

**Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījuma programmas  
2016. – 2021. gadam  
5. zinātniskās izpētes misijas  
“Skuju koku stādīšanas laikā papildus ienestā slāpekļa aprīte (N  
izotopi ielabošanas līdzeklī un stādā 2019., 2020.gada  
pieaugumos”  
gala ziņojums  
autori: Signija Zaķe, Māris Bērtiņš, LU Ķīmijas fakultāte**



Pētījums veikts a/s “Latvijas valsts meži” un LVMI Silava  
2011. gada 11. oktobra memoranda  
“Par sadarbību zinātniskajā izpētē” ietvaros



2021

## **Kopsavilkums**

Slāpeklis ir viens no galvenajiem nepieciešamajiem makroelementiem jebkuram dzīvam organismam, jo tas ir nukleīnskābju, proteīnu, hormonu sastāvā. Līdz ar to tā trūkums aizkavē koku augšanu un attīstību. Nodrošinot optimālu slāpekļa daudzumu kokiem jau kopš iestādīšanas brīža iespējams palielināt kokaudzes produktivitāti, lai to panāktu ir iespējams pielietot dažādu mēslojumu veidus. Šī pētījuma ietvaros aplūkoja, vai stādīšanas laikā ar arginīna fosfātu ienestais slāpeklis jau pirmajā augšanas sezonā s iekļaujas slāpekļa aprītē un nonāk egļu un priežu ietvarstādu skuļās.

Iegūtie rezultāti liecina, ka egles asimilē slāpekli, kas ir pielietotajā mēslojumā jau pirmās veģetācijas sezonas laikā. Priežu skuju analīze neuzrādīja, ka koki pirmajā veģetācijas sezonā būtu asimilējuši papildus pievienoto slāpekli.

## **Ievads**

Dzīvo organismu izdzīvošanai, konkrēti nepieciešamos apstākļus un vidi mums nodrošina daba un tās veltes. Galvenie elementi, kas nodrošina augiem pilnvērtīgu augšanu ir slāpeklis, skābeklis, ogleklis, u.c. Slāpeklis ir visbagātākais elements mūsu atmosfērā, to var sastapt ne tikai augsnē un augos, bet arī pašā dzeramajā ūdenī un gaisā, ko mēs elpojam. Taču dabā viss ir līdzsvarā: pārāk daudz slāpekļa ir toksisks augiem, bet pārāk maz – augs nevar uzplaukt [1,2].

Ir salīdzinoši viegli analizēt slāpekļa izotopu attiecību vērtības dažādos augos un to daļās, izmantojot dažādas elementāranalīzes metodes un viena no tām ir izotopu attiecību masspektrometrija (IRMS). Pateicoties šai metodei, var veikt secinājumus par to, no kurienes augs ir uzņēmis tam nepieciešamo slāpekli. Lai augs pilnvērtīgāk saņemtu sev nepieciešamo slāpekli, nepieciešamajā daudzumā, veic ielabošanu ar dažāda veida minerāliem. Ar šīs metodes palīdzību var noteikt iespējamo piemērotāko augsnes ielabošanas līdzekli.

Pētījuma mērķis – novērtēt un veikt secinājumus par augsnes ielabošanā izmantotā arginīnu saturošā līdzekļa ietekmi uz slāpekļa apriti egļu un priežu skujās, izvēlētajos parauglaukumos.

## **Paraugu ievākšana**

Lai novērtētu, kā arginīna saturoša mēslojuma pielietošana stādīšanas brīdī ietekmē jauno priežu un egļu slāpekļa aprīti skuļās, tad 4. jūnijā astoņos nogabalos, kur augsne gatavota pacilās, un septiņos nogabalos, kur augsne gatavota vagās parauglaukumos netālu vienam no otra iestādīja ietvarstādus ar un bez mēslojuma.

Vagās stādīja tikai priedes, bet uz pacilām abas sugas. Saistībā ar ierobežoto paraugu skaitu, ko iespējams analizēt, izvēlējās četrus nogabalus kuros ievāca paraugus tā, lai būtu pārstāvētas abas sugas un augsnes gatavošanas veidi. Izraudzītajos nogabalos no trim mēslojamiem un nemēslojamiem kokiem ievāca skuju paraugus pēc stādīšanas un pirmās veģetācijas sezonas beigās, kā arī augsnes paraugu starp abiem stādiem. Papildus ievāca kūdras substrāta paraugu, kur stāds audzis konteinerī. Līdz ar to kopsummā no izvēlētajiem paraugu ņemšanas parauglaukumiem, tika ievākti 16 augsnes paraugi, 46 skuju paraugi un viens minerālmēslojuma paraugs.

*1.1.tabula*

Paraugu ievākšanas vietu koordinātas

KV apg.	KV	Nog	Izmēģinājums	Koordinātas Lat(DD,N), Long(DD,W)	Vieta
111	319	9	K/M, priede	57.11785, 26.79657	Stradu pagasts, vāga, P1/O1 Damaksnis (1,35 ha)
111	367	9	K/M, egle	57.09761, 26.78872	Stradu pagasts, pacila, E2/O1 Gārša (2,49 ha)
111	632	11	K/M, priede	57.10094, 26.97361	Stradu pagasts, vāga, P1/O1 Mētrājs (2,16 ha)
111	697	2	K/M, priede	57.06445, 26.93206	Stradu pagasts, pacila, P1/O1 Šaurlapju kūdrēnis (1,49 ha)

Apzīmējumi:

KV apg – Latvijas Valsts mežu kvartālu apgabali;

KV – Latvijas Valsts mežu kvartāli;

Nog – Latvijas Valsts mežu nogabals;

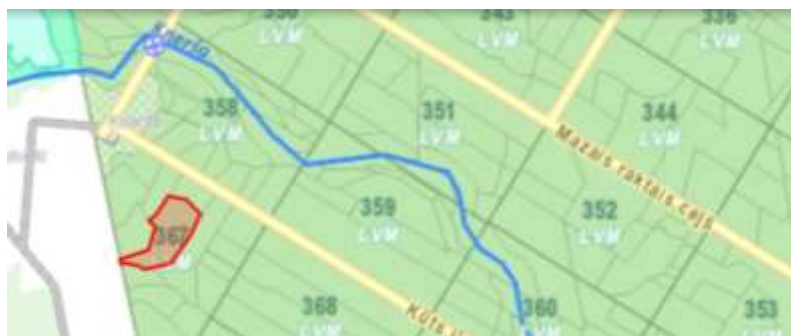
Izmēģinājums:

M– pielietots arginīna fosfāts;

K – kontroles paraugs



***1.1.att. 111-319-9 Latvijas Valsts mežu nogabals***



***1.2.att. 111-367-9 Latvijas Valsts mežu nogabals***



***1.3.att. 111-632-11 Latvijas Valsts mežu nogabals***



***1.4.att. 111-697-2 Latvijas Valsts mežu nogabals***

## **1. Materiāli un metodes**

**Paraugu priekšapstrāde.** Paraugi tika ievākti uzreiz pēc stādīšanas 2020.gada 4.-5. jūnijā (v) un pēc augšanas sezonas 2020.gada 23.-24. novembrī (j). Tos žāvēja 105°C temperatūrā, vēlāk izžāvētie paraugi tika homogenizēti, izmantojot dzirnavas. Tālāk homogenizētais paraugs (aptuveni 4-5 mg) tika iesvērts alvas kapsulās. Ar pincešu palīdzību tās tika aizlocītas, lai kapsulā neiekļūtu slāpeklis. Tādā veidā tika sagatavoti 126 paraugi, kur no katra parauga ņemti 2 paralēlie paraugi.

Tāpat kā paraugus sagatavoja arī L-glutamīnskābes standartu, ko iesvēra ~ 4 mg. Visi paraugi tika ievietoti iekārtas automātiskajā paraugu ievades sistēmā, kur tie tika analizēti. Slāpekļa un oglekļa izotopu attiecību vērtības tika mērītas ar EA-IRMS palīdzību. Ik pēc 10 paraugiem tika ievadīts viens L-glutamīnskābes standarts ( $wN = 9,52\%$ ,  $wC = 40,8\%$ ,  $\delta_{15}N = 4,5\text{‰air}$ ,  $\delta_{13}C = 13,86\text{‰WPDB}$ ), kas kalpo kā kontroles paraugs, lai sekotu iegūto vērtību stabilitāti. Kā references materiāli tika izmantoti L-glutamīnskābes paraugi USGS40 ( $wN = 9,52\%$ ,  $wC = 40,8\%$ ,  $\delta_{15}N = 4,52\text{‰air}$ ,  $\delta_{13}C = -26,4\text{‰WPDB}$ ) un USGS41 ( $wN = 9,52\%$ ,  $wC = 40,8\%$ ,  $\delta_{15}N = 47,57\text{‰air}$ ,  $\delta_{13}C = 37,63\text{‰WPDB}$ ) [7.].

**Testēšanas metode.** Paraugs iekārtā, speciālo reaktoros tiek pārvērsts vienkāršās gāzēs. Sākumā kvarca reaktorā notiek parauga sadegšana skābekļa klātbūtnē, pie temperatūras 1030°C, tādējādi slāpeklis tiek nooksidēts līdz NO<sub>x</sub>. Tālāk šis NO<sub>x</sub> tiek reducēts līdz N<sub>2</sub>, reducēšanas kolonna ir pildīta ar ļoti tīru Cu un darba temperatūra sasniedz 650°C [3]. Kā references materiāls tiek izmantota L-glutamīnskābe.

*2.1.tabula*

Izmantotie references materiāli [3,4]

References materiāls	Viela	$\delta_{15}N$ , ‰air N <sub>2</sub>	SD, ‰air N <sub>2</sub>	$\delta_{13}C$ , ‰VPDB	SD, ‰VPDB
USGS40	L-glutamīnskābe	-4,5	0,1	-26,389	0,042
USGS41	L-glutamīnskābe	47,6	0,2	37,626	0,049

## **2. Testēšanas rezultāti**

Apkopojot iegūtos rezultātus, no tiem var spriest, ka oglekļa izotopu attiecība skuju paraugos variē no 26 ‰ līdz 32 ‰ un augsnes paraugos no 26 ‰ līdz 28 ‰. Savukārt slāpekļa izotopu attiecība skuju paraugos variē no -1,3 ‰ līdz 5,5 ‰ un augsnes paraugos no -18,25‰ līdz 2,44 ‰. Tā kā rezultātu izkliede ir salīdzinoši liela un ir atkarīga no dažādiem faktoriem konkrētā vietā, tad turpmāk rezultāti tiks apskatīti detalizētāk katrā no pētītajiem nogabaliem.

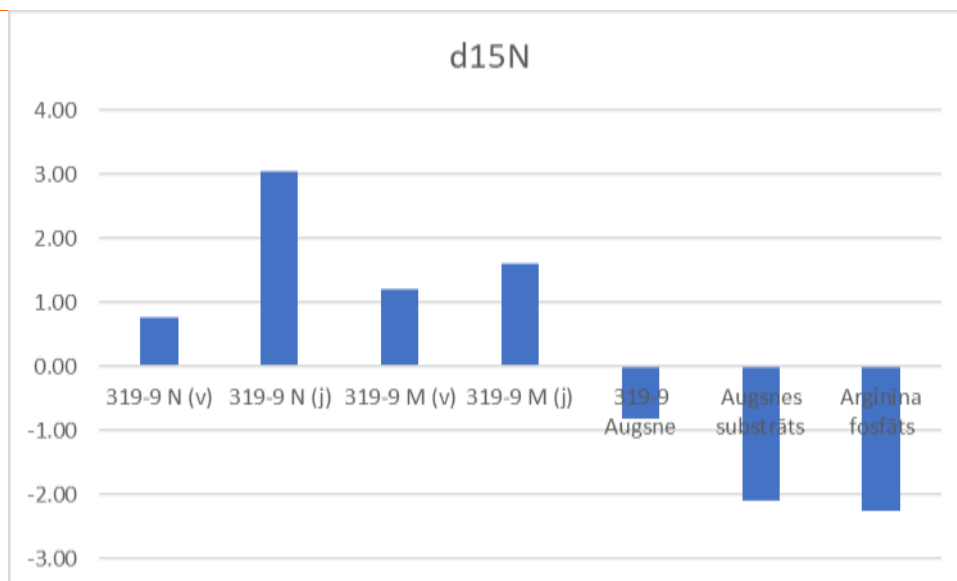
**Nogabals 111-319-9.** Priežu skuju rezultāti no 111-319-9 nogabala attēloti 2.1. tabulā. Nogabals raksturojams kā damakšņa tipa mežs ar slāpekļa saturu augsnē 0.08% un oglekļa saturu ap 2.3%. Pielietotā arginīna fosfāta līdzekļa  $\delta_{15}\text{N}$  vērtība zemāka kā pašā nogabalā (-2.3‰ un -0.8‰ attiecīgi).

*2.1. tabula*

**Priežu skuju testēšanas rezultāti (111-319-9 nogabals)**

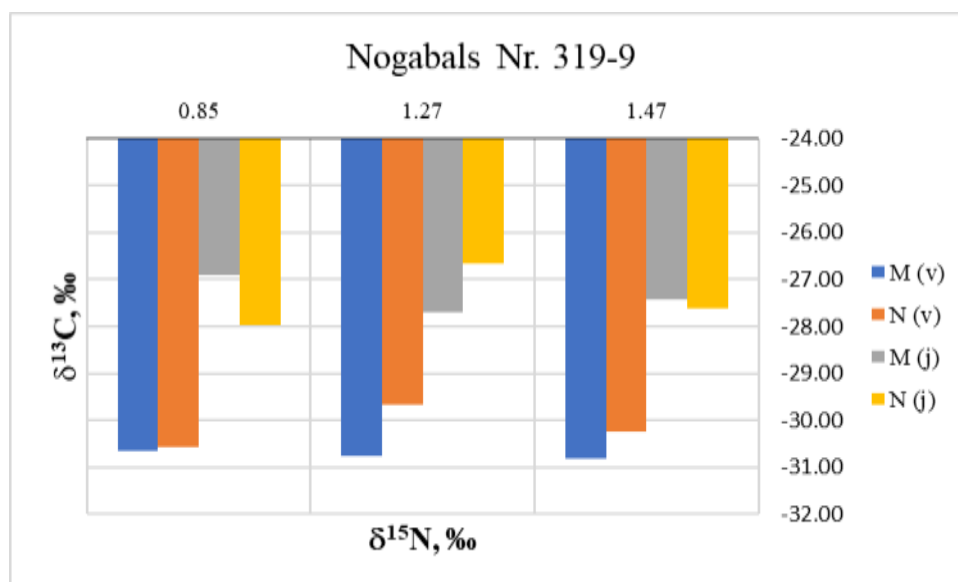
Parauga Nr.	wN, %	SD	$\delta_{15}\text{N}$	SD	wC,%	SD	$\delta_{13}\text{C}$	SD
319-9 N (v)	1.36	0.22	0.76	0.11	54.19	0.49	-30.16	0.46
319-9 N (j)	1.27	0.04	3.05	0.27	57.67	0.45	-27.43	0.68
319-9 M (v)	1.00	0.13	1.20	0.31	51.28	0.42	-30.74	0.09
319-9 M (j)	1.37	0.04	1.60	0.75	57.81	0.20	-27.35	0.41
319-9 Augsne	0.08	0.05	-0.82	0.16	2.25	1.80	-26.65	0.49
kūdras substrāts	0.85	0.00	-2.11	0.12	47.73	0.36	-26.10	0.01
Arginīna fosfāts	10.83	0.25	-2.25	0.11	27.41	1.04	-20.08	0.07





3.1.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-319-9 nogabalā

3.1. attēlā redzams, ka laika posmā kopš priežu iestādīšanas  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības priežu skujās pieaug (no 0.8 līdz 3‰ kontrolparaugam un no 1.2 līdz 1.6 ‰ mēslotajam paraugam), neskatoties uz arginīna fosfāta līdzekļa zemo d15N vērtību. Taču mēslotajā paraugā  $\delta^{15}\text{N}$  pieaugums nav tik izteikts.



3.2.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{13}\text{C}$  un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-319-9  
 nogabalā

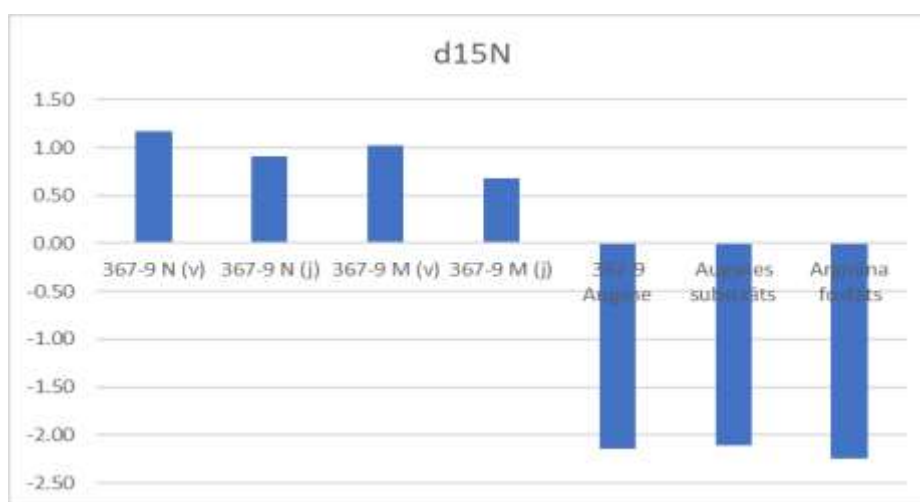
Novērtējot izmaiņas augšanas periodā var atzīmēt arī jūtamu  $\delta_{13}\text{C}$  vērtības samazināšanos no -30 uz -27‰ (3.2.att.).

**Nogabals 111-367-9.** Egļu skuju rezultāti no 111-367-9 nogabala attēloti 2.2. tabulā. Nogabals raksturojams kā gāršas tipa mežs nogabals ar slāpekļa saturu augsnē 0.05% un oglekļa saturu ap 0.8%. Šeit augsnes  $\delta_{15}\text{N}$  vērtība ir ļoti līdzīga arginīna fosfāta vērtībai (-2‰).

2.2. tabula

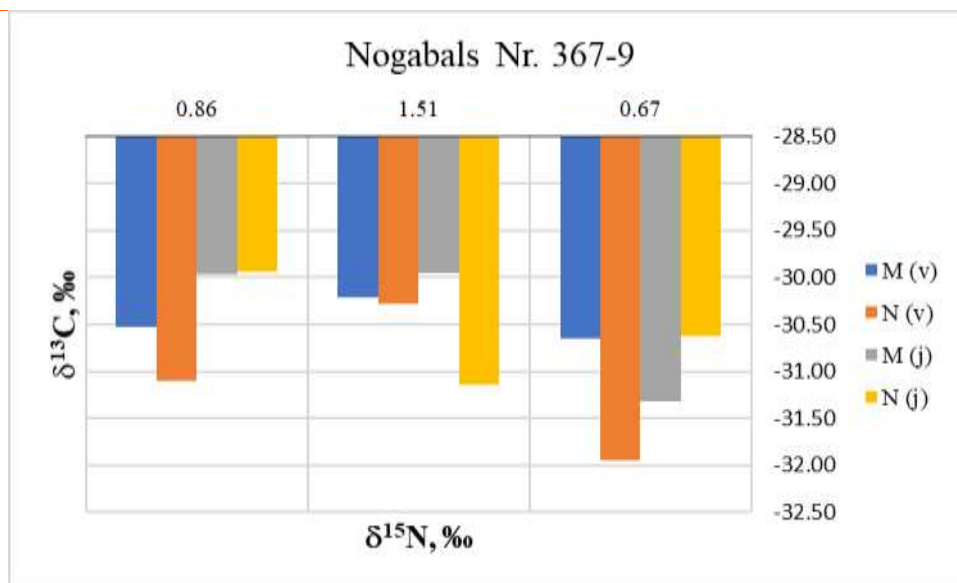
**Egļu skuju testēšanas rezultāti (111-367-9 nogabals)**

Parauga Nr.	wN, %	SD	$\delta_{15}\text{N}$	SD	wC,%	SD	$\delta_{13}\text{C}$	SD
367-9 N (v)	0.68	0.08	1.18	0.37	50.99	0.33	-31.11	0.83
367-9 N (j)	1.37	0.33	0.90	0.11	54.91	1.48	-30.57	0.60
367-9 M (v)	0.90	0.09	1.02	0.44	52.84	0.96	-30.47	0.22
367-9 M (j)	1.64	0.30	0.68	0.30	55.74	0.18	-30.42	0.79
367-9 Augsne	0.05	0.02	-2.14	1.02	0.79	0.43	-26.49	0.39
Kūdras substrāts	0.67	0.01	-1.78	0.13	45.22	0.22	-25.70	0.30
Arginīna fosfāts	10.83	0.25	-2.25	0.11	27.41	1.04	-20.08	0.07



3.3.att. Egļu skuju paraugu  $\delta_{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-367-9 nogabalā

3.3. attēlā redzams, ka laika posmā kopš egļu iestādīšanas  $\delta_{15}\text{N}$  vērtības egļu skujās nedaudz samazinās (no 1.2 līdz 0.9‰ kontrolparaugam un no 1 līdz 0.7‰ mēslotajam paraugam), ko varētu saistīt ar arginīna fosfāta ietekmi.



3.4.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{13}\text{C}$  un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-367-9 nogabalā

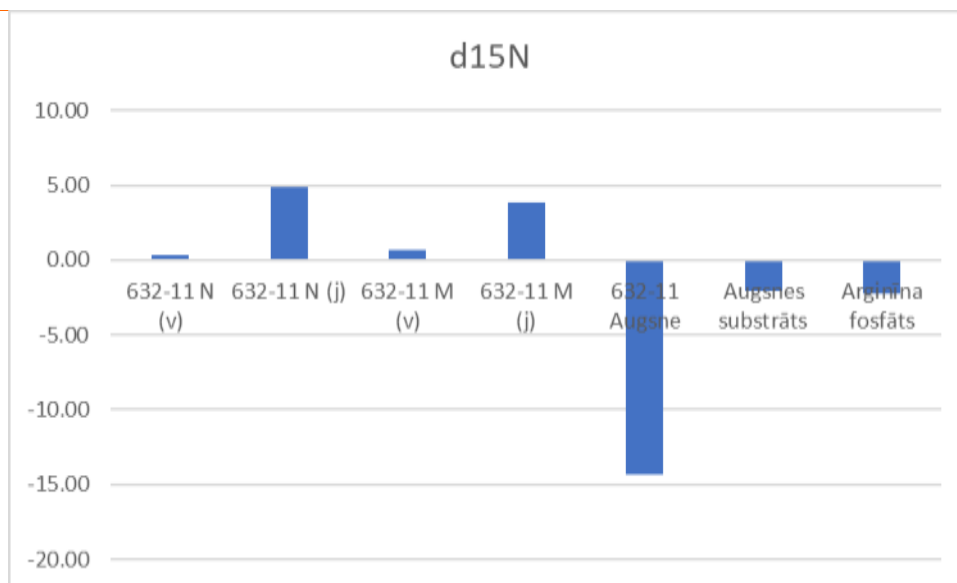
Šajā nogabalā nav novērojams būtiskas  $\delta^{13}\text{C}$  vērtības izmaiņas augšanas procesā,  $\delta^{13}\text{C}$  vērtības ap  $-30\text{‰}$  (3.4.att.).

**Nogabals 111-632-11.** Priežu skuju rezultāti no 111-632-11 nogabala attēloti 2.3. tabulā. Nogabals raksturojams kā mētrāju tipa mežs ar slāpekļa saturu augsnē  $0.02\%$  un oglekļa saturu ap  $0.4\%$ . Šeit novērojama ļoti zema augsnes  $\delta^{15}\text{N}$  vērtība ( $-14\text{‰}$ ).

2.3. tabula

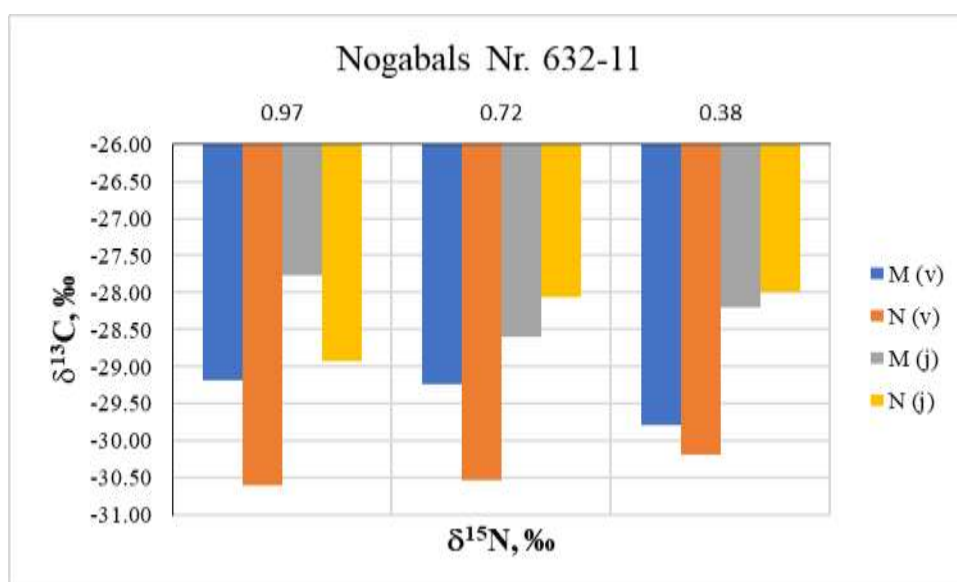
Priežu skuju testēšanas rezultāti (111-632-11 nogabals)

Parauga Nr.	wN, %	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD	wC, %	SD	$\delta^{13}\text{C}$	SD
632-11 N (v)	0.92	0.06	0.31	0.08	52.03	1.41	-30.44	0.23
632-11 N (j)	1.37	0.13	4.92	0.82	56.45	0.58	-28.33	0.52
632-11 M (v)	1.16	0.21	0.69	0.30	53.84	0.91	-29.40	0.33
632-11 M (j)	1.29	0.12	3.86	0.64	57.01	0.26	-28.18	0.41
632-11 Augsne	0.02	0.00	-14.30	3.47	0.38	0.13	-26.68	0.19
Kūdras substrāts	0.85	0.00	-2.11	0.12	47.73	0.36	-26.10	0.01
Arginīna fosfāts	10.83	0.25	-2.25	0.11	27.41	1.04	-20.08	0.07



3.5.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{13}\text{C}$  un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-632-11 nogabalā

3.5. attēlā redzams, ka laika posmā kopš priežu iestādīšanas  $\delta_{15}\text{N}$  vērtības priežu skujās pieaug (no 0.3 līdz 5‰ kontrolparaugam un no 0.7 līdz 4 ‰ mēslotajam paraugam), neskatoties uz arginīna fosfāta līdzekļa zemo  $\delta_{15}\text{N}$  vērtību. Taču arī šajā nogabalā mēslotajā paraugā  $\delta_{15}\text{N}$  pieaugums nav tik izteikts, salīdzinot ar kontrolparaugu.



**3.6.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{13}\text{C}$  un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-632-11  
 nogabalā**

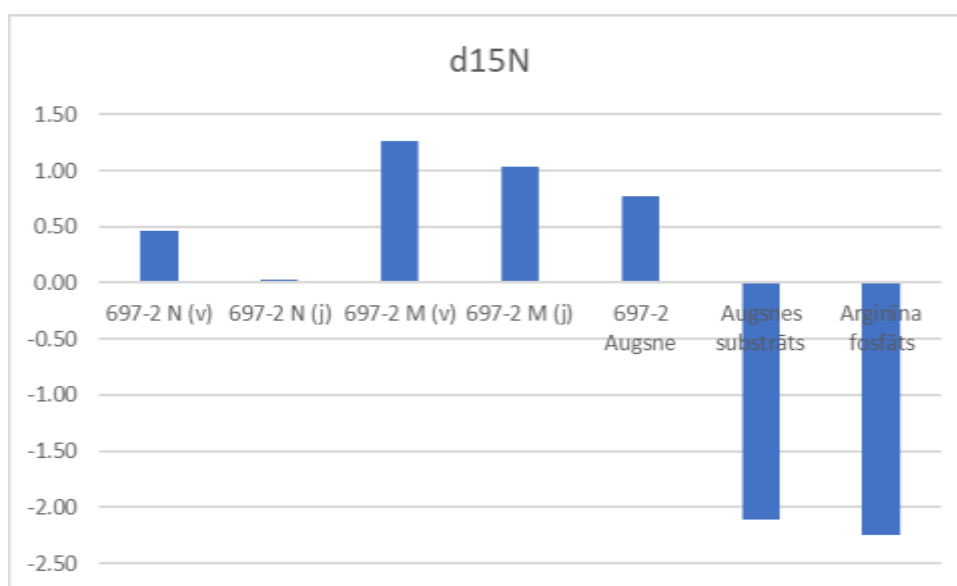
Novērtējot izmaiņas augšanas periodā var atzīmēt arī jūtamu  $\delta^{13}\text{C}$  vērtības samazināšanos no -30 uz -28‰ (3.6.att.).

**Nogabals 111-697-11.** Priežu skuju rezultāti no 111-697-11 nogabala attēloti 2.4. tabulā. Nogabals raksturojams kā šaurlapju kūdrāja tipa mežs ar slāpekļa saturu augsnē 0.7% un oglekļa saturu ap 13%. Augsnes  $\delta^{15}\text{N}$  vērtība nedaudz augstāka kā arginīna fosfāta mēslojumam 0.77.

2.4. tabula

**Priežu skuju testēšanas rezultāti (111-697-2 nogabals)**

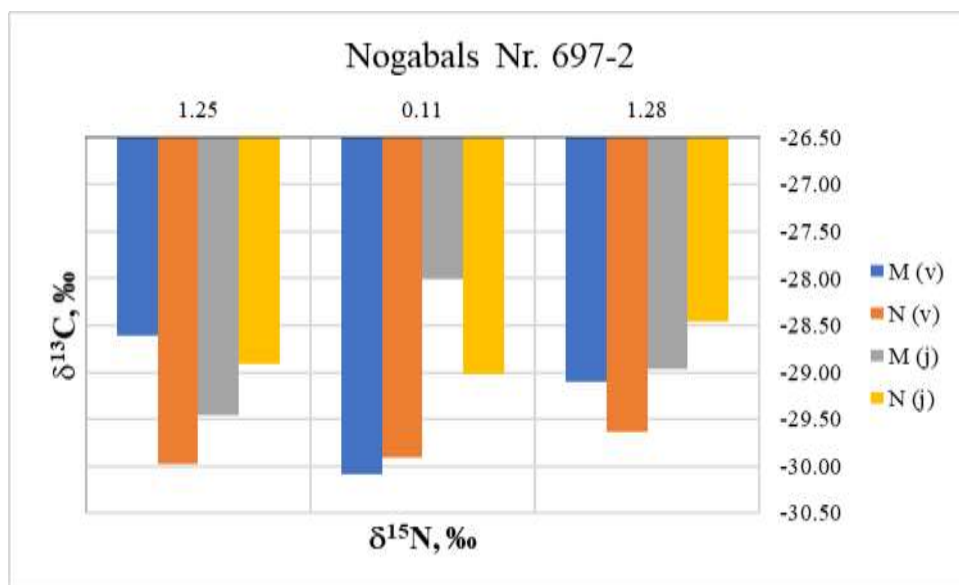
Parauga Nr.	wN, %	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD	wC,%	SD	$\delta^{13}\text{C}$	SD
697-2 N (v)	1.49	0.07	0.46	0.42	50.12	2.66	-29.84	0.19
697-2 N (j)	1.21	0.11	0.03	0.07	55.43	0.72	-28.80	0.30
697-2 M (v)	1.16	0.17	1.26	0.02	53.13	0.62	-29.27	0.75
697-2 M (j)	1.12	0.11	1.03	0.24	55.38	0.28	-28.81	0.74
697-2 Augsne	0.67	0.52	0.77	1.48	13.0	5.0	-27.36	0.47
Augsnes substrāts	0.85	0.00	-2.11	0.12	47.73	0.36	-26.10	0.01
Arginīna fosfāts	10.83	0.25	-2.25	0.11	27.41	1.04	-20.08	0.07



**3.7.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-697-2 nogabalā**

Zaķe, Bērtiņš, 2021

3.7. attēlā redzams, ka laika posmā kopš priežu iestādīšanas  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības priežu skujās nedaudz samazinās (no 0.5 līdz 0‰ kontrolparaugam un no 1.2 līdz 1 ‰ mēslotajam paraugam), neskatoties uz arginīna fosfāta līdzekļa zemu  $\delta^{15}\text{N}$  vērtību. Taču arī šajā nogabalā mēslotajā paraugā  $\delta^{15}\text{N}$  pieaugums nav tik izteikts, salīdzinot ar kontrolparaugu.



3.8.att. Priežu skuju paraugu  $\delta^{13}\text{C}$  un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības, kas ņemtas 111-697-2  
nogabalā

Novērtējot izmaiņas augšanas periodā var atzīmēt arī salīdzinoši nelielu  $\delta^{13}\text{C}$  vērtības samazināšanos no -29 uz -28‰ (3.8.att.).

### 3. Diskusija

Papildus kopējā slāpekļa un oglekļa satura noteikšanai egļu un priežu skujās slāpekļa un oglekļa stabilie izotopiskie sastāvi ( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) var sniegt informāciju par N un C avotiem un vides vai klimatiskajiem apstākļiem, kā arī asimilācijas laikā un metabolisma procesā dažādi mikroorganismi var fracionēt slāpekļa izotopus. Globāli  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības atmosfēras slāpekļa nogulsnešanās (piemēram,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) var svārstīties no  $-15\text{‰}$  līdz  $+15\text{‰}$  [5,6].

3.1. tabula

$\delta^{15}\text{N}$  lielumi dažādiem paraugiem [5]

Paraugs	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Atmosfēras slāpeklis	0
Augi ar $\text{C}_3$ metabolismu	No $-8,0$ līdz $+4,0$
Okeāna planktons	No $-3,0$ līdz $+18,0$
$\text{NH}_4$	No $+4,0$ līdz $+20,0$
Neorganisks mēslojums	No $-4,0$ līdz $+4,0$
Organisks mēslojums	No $+6,0$ līdz $+30,0$
Govs piens	No $+1,0$ līdz $+3,0$

3.2. tabula

$\delta^{15}\text{N}$  lielumi Džeka priedes skujās (*Pinus banksiana*) atkarībā no gadu gājuma [8]

Gads	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
2002-2004	$-2,8$
2007	$-2,6$
2008	$-2,0$
2011	$-2,8$

3.3. tabula

$\delta^{15}\text{N}$  lielumi priedes skujās (*P. sylvestris* L.) [9]

	Viengadīgās skujas (Marts 1993)	Divgadīgās skujas (Marts 1993)	(Maijs 1993)
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$-4,6 \pm 0,6$	$-6,6 \pm 0,3$	$-4,1 \pm 0,3$
	$-2,4 \pm 0,5$	$-2,3 \pm 0,3$	$2,7 \pm 2,6$
	$-8,8 \pm 0,5$	$-8,5 \pm 0,6$	$-7,9 \pm 0,9$

Piemēram, amonija asimilācijas procesā ar ūdenszālēm  $\delta$  mainās no -27 līdz 0 ‰. Sintētiskā minerālmēslojumā pielietošana ar izotopu attiecību tuvu 0 ‰ izmaina slāpekļa izotopu attiecību lauksaimniecības kultūrās.  $\delta$  15N un  $\delta$  13C daudzums augos ir atkarīgs no auga sugas, augsnes tipa un minerālmēslojuma paveida. 3.1., 3.2 un 3.3 tabulās ir parādīti dažī  $\delta$  15N lielumu piemēri [5].

Veicot šo pētījumu bija sagaidāms, ka egļu un priežu stādiņi aktīvi uzņems mēslojuma sastāvā esošo arginīna fosfātu, kā galveno slāpekļa avotu, kā rezultātā slāpekļa izotopu attiecības vērtības priežu skujās izmainīsies, kļūstot tuvākas tādām, kādas tās ir pielietotajā mēslojumā. Taču izvērtējot iegūtos rezultātus redzams, ka šāda tendence ir tikai nogabalos 111-367-9 un 111-632-11. Un nogabalos 111-319-9 un 111-697-2 vērojams d15N vērtības pieaugums, bet tas nav saistīts ar pielietoto mēslojumu, tā kā d15N vērtības pieaugušas arī kontrolparaugos un savukārt paraugos, kur tika pielietota mēslošana šīs d15N vērtības pieaugums ir jūtami mazāks. Kā arī ne visos mēslotajos paraugos novērots ievērojams slāpekļa satura pieaugums, faktiski tikai nogabalos 111-319-9 un 111-367-9. Faktiski testēšanas rezultāti egļu skujām no nogabala 111-367-9 parāda, ka egles ir aktīvi uzņēmušas slāpekli un d15N vērtības izmaiņas liecina, ka pielietotais arginīna fosfāta mēslojums varētu būt galvenais N avots. Pārējos pētītajos nogabalos ievērojams slāpekļa pieaugums nav novērots, kā arī  $\delta_{15}N$  vērtības izmaiņas tieši nenorāda uz arginīna fosfātu kā galveno N avotu. Iespējams, ka priežu stādi stumbros uzkrāj slāpekļa rezerves kokaudzētavas augšanas posmā, un kokiem pirmajā veģetācijas sezonā tas nav papildus nepieciešams. Jāpiebilst, ka visos paraudziņos pēc augšanas sezonas beigām novērojams ievērojams oglekļa satura pieaugums (4-5%), kā arī būtiskas  $\delta_{13}C$  izmaiņas – tas visos gadījumos ir samazinājies. Kā arī iepriekšējā pētījumā [10.] nav novērota tik krasa  $\delta_{13}C$  vērtību izmaiņa pētītajās priežu skujās un svārstījās robežās ap 27%.  $\delta_{13}C$  vērtības parasti tiek saistītas ar fotosintēzes ciklu iekļaujot temperatūras un gaismas ietekmi. Šīs krasās oglekļa satura un izotopu attiecības izmaiņas varētu skaidrot ar krasām augšanas apstākļu izmaiņām (pārstādīšana), kad strauji mainījušies apkārtējie vides apstākļi un barības vielu pieejamība.



## **Secinājumi**

No pētītajiem 4 nogabaliem tikai vienā (111-367-9) pēc mēslošanas ar arginīna fosfāta saturošu līdzekli novērojams gan slāpekļa masas daļas pieaugums egļu skujās, gan arī slāpekļa izotopu vērtības samazināšanās, kas norāda uz arginīna fosfātu kā galveno slāpekļa avotu. Priežu stādiņu gadījumā tik izteikta tendence nav novērojama.

Divos nogabalos 111-319-9 un 111-632-11 novērojams  $\delta^{15}\text{N}$  vērtību pieaugums priežu skuju kontrolparaugos, kas raksturīgs augiem, kas aug ar slāpekli nabadzīgā augsnē un ir skaidrojams ar  $^{15}\text{N}$  izotopa diskriminācijas procesiem augu fizioloģiskajos procesos (slāpekļa saturs augsnē ir zems un augi vienlīdz labi uzņem gan  $^{14}\text{N}$  gan  $^{15}\text{N}$ , kā rezultātā  $^{15}\text{N}$  masas daļa pieaug).

Visos paraugos novērots ievērojams oglekļa satura pieaugums (4-5%) un  $\delta^{13}\text{C}$  vērtību samazinājums par 1-2‰, kas ir neraksturīgi normālos apstākļos augošiem augiem un iespējams būtu saistāms ar augu pārstādīšanas procesu (straujas vides un barības vielu pieejamības izmaiņas). Vismazākās  $\delta^{13}\text{C}$  vērtības izmaiņas ir egļu gadījumā, kur arī N un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības liecina par vienmērīgākām augšanas apstākļu izmaiņām pārstādīšanas laikā salīdzinot ar priedēm.

Novērtējot iegūtos rezultātus secināms, ka arginīna fosfāta mēslojumu viennozīmīgi ir uzņēmušas tikai egles - ir novērojams N daudzuma pieaugums un  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības samazināšanās.

Priežu gadījumā nav jūtams izteikts slāpekļa satura pieaugums, kā arī  $\delta^{15}\text{N}$  vērtības skujās pieaug (ļoti līdzīgi kā tas notiek arī kontroles paraugos), kas liek secināt, ka arginīna fosfāts nav galvenais N avots priežu skujās! Iespējams pārstādīšanas "stresa" rezultātā slāpekļis tiek ņemts no iekšējām rezervēm (piemēram, no stumbra). Attiecībā uz N slāpekļa aprīti priežu stādiņos nepieciešami turpmāki pētījumi (pārstādīšanas nelabvēlīgajam efektam turpmākajā augšanas periodā būtu jāsamazinās vai pat pilnībā jāizzūd), iespējams koku saknes nav sasniegušas papildus ienesto slāpekli.

## **Pateicības**

Pateicība Latvijas Valsts mežzinātnes institūtam „Silava” par iespēju piedalīties īstermiņa zinātniskajā misijā. Autori izsaka pateicību Kārlim Dūmiņam par pētījuma un paraugu ņemšanas procesa koordināciju, Dagnijai Lazdiņai par sadarbību zinātniskās misijas laikā.

### **Izmantoto informācijas avotu saraksts**

1. Y. Xu, H. Xiao, “Free amino acid concentration and nitrogen isotope signatures in *Pinus massoniana* (Lamb.) needles of different ages for indicating atmospheric nitrogen deposition”, *Environmental Pollution*, **2016**, 1 – 11.
2. D.T. Britto; H.J. Kronzucker. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*. **2002**, 159(6).
3. Qi, H., Coplen, T.B., Geilmann, H., Brand, W.A., Bohlke, J.K., Two new organic reference materials for δ<sup>13</sup>C and δ<sup>15</sup>N measurements and a new value for the δ<sup>13</sup>C of NBS 22 oil, *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **17** (2004) 2483-2487.
4. Coplen, T.B., Brand, W.A., Gehre, M., Groning M., Meijer, H.A.J., Toman, B., Verkouteren, R.M., New Guidelines for <sup>13</sup>C Measurements, *Anal. Chem.* **78** 7 (2006) 2439-2441.
5. G. A. Bauer, H. Persson, T. Persson, M. Mund, M. Hein, E. Kummetz, G. Matteucci, H. Van Oene, G. Scarascia-Mugnozza, E. D. Schulze, “Linking plant nutrition and ecosystem processes”, *Carbon Nitrogen Cycl. Eur. For. Ecosyst.*, **2000**, 142, 63 – 98.
6. A. T. Лебедев, “Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды” Пер. с англ. *Техносфера*, Москва, **2013**, 587 – 603.
7. J.F. Carter; V. Barwick. Good practice guide for isotope ratio mass spectrometry **2011**, 1-6.
8. B.C. Proemse; D.G. Maynard; B.Mayer. Foliage Chemistry of *Pinus banksiana* in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Journal: Forests*. **2016**.
9. K Jung; G. Gebauer; M. Gehre; D. Hofmann; L.Weißflog; G.Schüürmann. Anthropogenic impacts on natural nitrogen isotope variations in *Pinus sylvestris* stands in an industrially polluted area. *Environmental Pollution*. **1997**, 97(1-2), 175–181.
10. Bērtiņš M., Tukiša R. Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījuma programmas 2016. – 2021. gadam zinātniskās izpētes misijas “Ienestā minerālā slāpekļa aprīte (N izotopi skujās un mētrās)” gala ziņojums, 2021.

1. Pielikums

**Paraugu testēšanas rezultāti**

Parauga Nr.	wN, %	SD	$\delta_{15}\text{N}$	SD	wC,%	SD	$\delta_{13}\text{C}$	SD
319-9 M (v) 1	1.12	0.15	0.85	0.02	50.87	0.38	-30.64	0.33
319-9 M (v) 2	1.02	0.00	1.27	0.02	51.27	0.42	-30.77	0.32
319-9 M (v) 3	0.86	0.07	1.47	0.01	51.71	0.47	-30.81	0.11
319-9 N (v) 1	1.35	0.08	0.65	0.00	53.63	0.01	-30.57	0.06
319-9 N (v) 2	1.15	0.02	0.87	0.14	54.43	0.00	-29.67	0.07
319-9 N (v) 3	1.58	0.12	0.75	0.04	54.52	0.53	-30.24	0.01
319-9 M (j) 1	1.33	0.03	1.75	0.00	57.84	0.15	-26.90	0.14
319-9 M (j) 2	1.38	0.04	2.26	0.03	57.59	0.06	-27.70	0.03
319-9 M (j) 3	1.40	0.03	0.79	0.06	57.99	0.07	-27.44	0.20
319-9 N (j) 1	1.29	0.00	3.25	0.08	58.06	0.22	-27.98	0.08
319-9 N (j) 2	1.30	0.23	2.86	0.00	57.76	0.58	-26.67	0.35
319-9 N (j) 3	1.22	0.02	-0.34	0.06	57.18	0.34	-27.62	0.02
632-11 M (v) 1	1.05	0.04	0.97	0.09	54.35	1.47	-29.19	0.07
632-11 M (v) 2	1.40	0.31	0.72	0.26	52.79	0.81	-29.24	0.06
632-11 M (v) 3	1.02	0.04	0.38	0.02	54.38	0.38	-29.78	0.15
632-11 N (v) 1	0.96	0.03	0.38	0.21	53.63	0.79	-30.61	0.23
632-11 N (v) 2	0.95	0.05	0.22	0.29	50.96	3.20	-30.53	0.07
632-11 N (v) 3	0.86	0.02	0.34	0.20	51.51	0.53	-30.18	0.08
632-11 M (j) 1	1.17	0.04	3.76	0.04	57.30	0.04	-27.77	0.01
632-11 M (j) 2	1.42	0.02	4.55	0.06	56.86	0.33	-28.59	0.08
632-11 M (j) 3	1.27	0.00	3.28	0.02	56.86	0.01	-28.19	0.02
632-11 N (j) 1	1.27	0.06	4.34	0.13	55.83	0.22	-28.93	0.11
367-9 M (v) 1	0.88	0.04	0.86	0.13	53.27	0.05	-30.53	0.02
367-9 M (v) 2	1.00	0.03	1.51	0.13	53.50	0.31	-30.22	0.13
367-9 M (v) 3	0.81	0.06	0.67	0.03	51.74	0.43	-30.65	0.07
367-9 N (v) 1	0.70	0.03	1.36	0.34	51.09	0.58	-31.10	0.06
367-9 N (v) 2	0.74	0.02	0.76	0.00	50.62	0.53	-30.28	0.08
367-9 N (v) 3	0.58	0.00	1.41	0.02	51.26	0.05	-31.94	0.08
367-9 M (j) 1	1.54	0.06	0.89	0.10	55.63	0.73	-29.97	0.08
367-9 M (j) 2	1.40	0.02	0.47	0.11	55.95	0.22	-29.96	0.22
367-9 M (j) 3	1.98	0.01	-0.91	0.21	55.64	0.90	-31.32	0.10
367-9 N (j) 1	1.51	0.02	0.83	0.09	55.13	0.41	-29.94	0.01
367-9 N (j) 2	1.60	0.15	-0.60	0.00	56.26	0.87	-31.14	0.03
367-9 N (j) 3	0.99	0.05	0.98	0.04	53.33	1.86	-30.63	0.06
697-2 M (v) 1	1.09	0.24	1.25	0.12	53.83	0.84	-28.61	0.16
697-2 M (v) 2	1.34	0.12	0.11	0.26	52.69	0.46	-30.09	0.05
697-2 M (v) 3	1.03	0.03	1.28	0.14	52.85	0.42	-29.10	0.17
697-2 N (v) 1	1.50	0.19	0.76	0.07	47.40	3.84	-29.98	0.19

*Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījuma programmas 2016. – 2021. gadam 5. zinātniskās izpētes misijas  
“Ienestā minerālā slāpekļa aprīte (N izotopi skujās un mētrās)” gala ziņojums*

Parauga Nr.	wN, %	SD	$\delta_{15}\text{N}$	SD	wC, %	SD	$\delta_{13}\text{C}$	SD
697-2 N (v) 2	1.42	0.23	0.16	0.53	52.72	0.07	-29.91	0.13
697-2 N (v) 3	1.56	0.02	-1.30	0.07	50.25	1.16	-29.63	0.05
697-2 M (j) 1	1.13	0.05	-0.44	0.09	55.32	0.21	-29.46	0.03
697-2 M (j) 2	1.22	0.04	0.86	0.05	55.13	0.41	-28.00	0.05
697-2 M (j) 3	1.00	0.10	1.20	0.16	55.68	0.75	-28.97	0.09
697-2 N (j) 1	1.34	0.05	-1.06	0.01	55.60	0.57	-28.91	0.00
632-11 N (j) 2	1.52	0.07	5.49	0.08	56.55	0.50	-28.05	0.09
632-11 N (j) 3	1.33	0.07	0.90	0.08	56.97	1.05	-28.00	0.02
min.mēsli	10.83	0.25	-2.25	0.11	27.41	1.04	-20.08	0.07
697-2 N (j) 2	1.16	0.04	0.07	0.07	56.05	0.20	-29.02	0.04
697-2 N (j) 3	1.14	0.09	-0.02	0.17	54.64	1.75	-28.46	0.00
367-9 Ap-1	0.06	0.00	-1.42	1.42	1.28	0.00	-26.68	0.11
367-9 Ap-2	0.03	0.00	-2.86	1.06	0.51	0.02	-26.74	0.21
367-9 Ap-3	0.04	0.00	-0.09	0.45	0.58	0.09	-26.04	0.51
697-2 Ap-1	0.20	0.21	-0.36	3.24	4.14	4.57	-27.84	0.04
697-2 Ap-2	1.23	0.10	0.23	0.40	46.82	1.74	-26.91	0.46
697-2 Ap-3	0.57	0.05	2.44	0.08	16.30	1.43	-27.34	0.01
319-9 Ap-1	0.03	0.00	-4.52	0.66	0.57	0.08	-26.10	0.25
319-9 Ap-2	0.13	0.06	-0.71	0.57	4.15	2.14	-27.05	0.22
319-9 Ap-3	0.08	0.01	-0.94	0.27	2.03	0.28	-26.80	0.04
632-11 Ap-1	0.02	0.02	-18.25	20.53	0.49	0.10	-26.60	0.05
632-11 Ap-2	0.02	0.01	-11.76	10.92	0.40	0.15	-26.90	0.14
632-11 Ap-3	0.01	0.00	-12.90	0.62	0.24	0.01	-26.54	0.41
A.egle	0.67	0.01	-1.78	0.13	45.22	0.22	-25.70	0.30
A.priede	0.85	0.00	-2.11	0.12	47.73	0.36	-26.10	0.01