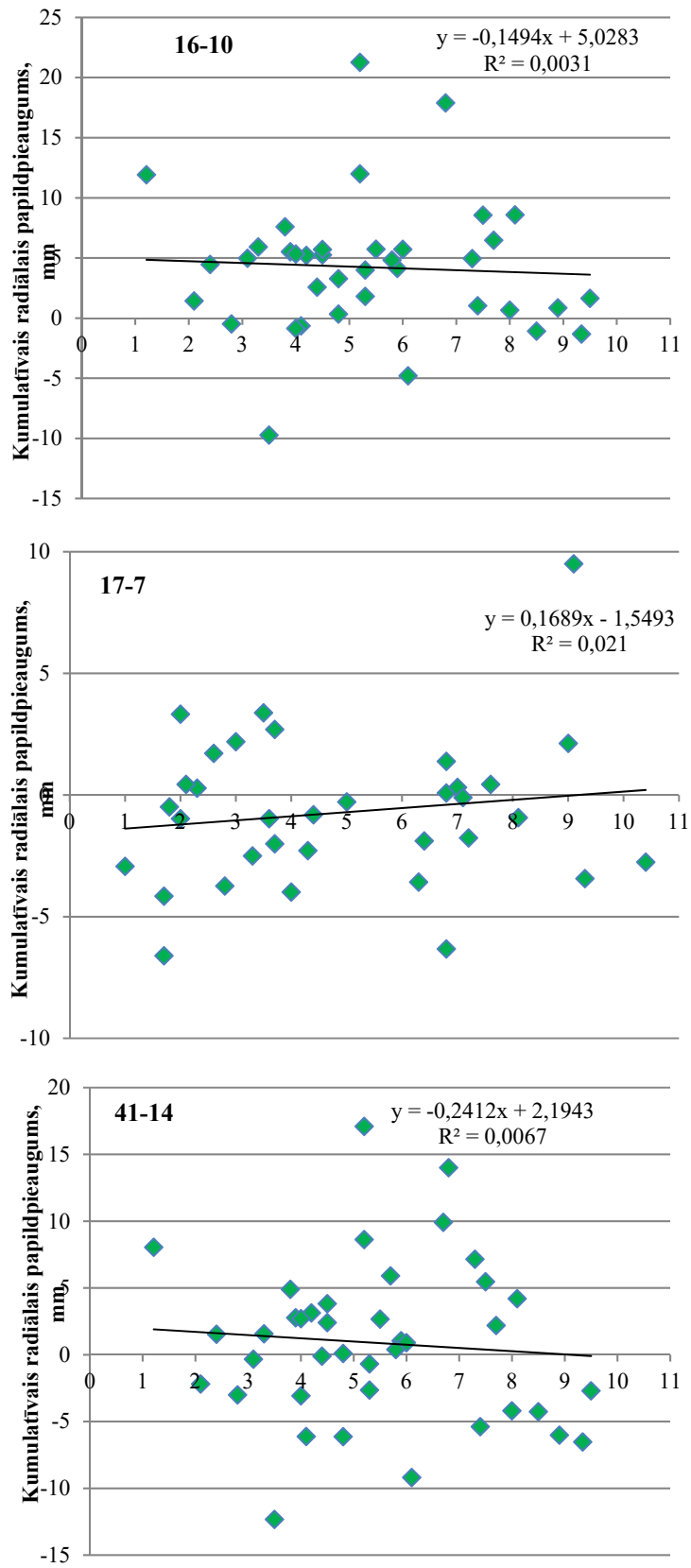
3.att. Audžu krājas dinamika pelnu izkļiedes parauglaukumos un kumulatīvais krājas papildpieaugums.

m – audžu krājas faktiskās vērtības;

mt – audžu krājas prognozētās vērtības.

Zināms, ka egles saknes sniedzas vairāku metru attālumā no koka un uzsūcošās saknes, kas diametrā mazākas par 2 mm, lielākoties koncentrējas augsnes virsējā slānī (Puhe, 2003), tādēļ pastāv iespēja, ka pie ienestajām barības vielām tiek arī ārpus parauglaukumu koki. Šiem kokiem, summējot visu piecu gadu radiālos papildpieaugumus, iegūtas kumulatīvo radiālo papildpieaugumu vērtības ietekmes periodā. Teorētiski, jo tuvāk koks atrodas pelnu parauglaukumam, jo lielāks sakņu daudzums iesniedzas mēslotajā laukumā. Veicot korelācijas analīzi, noskaidrots, ka radiālais papildpieaugums nav atkarīgs no attāluma līdz pelnu izkļiedes laukumiem (4.att.). Līdz ar to pieņemts lēmums apvienot visus 10 m zonā augošos kokus vienā paraugkopā, lai noskaidrotu summāro pelnu ietekmi.

Izmantojot t-testu, salīdzinātas kumulatīvās radiālā pieauguma faktiskās vērtības ar prognostiskajām vērtībām ietekmes periodā. Noskaidrots, ka ārpus parauglaukuma koku faktiskās vērtības būtiski atšķiras no prognostiskajām vērtībām ($t = 4.68 > t_{0.05;37} = 1.69$) un aprēķinātā vidējā kumulatīvā papildpieauguma vērtība ir pozitīva (4.2 ± 0.9 mm) tikai vienā (16-10) audzē, kurai konstatētas arī vislielākās papildpieaugumu vērtības parauglaukumu ietvaros. Jāņem vērā, ka šī ir arī visvecākā audze un, iespējams, koku sakņu sistēmas arī ir vislabāk attīstītas. Noskaidrots, ka audzes 41-14 ārpus parauglaukumu koku kumulatīvie radiālie pieaugumi būtiski neatšķiras no prognostiskajām vērtībām ($t = 0.93 < t_{0.05;39} = 1.68$) līdz ar to var pieņemt, ka vidējais kumulatīvais radiālais papildpieaugums ir 0. Statistiski būtiska ($t = 2.05 > t_{0.05;33} = 1.69$) tomēr negatīva (-0.7 ± 0.5) kumulatīvā radiālā papildpieauguma vērtība novērota audzē 17-7, tomēr arī šajā gadījumā vērtība ir tuvu nullei. Vērtējot šos rezultātus, redzams, ka izpaužas līdzīgas tendences kā papildpieaugumu veidošanās mēslotajos parauglaukumos, iespējams tieši audžu biežība ir par pamatu samazinātai pelnu ietekmei arī ārpus parauglaukumiem.

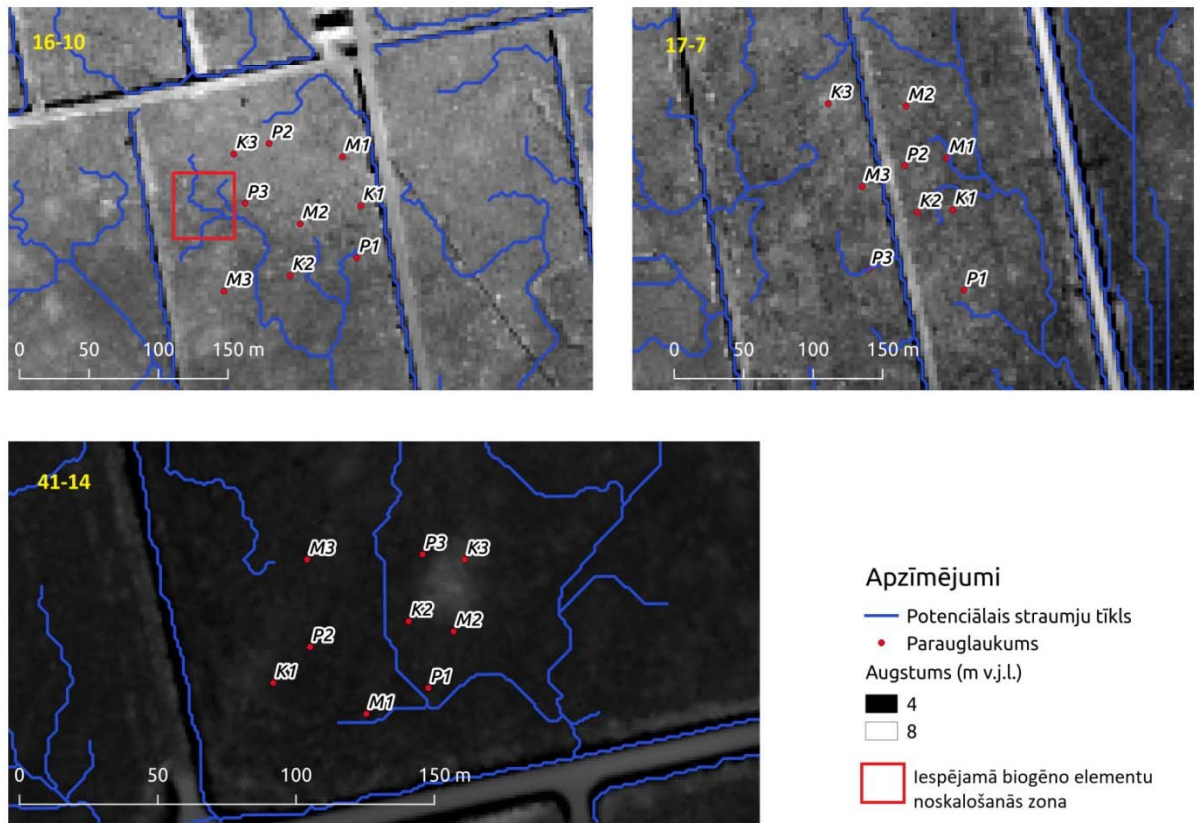


4.att. Kumulatīvais radiālais papildpieaugums atkarībā no attāluma līdz pelnu izkliedes parauglaukumam.

Tā kā parauglaukumos jau pēc pirmā gada novērota biogēno elementu ieskalšanās dziļākos augsnes slāņos (Ermane u.c., 2012) kā arī citi autori novērojuši tieši kālija jonu paaugstinātu koncentrāciju augsnes

ūdeņos ārpus pelnu izkļiedes zonām (Ohno, 1992; Indriksons, 2010; Piirainen, Domisch, Moilanen, & Nieminen, 2013), pastāv elementu izskalošanās un noskalošanās risks ārpus parauglaukumu robežām reljefa un mikroreljefa ietekmē. Lai noskaidrotu, iespējamos biogēno elementu noskalošanās virzienus, tika modelēts straumju tīkls.

Lai arī visās platībās izteiktas reljefa formas netika novērotas, tomēr iegūtais reljefa modelis dod iespēju analizēt ūdens plūsmas virzienus mikroreljefa ietekmē (5.att.). Virszemes un gruntsūdens plūsma no mēsloātā parauglaukuma uz zonu, kurā ievākti ārpus parauglaukumu koku urbumi, vērojama vien 16-10 audzē no P3 (pelnu) un iespējams M3 (kālija sulfāta) parauglaukumiem. Tieši šajā audzē ārpus parauglaukuma kokiem novērots būtisks un pozitīvs papildpieaugums. Tomēr novērojumu skaits ir nepietiekams, lai izdarītu vispārīgus secinājumus par gruntsūdens plūsmas ietekmi uz biogēno elementu aizskalošanos un šādu secinājumu noliegšanai vai apstiprināšanai būtu jāanalizē biogēno elementu dinamika augsnes ūdeņos dažādās audzes vietās.



5.att. Virszemes noteces straumju tīkla modelis.

Lai arī pozitīva pelnu izkļiedes ietekme ārpus parauglaukumiem līdz 10 m zonā novērota tikai vienā no trim audzēm, jāņem vērā, ka ražošanas apstākļos mehanizētas izkļiedes gadījumā starpkoridoru kokiem būs ietekme no abām pusēm, tādēļ šos rezultātus nevar attiecināt uz nevienmērīgu mehanizētu izkļiedi un ir nepieciešami papildus pētījumi ražošanas apstākļos ar lielāku atkārtojumu skaitu.

Secinājumi

Pozitīva koksnes pelnu ietekme uz koku augšanu vērojama jau pirmajā gadā pēc augsnes ielabošanas un saglabājas visus piecus gadus, tomēr vērojama radiālā papildpieauguma samazināšanās pēdējā gadā, kas liecina par pelnu ietekmes izbeigšanos.

Vidējais ikgadējais krājas papildpieaugums pelnu parauglaukumos variē no $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā biežākajā mežaudzē līdz $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā skrajākajā mežaudzē.

Analizējot pelnu ietekmi 10 m zonā ārpus pelnu izkļiedes parauglaukumiem, būtisks ($t = 4.68 > t_{0.05;37} = 1.69$) un pozitīvs ($4.2 \pm 0.9 \text{ mm}$) kumulatīvais radiālais papildpieaugums novērots tikai vienā no audzēm, kas, iespējams, skidrojams ar plašākām koku saknēm, optimālākiem gaismas apstākļiem un biogēno elementu noskalošanos mikroreljefa ietekmē.

Pateicības

Izsaku pateicību Latvijas Valsts mežzinātnes institūtam "Silava", par iespēju piedalīties īstermiņa zinātniskajā misijā, kuras laikā tika ievākti dati no institūta ierīkotajiem eksperimentiem, kā arī par telpu un aprīkojuma nodrošināšanu misijas laikā.

Vēlos pateikties Dagnijai Lazdiņai un Andim Lazdiņam par doto iespēju piedalīties īstermiņa zinātniskajā misijā un par atbalstu tās laikā. Kā arī par parauglūkumu izvietojuma izplānošanu, izveidošanu un to apstrādi ar koksnes pelniem.

Īpaši pasakos Modrim Okmanim, kas arī piedalījās parauglūkumu izveidošanā, un par ieguldīto darbu un palīdzību lauku datu ievākšanā, rezultātu apstrādē un to analizē.

Izmantotā literatūra

1. Ermane, E., Bardule, A., Balcerbule, Z., & Gigele, R. (2012). Macro Element Content in Fertilized Forest Soils in Spruce (*Picea Abies* (L.) H. Karst.) Stands in Latvia. *Latvian Journal of Chemistry*, 51(4). <https://doi.org/10.2478/v10161-012-0015-x>
2. Hedwall, P.-O., Gong, P., Ingerslev, M., & Bergh, J. (2014). Fertilization in northern forests – biological, economic and environmental constraints and possibilities. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(4), 301–311. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.926096>
3. Indriksons, A. (2010). *Biogēno elementu aprīte nosusinātajos mežos* (Promocijas darbs). Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava. Iegūts no <http://llu.lv/dissertation-summary/forestry/Aigars-Indriksons-promocijas-darba-kopsavilkums-2010-LLU-MF-Silava.pdf>
4. Klavina, D., Menkis, A., Gaitnieks, T., Velmala, S., Lazdins, A., Rajala, T., & Pennanen, T. (2016). Analysis of Norway spruce dieback phenomenon in Latvia – a belowground perspective. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(2), 156–165. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1069390>
5. Lazdins, A. (2014). *Meža mēslošanas ietekme uz kokaudžu vērtības pieaugumu* (No. 2014/01) (lpp. 110). Salaspils: Silava. Iegūts no: http://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicacijas/
6. Petijumi/Gala_atskaite_mezaudzu_meslošanas_ietekme.pdf
7. Lazdiņš, A., Miezīte, O., & Bārdule, A. (2011). Characterization of severe damages of spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) stands in relation to soil properties. No *Annual 17th international scientific conference proceedings Research for rural development* (lpp. 22–29). Jelgava: LLU.
8. Libiete, Z., Bardule, A., & 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.
9. Liepa, I. (1974). *Biometrija*. Rīga: Zvaigzne.
10. Liepa, I. (1996). *Pieauguma mācība (Increment Science)*. Jelgava: LLU.
11. Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H., & 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). <https://doi.org/10.14214/sf.1301>
12. Ohno, T. (1992). Neutralization of Soil Acidity and Release of Phosphorus and Potassium by Wood Ash. *Journal of Environmental Quality*, 21, 433–438. <https://doi.org/10.2134/jeq1992.00472425002100030022x>
13. Okmanis, M., Skranda, I., Lazdiņš, A., & Lazdiņa, D. (2016). Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil. No *Annual 22nd International Scientific Conference Proceedings, "Research for Rural Development"* (Sēj. 2, lpp. 62–68). Jelgava: LLU.
14. Okmanis, Modris, Lazdiņa, D., & Lazdiņš, A. (2015). The Composition and Use Value of Tree Biomass Ash. *Rural Sustainability Research*, 34(329). <https://doi.org/10.1515/plua-2015-0011>
15. Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M., & Nieminen, M. (2013). Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management*, 287, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.014>
16. Puhe, J. (2003). *Growth and development of the root system of Norway spruce (Picea abies) in forest stands - A review* (Sēj. 175). [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00134-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00134-2)
17. Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M., & Saramäki, J. (2012). 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management*, 278, 63–70.
18. Saarsalmi, A., Smolander, A., Moilanen, M., & Kukkola, M. (2014). Wood ash in boreal, low-productive pine stands on upland and peatland sites: Long-term effects on stand growth and soil properties. *Forest Ecology and Management*, 327, 86–95. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.031>
19. Sikström, U., Almqvist, C., & Jansson, G. (2010). Growth of *Pinus sylvestris* after the Application of Wood Ash or P and K Fertilizer to a Peatland in Southern Sweden. *Silva Fennica*, 44(3), 411–425.
20. Smits, A., Strike, Z., & Liepa, I. (2009). Effect of defoliation caused by European pine sawfly *Neodiprion sertifer* Geoffr. on Scots pine *Pinus sylvestris* L. *Forest science*.

21. Werkelin, J., Skrifvars, B.-J., & Hupa, M. (2005). Ash-forming elements in four Scandinavian wood species. Part 1: Summer harvest. *Biomass and Bioenergy*, 29(6), 451–466. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.06.005>
22. Werkelin, J., Skrifvars, B.-J., Zevenhoven, M., Holmbom, B., & Hupa, M. (2010). Chemical forms of ash-forming elements in woody biomass fuels. *Fuel*, 89(2), 481–493. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.09.005>