

MINERĀLĀ SLĀPEKĻA DINAMIKA AUGSNĒ 2015.–2016. GADA IZMĒĢINĀJUMOS *MINERAL NITROGEN IN SOIL IN THE FIELD TRIALS OF 2015–2016*

Aldis Kārklīņš, Ināra Līpenīte, Antons Ruža

LLU Lauksaimniecības fakultāte

Aldis.Karklins@llu.lv

Abstract. Mineral ($N-NO_3+N-NH_4$) nitrogen content in soil was monitored during crop vegetation of 2015 and 2016. Research polygons were located in six geographical places of Latvia and consisted of 24 trial plots covering the diversity of soil conditions, crops and nitrogen fertiliser applications. The aim of the study was to investigate the distribution of mineral nitrogen ($N_{min.}$) content within the soil profile (0–30; 30–60 and 60–90 cm depth) monthly, starting from early spring up to late autumn. The crops grown included winter and spring wheat, winter rape, spring barley, potatoes, faba bean, maize and vetch-oat mixture for green forage. Different pattern of nitrogen applications was realized starting from 0 up to 240 kg ha⁻¹ N. The content of mineral nitrogen in soil was variable depending on weather conditions, crop grown, soil and fertiliser applications. During vegetation period at the time of soil tillage and fertiliser application increase of $N_{min.}$ content in soil was observed, especially in the topsoil layer. During summer time $N_{min.}$ content decreased gradually due to its consumption by crops. The main amount of $N_{min.}$ was placed in the layer at 0 – 30 cm depth in the form of nitrates. In most cases after harvesting of crops $N_{min.}$ content in soil increased again causing some environmental risks as a result of potential leaching losses.

Key words: ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, nitrogen fertilisers.

Ievads

Kultūraugiem viegli izmantojamie minerālā slāpekļa resursi augsnē ir svarīgs faktors augstu ražu iegūšanai. Minerālā slāpekļa krājumi augu veģetācijas perioda laikā ir mainīgi, jo tos parasti papildina gan ar mēslojumu augsnē nonākušais slāpekļlis, gan arī augsnes organiskās vielas un organisko mēslošanas līdzekļu mineralizācijas gaitā radušies savienojumi. Līdztekus tam minerālie slāpekļa savienojumi tiek imobilizēti organiskās vielas sastāvā, nitrātu veidā slāpekļlis ar ūdens plūsmu pārvietojas lejup pa augsnes profilu un var izskaloties no augsnes, bet anaerobos augsnes apstākļos notiek dažādu slāpekļa gāzveida savienojumu emisija, kas samazina kopējos minerālā slāpekļa resursus augsnē (Mary et al., 1996; Robertson, Groffman, 2007). Neskatoties uz to, slāpekļa mēslošanas rekomendāciju izstrādē arvien biežāk tiek ietverti dati par augiem pieejamiem minerālā slāpekļa krājumiem augsnē veģetācijas perioda sākumā (Staugaitis et al., 2007; Rutkowska, Fotyma, 2011; Fertilizer manual ..., 2010). Tāpat svarīgi zināt minerālā slāpekļa atlikumu augsnē veģetācijas perioda beigās pēc tā akumulācijas kultūraugu biomasā. Šo neizmantoto slāpekļa krājumu apzināšana dod iespēju precizēt ziemājiem rudenī nepieciešamā slāpekļa mēslojuma vajadzību, kā arī lemt par starpkultūru audzēšanu un citiem pasākumiem, lai samazinātu potenciālos slāpekļa zudumus no augsnes rudens un ziemas periodā (Thorup-Kristensen, Nielsen, 1998; Crews, Peoples, 2005).

Augsnes minerālā slāpekļa krājumu veidošanos ietekmē augsnes fizikālās, ķīmiskās un bioloģiskās īpašības, agrotehniskie paņēmieni, un arī vides apstākļi (mitrums un temperatūra). Tas kopumā nosaka slāpekļa savienojumu akumulēšanos, koncentrāciju un noārdīšanās apstākļus augsnē, veidojot atšķirīgu augiem pieejamo slāpekļa resursu nodrošinājumu (Zebarth et al., 2009). Šī pētījuma mērķis bija izpētīt un novērtēt minerālā slāpekļa dinamiku veģetācijas perioda gaitā atšķirīgās augsnēs un atšķirīgos šo augšņu apsaimniekošanas apstākļos.

Materiāli un metodes

Pētījums veikts Zemgales reģiona izmēģinājumu un ražošanas laukos izvietotajos pētījumu poligonos 2015. un 2016. gadā. Poligonu atrašanās vieta: Poķi (2 vietās), Saldus, Pēterlauki, Bērze, Vecauce. Poligona centru iezīmē ar mietiņu, kura atrašanās vieta ir fiksēta ar atzīmēm lauka malā vai pie kāda nepārvietojama objekta un kura koordinātas ir izmērītas ar GPS, pielietojot visaugstāko pieejamo precizitāti. Paraugošanas laukums – 2.5 m rādiusā no šī punkta. Poligona platība – 19.625 m². Katrā vietā (izņemot Bērzi un Vecauci) veido 3 poligonus ar atšķirīgu slāpekļa mēslojuma līmeni, vai arī izvēlas atbilstošus izmēģinājuma lauciņus: 1. – bez papildus N (slāpekļa mēslojums netiek lietots), 2. – vidēja N deva, 3. – augsta N deva. Bērzē un Vecaucē lauka raksturīgās vietās izvēlēti 3 stacionāri novērojumu punkti.

Augšņu raksturojums. Pētījumu poligons Poķi 1. Virsēji velēnglejotā augsne (GLu)¹. Virskārtā: granulometriskais sastāvs – putekļi, apakškārtā – putekļains smilšmāls. Atbilstoši WRB – *Endocalcic Stagnic Albic Luvisol (Aric, Katoloamic, Ochric, Episiltic)*². Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 7.33, apakškārtā – 7.60, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 0.982%.

Pētījumu poligons Poķi 2. Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā: smaga mālsmilts, apakškārtā – mālsmilts. Atbilstoši WRB – *Eutric Endocalcaric Endoluvic Albic Planosol (Aric, Endoclayic, Drainic, Epiloamic, Raptic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.33, apakškārtā – 6.50, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.119%.

Pētījumu poligons Pēterlauki (ziemas rapsis). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā: viegls putekļu māls, apakškārtā – putekļains smilšmāls. Atbilstoši WRB – *Endocalcaric Luvisol (Aric, Cutanic, Hypereutric, Endoraptic, Siltic, Protostagnic, Epiprotovertic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.70, apakškārtā – 6.80, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.160%.

Pētījumu poligons Pēterlauki (ziemas kvieši). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā: putekļains smilšmāls, apakškārtā – smags māls. Atbilstoši WRB – *Endocalcaric Abruptic Luvisol (Aric, Cutanic, Hypereutric, Raptic, Siltic, Protostagnic, Epiprotovertic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.90, apakškārtā – 6.90, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.390%.

Pētījumu poligons Saldus (ziemas kvieši). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā: smilšmāls/smaga mālsmilts, apakškārtā – smags smilšmāls/mālsmilts. Atbilstoši WRB – *Haplic Luvisol (Aric, Cutanic, Loamic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.50–7.20, apakškārtā – 6.50–6.60. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 0.928–1.566%.

Pētījumu poligons Bērze (5–1). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā: smilšmāls/smaga mālsmilts, apakškārtā – smags smilšmāls/mālsmilts. Atbilstoši WRB – *Eutric Endocalcaric Protostagnic Retisol (Abruptic, Aric, Clayic, Cutanic, Drainic, Raptic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.92, apakškārtā – 7.16, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.392%.

Pētījumu poligons Bērze (5–2). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā un apakškārtā: smags putekļu māls. Atbilstoši WRB – *Eutric Luvic Mollic Stagnosol (Aric, Clayic, Drainic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.58, apakškārtā – 6.36, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 2.929%.

Pētījumu poligons Bērze (5–3). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā un apakškārtā: smags putekļu māls. Atbilstoši WRB – *Endocalcaric Luvisol (Clayic, Cutanic, Raptic, Protovertic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 7.03, apakškārtā – 6.82, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.372%.

Pētījumu poligons Vecauce (6–1). Trūdaini kūdrainā glejaugsne (GLa). Virskārtā un apakškārtā: kūdra. Atbilstoši WRB – *Rheic Drainic Sapric Histosol (Hypercalcic, Amphilimnic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 7.20, apakškārtā – 6.93. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 25.197%, augsnes apakškārtā – 40.847%.

Pētījumu poligons Vecauce (6–2). Velēnu glejaugsne (GLv). Virskārtā: mālsmilts, apakškārtā – smalka mālsmilts. Atbilstoši WRB – *Calcaric Reductogleyic Gleysol (Aric, Drainic, Loamic, Protospodic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 7.62, apakškārtā – 6.27, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.845%.

Pētījumu poligons Vecauce (6–3). Virsēji velēnglejotā augsne (GLu). Virskārtā: smaga smalka mālsmilts, apakškārtā – smaga mālsmilts. Atbilstoši WRB – *Luvic Phaeozem (Aric, Loamic, Protostagnic)*. Augsnes reakcija pH KCl virskārtā 7.05, apakškārtā – 6.76, karbonāti sastopami jau aramkārtā. Organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 1.549%.

Audzētie kultūraugi un tiem pamatmēslojumā un papildmēslojumā iestrādātais slāpekļa daudzums ir parādīts 1. tabulā.

¹ Šeit un turpmāk, augšņu latviskie nosaukumi atbilstoši (Latvijas ..., 2009).

² Šeit un turpmāk, augšņu nosaukumi atbilstoši starptautiskai nomenklatūrai (IUSS Working Group ..., 2015).

Pētījuma vietu raksturojums
Characteristics of the experimental sites

Pētījumu poligons		Audzētais kultūraugs		Iestrādāts 2015./2016. g., kg ha ⁻¹ N	
Vieta	Nr.	2015.g.	2016.g.	pamatmēslojumā	papildmēslojumā
Poķi 1	1-13	z.kvieši	z.kvieši	14 / 30.8	153 / 170
	1-14	z.kvieši	z.kvieši	14 / 30.8	153 / 170
	1-15	z.kvieši	z.rapsis	14 / 14	153 / 170
	1-16	z.kvieši	z.rapsis	14 / 14	153 / 170
	1-23	pupas	z.kvieši	37.5 / 30.8	0 / 170
	1-24	pupas	z.kvieši	37.5 / 30.8	0 / 170
Poķi 2	2-1	kartupeļi	-	24 / -	0 / -
	2-2	kartupeļi	-	24 / -	60 / -
	2-3	kartupeļi	-	24 / -	120 / -
Pēterlauki	3-1	z.rapsis	z.rapsis	14 / 14	0 / 0
	3-2	z.rapsis	z.rapsis	14 / 14	150 / 150
	3-3	z.rapsis	z.rapsis	14 / 14	240 / 240
	3-4	z.kvieši	z.kvieši	14 / 15.4	0 / 0
	3-5	z.kvieši	z.kvieši	14 / 15.4	150 / 150
	3-6	z.kvieši	z.kvieši	14 / 15.4	240 / 240
Saldus	4-1	z.kvieši	v.kvieši	13.2 / 18	0 / 0
	4-2	z.kvieši	v.kvieši	13.2 / 18	120 / 120
	4-3	z.kvieši	v.kvieši	13.2 / 18	240 / 240
Bērze	5-1	v.mieži	pupas	5 / 4 t ha ⁻¹ putnu mēslu	48 / -
	5-2	z.rapsis	z.kvieši	17 / 17	152 / 180
	5-3	z.rapsis	-	17 / -	152 / -
Vecauce	6-1	v.mieži	z.kvieši	40 t ha ⁻¹ digest. / -	68 / 169.5
	6-2	v.mieži	z.kvieši	40 t ha ⁻¹ digest. / -	68 / 169.5
	6-3	kukurūza	vīķauzas	10 / -	51 / -

Augsnes paraugi minerālā slāpekļa noteikšanai ņemti līdz 90 cm dziļumam ik pa 30 cm katru mēnesi sākot ar veģetācijas atjaunošanos pavasarī līdz augsnes sasalšanai (vidēji 10 mēneši gadā). No katra poligona (izmēģinājuma lauciņa) vienā paraugošanas reizē tiek paņemti 3 paraugi: no 0–30 cm, 30–60 cm un 60–90 cm augsnes slāņa. Viena parauga masu iegūst veicot 2 – 3 augsnes urbumus. Paraugu ievieto polietilēna maisiņā, pievieno etiķeti un uzglabā termosomā. Pēc iespējas ātri paraugi tiek nogādāti laboratorijā. Ja to nevar izdarīt paraugu ņemšanas dienā, tad augsnes paraugus uzglabā saldētavā.

Noņemtajos augsnes paraugos nitrātu un amonija slāpekļa saturs noteikts 1 M kālija hlorīda ekstraktā (LVS ISO 14256–2). Augsnes mitruma saturs noteikts saskaņā ar LVS ISO 11465+TC1. Minerālā slāpekļa saturs izteikts miligramos kilogramā absolūti sausas augsnes, bet, ņemot vērā augsnes mitrumu, pārrēķināts miligramos kilogramā dabīgi mitras augsnes. Vadoties pēc augsnes tilpummasas, minerālā slāpekļa saturs pārrēķināts kilogramos vienā hektārā dabīgi mitras augsnes attiecīgā slānī.

Pavasārī, veģetācijas perioda sākumā, meteoroloģiskie apstākļi abos izmēģinājuma gados bija līdzīgi, kad nokrišņu daudzums un vidējā gaisa temperatūra bija tuva vidējiem ilggadīgiem novērojumiem. Vasaras un rudens periodā 2015. gadā bija izteikts mitruma deficīts, turpretī 2016. gadā nokrišņu summa ievērojami pārsniedza normu.

Pētījumā iegūtie rezultāti matemātiski apstrādāti izmantojot aprakstošās statistikas rīku, kā arī korelācijas un regresijas analīzes metodi.

Rezultāti un diskusijas

Minerālā slāpekļa krājumi augsnē pētījumu vietās ievērojami atšķirās, jo poligoni bija izvietoti dažādās augsnēs ar atšķirīgu kultūraugu audzēšanas agrotehniku, mēslošanas vēsturi un lietotā mēslojuma normām pētījuma periodā (2. tab.).

2. tabula *Table 2*

Vidējais minerālā slāpekļa saturs augsnē veģetācijas perioda laikā (marts – augusts)
2015. / 2016. gadā
*Average soil mineral nitrogen content during growing period (March – August)
of 2015 / 2016*

Pētījumu poligons		N _{min.} augsnes 0–90 cm slānī, kg ha ⁻¹	N _{min.} sadalījums pa augsnes profilu, %		
Vieta	Nr.		0–30 cm	30–60 cm	60–90 cm
Poķi 1	1–13	50.7 / 63.9	62 / 63	27 / 27	11 / 10
	1–14	57.5 / 72.3	56 / 70	29 / 23	15 / 7
	1–15	45.2 / 104.2	53 / 55	35 / 26	12 / 20
	1–16	49.4 / 70.5	58 / 58	28 / 30	14 / 13
	1–23	92.9 / 67.9	37 / 61	42 / 25	21 / 14
	1–24	89.4 / 55.3	48 / 62	31 / 25	21 / 13
Poķi 2	2–1	145.1 / –	42 / –	34 / –	24 / –
	2–2	209.4 / –	37 / –	41 / –	22 / –
	2–3	206.9 / –	47 / –	37 / –	16 / –
Pēterlauki	3–1	34.7 / 31.1	55 / 46	33 / 35	12 / 19
	3–2	45.9 / 55.2	62 / 59	29 / 30	9 / 11
	3–3	136.1 / 84.7	59 / 61	30 / 27	11 / 11
	3–4	51.6 / 18.9	47 / 56	37 / 35	16 / 9
	3–5	102.8 / 32.2	53 / 59	33 / 28	14 / 13
	3–6	125.9 / 49.0	64 / 62	24 / 28	12 / 10
Saldus	4–1	20.3 / 46.2	74 / 65	15 / 19	11 / 16
	4–2	39.1 / 56.2	67 / 77	19 / 15	14 / 8
	4–3	50.1 / 70.7	63 / 65	28 / 25	9 / 10
Bērze	5–1	88.7 / 86.1	49 / 59	31 / 26	20 / 14
	5–2	85.7 / 33.1	54 / 80	30 / 14	16 / 6
	5–3	65.7 / –	61 / –	20 / –	19 / –
Vecauce	6–1	131.6 / 208.1	34 / 33	38 / 41	28 / 26
	6–2	85.5 / 90.0	54 / 52	33 / 29	13 / 19
	6–3	184.8 / 93.8	68 / 42	24 / 22	8 / 36

Veģetācijas perioda laikā no marta līdz augustam vidējais augiem izmantojamā minerālā slāpekļa daudzums augsnes 0 – 90 cm slānī dažādās pētījuma vietās bija no 18.9 kg ha⁻¹ līdz 209.4 kg ha⁻¹ N. Visbiežāk, t.i. 50% gadījumu konstatētie vidējie minerālā slāpekļa krājumi bija no 50 – 100 kg ha⁻¹, 27% novērojumu tie bija mazāki par 50 kg ha⁻¹, vēl 16% – lielāki par 100 kg ha⁻¹, bet 3 pētījuma vietās krājumi pārsniedza 200 kg ha⁻¹ N. Lielāks minerālā slāpekļa saturs augsnē galvenokārt saistīts ar augstu slāpekļa minerālmēsli lietošanu, kā arī ar lielāku augsnes organiskās vielas saturu, bet mazāk izteikta bija audzētā kultūrauga ietekme. Mūsu izmēģinājumos augstāks minerālā slāpekļa saturs augsnē tika novērots kartupeļu, kukurūzas, rapša un pupu laukos, bet mazāks – kviešu un miežu sējumu laukos. Zinātnieki Lielbritānijā (Chambers, Richardson, 1993) ir veikuši pat augšņu diferencēšanu pēc minerālā slāpekļa uzkrājuma atkarībā no audzētajiem kultūraugiem: graudaugu un cukurbiešu laukos minerālā slāpekļa resursi novērtēti robežās no 40 līdz 120 kg ha⁻¹, rapša un kartupeļu laukos – 120–200 kg ha⁻¹, bet pie intensīvas organisko mēsli lietošanas un pēc zālāju iearšanas vēl augstākā līmenī – vairāk kā 200 kg ha⁻¹ N. Minerālā slāpekļa pētījumos Lietuvā (Arbačiauskas et al., 2014) konstatēts, ka zemākais minerālā slāpekļa saturs ir viegla granulometriskā

sastāva augsnēs, bet augstākais – smaga smilšmāla un māla augsnēs. Mūsu rezultāti šādu sakarību neuzrāda, jo pētījumu poligonos pārsvarā bija smilšmāla augsnes.

Minerālā slāpekļa sadalījums pa augsnes profilu nav vienmērīgs. Līdzīgi kā citos pētījumos (Staugaitis et al., 2008; Kolodziejczyk, 2013) arī mūsu novērojumi rāda, ka apmēram puse no minerālā slāpekļa krājumiem atrodas augsnes virskārtas 0–30 cm slānī, bet ievērojami mazāks daudzums – 60–90 cm dziļumā. Tomēr dažādās augsnēs un konkrētos agroklimatiskos apstākļos minerālo slāpekļa savienojumu migrācija un akumulācija pa augsnes slāņiem var veidoties atšķirīgi. 2015. un 2016. gadā iegūto augsnes paraugu izpēte parādīja, ka augšējā 0–30 cm slānī dažādās vietās atradās attiecīgi vidēji 34–74% un 33–80%, 30–60 cm dziļumā 15–42% un 14–35%, bet 60–90 cm dziļumā 8–28% un 6–36% no kopējiem minerālā slāpekļa krājumiem. Jo lielāki bija kopējie minerālā slāpekļa krājumi augsnē, jo salīdzinoši augstāks izrādījās tā saturs dziļākajos slāņos, līdz ar to īpatsvars virskārtā veidojās relatīvi zemāks. Starp minerālā slāpekļa krājumiem augsnes virskārtas 0–30 cm slānī un kopējo minerālā slāpekļa daudzumu 0–60 cm un 0–90 cm dziļumā konstatētas ciešas lineāras korelatīvas sakarības. Pēc divu gadu vidējiem datiem tās attiecīgi bija: $y = 1.2725x + 12.322$ ($R^2 = 0.9565$) un $y = 1.4411x + 18.307$ ($R^2 = 0.9309$). Līdzīgas sakarības noteiktas arī vairākos citos pētījumos (Arbačiauskas et al., 2014; Rutkowska, Fotyma, 2011). Tādējādi, ņemot par pamatu minerālā slāpekļa noteikšanas rezultātus augsnes paraugiem no 0–30 cm slāņa, varētu būt iespējams prognozēt minerālā slāpekļa krājumus arī dziļākos slāņos bez papildus augsnes paraugu ņemšanas, īpaši gadījumos, kad nepieciešams precizēt slāpekļa mēslošanas rekomendācijas kultūraugiem ar dziļu sakņu sistēmu.

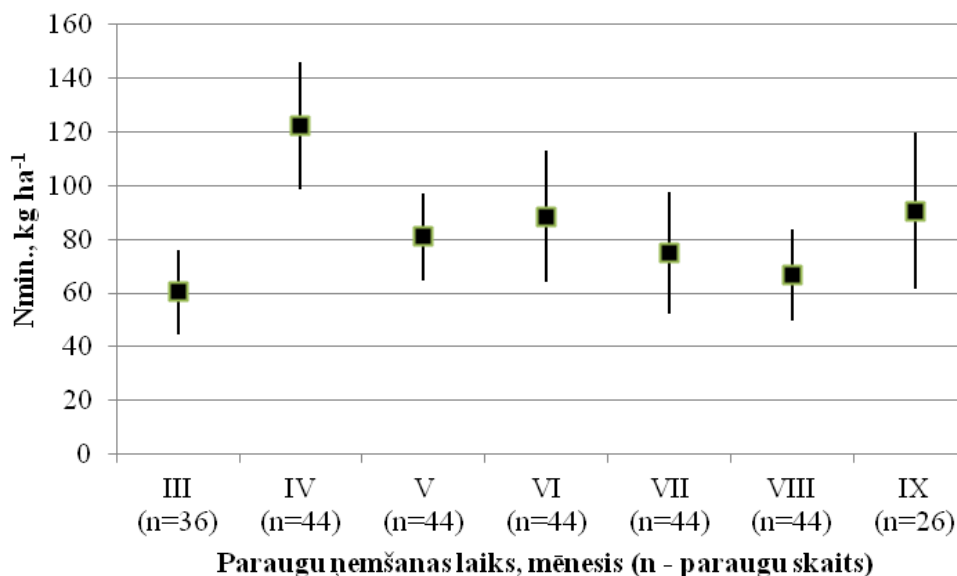
Minerālā slāpekļa krājumi augsnē veģetācijas perioda laikā nepārtraukti mainās, jo augsnē norisinās daudzveidīgi mikrobioloģiskie procesi, kuru rezultātā minerālā slāpekļa savienojumi gan veidojas un imobilizējas, gan arī zūd no augsnes. Noteiktos periodos slāpekļis augsnē nonāk ar slāpekli saturošu mēslojumu. Neatkarīgi no minerālo slāpekļa savienojumu izcelsmes, tos ontoģenēzes laikā izmanto augi (Luce et al., 2011; Müller, Clough, 2014). Minerālā slāpekļa resursu dinamika pētījuma poligonu augsnē norisinājās kvantitatīvi atšķirīgi, taču visos gadījumos tika konstatētas noteiktas tendences, ko pietiekami uzskatāmi raksturo veikto novērojumu vidējie rādītāji (3. tab.).

3. tabula Table 3

Minerālā slāpekļa krājumu dinamika augsnes 0–90 cm slānī vidēji pētījumu vietās, kg ha^{-1}
Dynamics of soil mineral nitrogen content in the layer 0 – 90 cm depth,
average in experimental sites, kg ha^{-1}

Rādītājs	Augsnes paraugu ņemšanas laiks, mēnesis						
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2015. gadā							
Vidēji	73.6	116.9	85.3	102.5	85.8	79.6	84.0
Standartklūda	10.6	15.8	12.5	20.6	20.4	13.7	17.3
Standartnovirze	52.1	77.3	61.5	101.1	97.6	66.9	73.3
Mediāna	60.4	99.0	63.9	45.4	45.7	64.5	59.6
Minimālā vērtība	18.1	19.5	20.3	10.7	15.7	23.0	27.0
Maksimālā vērtība	174.4	337.7	253.8	336.4	428.7	323.9	322.9
Novērojumu skaits	24	24	24	24	23	24	18
2016. gadā							
Vidēji	34.0	128.9	75.7	71.9	62.0	51.4	105.5
Standartklūda	2.4	17.9	9.7	10.0	7.8	7.8	24.7
Standartnovirze	8.4	79.9	43.5	44.5	35.1	34.9	70.0
Mediāna	33.2	124.2	66.7	59.9	51.9	39.3	93.7
Minimālā vērtība	20.1	26.8	21.8	23.8	23.2	30.7	27.0
Maksimālā vērtība	45.0	302.5	182.8	190.1	182.5	172.8	268.5
Novērojumu skaits	12	20	20	20	20	20	8

Kā rāda divu gadu pētījuma rezultāti, vismazāk minerālā slāpekļa augsnē 0–90 cm dziļumā bija agri pavasarī (martā) ņemtajos augsnes paraugos. 2015. gada martā bija vērojamas diezgan lielas krājumu atšķirības pētījumu vietās: no 18.1 kg ha⁻¹ pētījumu poligonā 4–1 līdz 174.4 kg ha⁻¹ – poligonā 5–3, bet 2016. gada martā atšķirības bija ievērojami mazākas. Šie minerālā slāpekļa krājumi raksturo daudzumu, kāds bija palicis augsnē no rudens resursiem pēc ziemas perioda. Slāpekļa mēslojuma lietošana veģetācijas perioda sākumā izraisīja krasu augsnes minerālā slāpekļa krājumu pieaugumu, izņemot dažas vietas, kur minerālā slāpekļa savienojumu daudzums augsnē martā jau sākotnēji bija augsts. Vidēji pētījumu vietās slāpekļa mēslojuma ietekmē minerālā slāpekļa resursi augsnes 0–90 cm slānī 2015. gadā pieauga par 43.3 kg, bet 2016. gadā – pat par 94.9 kg ha⁻¹ N. Turpmākajā periodā, pieaugot augu slāpekļa patēriņam, minerālā slāpekļa saturs augsnē samazinājās, lai gan gadījumos, kad tika lietots atkārtots slāpekļa papildmēslojums, bija vērojams jauns minerālā slāpekļa savienojumu koncentrācijas pieaugums. Tomēr sakarība starp otro slāpekļa mēslošanas devu un augsnes minerālā slāpekļa krājumu tūlītējām izmaiņām bija vāja. Pētījumā novērotās tendences uzskatāmi raksturo divu gadu vidējie rādītāji (1. att.), kas rāda būtisku minerālā slāpekļa krājumu palielināšanos augsnē pavasarī no dotā slāpekļa mēslojuma un būtisku samazināšanos mēneša laikā pēc kultūraugu mēslošanas. Turpmākajā periodā minerālā slāpekļa krājumi izmainās nedaudz. Veiktie novērojumi liecina, ka ražas novākšanas laikā minerālā slāpekļa krājumi augsnē bija pazeminājušies gandrīz līdz līmenim, kāds augsnē bija agri pavasarī. Periodā pēc ražas novākšanas, kad samazinās slāpekļa akumulācija augu biomasā un pastiprinās augsnes apstrādes aktivizētie mineralizācijas procesi, vērojams minerālā slāpekļa krājumu pieaugums, taču pētījumu vietās šī tendence nav vienādi izteikta, par ko liecina visai plašais ticamības intervāls slāpekļa krājumiem augsnē septembrī.



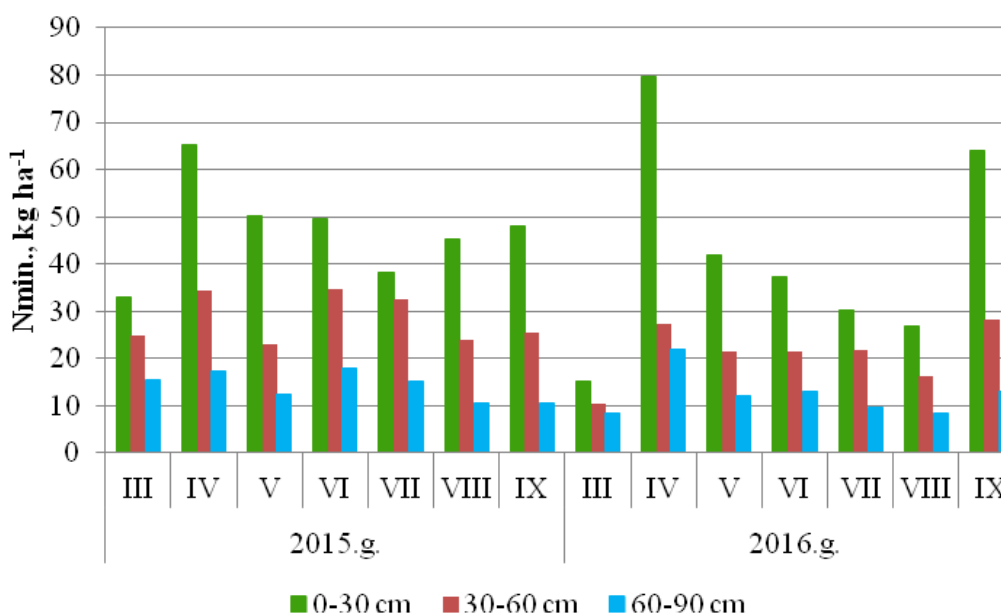
1. att. Minerālā slāpekļa dinamika pētījumu poligonos augsnes 0–90 cm slānī vidēji 2 gados (ar vidējā aritmētiskā ticamības intervālu $p=0.95$).

Fig. 1. Mineral nitrogen content in soil layer of 0–90 cm depth (with confidence level at $p=0.95$), in two years average.

Arī citos pētījumos konstatēta krasa minerālā slāpekļa satura palielināšanās augsnē īslaicīgi pēc kultūraugu mēslošanas ar sekojošu krājumu sarukumu veģetācijas perioda gaitā (Corbeels et al., 1999; Astatkie et al., 2001; Kayser et al., 2008; Marchetti, Castelli, 2011). Taču, piemēram, Zviedrijā veiktajos pētījumos (Engström, Linden, 2009), zemākais minerālā slāpekļa daudzums augsnē konstatēts nevis pavasarī, bet gan vasaras otrajā pusē, kad slāpekļa resursi ir akumulēti ražā. Jāpiezīmē, ka, krājumu pieaugumu augsnē ražas novākšanas laikā salīdzinājumā ar sējas laiku akcentē, piemēram, P. Szulc (2012), bet M. Kolodziejczyk (2013) savā pētījumā konstatējis, ka lielāki minerālā slāpekļa krājumi augsnē pēc vasaras kviešu ražas novākšanas salīdzinājumā ar sējas laiku vērojami tikai tad, ja lietotā slāpekļa mēslojuma norma pārsniegusi 160 kg ha⁻¹ N. Nedaudz atšķirīgi secinājumi

iegūti ilggadīgā izmēģinājumā, kur novērots, ka vismazāk augiem izmantojamā slāpekļa augsnē ir augustā tieši pēc ražas novākšanas, tomēr, vēlāk rudenī minerālā slāpekļa saturs ir augstāks nekā pavasarī (Sosulski, Mercik, 2011).

Dažādos augsnes dziļumos minerālā slāpekļa krājumi pavasara–rudens periodā bija atšķirīgi un arī mainīgi (2. att.). Kā rāda rezultāti, abos pētījumu gados visvairāk augiem pieejamā slāpekļa bija augsnes virskārtas 0–30 cm slānī, taču veģetācijas perioda gaitā nedaudz pieauga minerālā slāpekļa īpatsvars arī dziļāk augsnē. Arī viskrasākās minerālā slāpekļa krājumu izmaiņas tika novērotas 0–30 cm dziļumā. Sākoties augsnes apstrādes, sējas un kultūraugu mēslošanas darbiem, minerālā slāpekļa krājumi laika posmā no marta vidus līdz aprīļa vidum 2015. gada izmēģinājumos palielinājās no 33.1 līdz 65.3 kg ha⁻¹, bet nākamajā gadā pieaugums bija vēl lielāks – no 15.3 līdz 79.6 kg ha⁻¹ N. Dziļākajos augsnes slāņos slāpekļa krājumu izmaiņas bija ievērojami mazākas, lai gan 2016. gada aprīlī arī 30–60 cm un 60–90 cm dziļumā minerālā slāpekļa krājumi salīdzinājumā ar martu dubultojās. Minerālā slāpekļa daudzuma palielināšanos augsnē dziļāk par 30 cm šajā periodā varēja izraisīt paaugstinātais nokrišņu daudzums martā un aprīlī, kas abos gados pārsniedza vidējos ilggadīgos rādītājus.



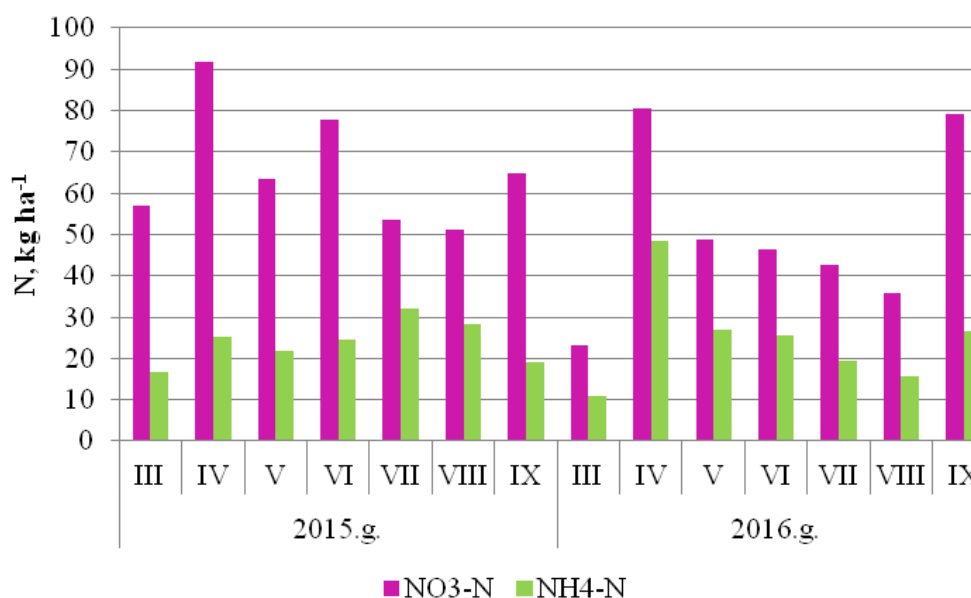
2. att. Minerālā slāpekļa krājumu dinamika augsnes profila slāņos, vidēji pētījumu vietās.

Fig.2. Mineral nitrogen content at different soil layers, average for all sites

Sakarā ar veikto agrotehnisko pasākumu atšķirībām pētījumu vietās, minerālā slāpekļa noteikšanas rezultāti raksturojās ar lielu variāciju un vidējie rādītāji ne vienmēr adekvāti atainoja slāpekļa dinamiku augsnē. Piemēram, 2015. gadā atsevišķos poligonos augstu slāpekļa mēslojuma norma lietošana izraisīja krasu minerālā slāpekļa satura pieaugumu jūnijā aramkārtā un jūnijā – jūlijā zemaramkārtā, kas netika novērots citās pētījuma vietās. Datu apstrādes rezultātā noteikts, ka minerālā slāpekļa krājumu mediānas rādītāji šajos paraugu ņemšanas laikos bija ievērojami zemāki. Vadoties pēc tiem, minerālā slāpekļa krājumi augsnes virskārtas 0–30 cm slānī periodā no aprīļa līdz maijam un no maija līdz jūnijam samazinājās attiecīgi par 13.8 un 11.6 kg ha⁻¹ N. Savukārt 2016. gada dati parādīja, ka periodā no maija līdz pat augustam augsnes virskārtas 0–30 cm slānī minerālā slāpekļa krājumi pakāpeniski samazinās, bet dziļāk augsnē izmaiņas ir nelielas. Rudenī pēc ražas novākšanas abos gados bija novērojams minerālā slāpekļa satura pieaugums. Īpaši izteikts tas konstatēts 2016. gada septembra beigās no 0–30 cm dziļuma ņemtajiem paraugiem, kur mēneša laikā krājumi bija palielinājušies par 37.2 kg ha⁻¹ N un ievērojami pārsniedza minerālā slāpekļa krājumus agrā pavasarī. Dziļākajos slāņos šī tendence bija izteikta vājāk. Līdzīga sakarība konstatēta arī pētījumā Polijā (Dresler et al., 2011), kur rudenī augsnes virskārtas 0–30 cm slānī neatkarīgi no lietotā slāpekļa mēslojuma normas, minerālā slāpekļa saturs ir bijis lielāks, bet 30–60 cm un 60–90 cm dziļumā – mazāks nekā pavasarī. Savukārt citā publikācijā (Astatkie et al., 2001) minēts, ka rudenī visos augsnes

dziļumos minerālā slāpekļa koncentrācija ir bijusi zema, bet galvenās izmaiņas veģetācijas perioda laikā konstatētas 0–15 cm, bet mazākā mērā 15–30 cm slānī. Pēc mūsu rezultātiem lielākajā daļā pētījuma poligona augsnes zemaramkārtas slāņos minerālā slāpekļa krājumi no maija līdz pat novembrim svārstījās visai šaurā intervālā, neuzrādot izteiktu tendenci samazināties.

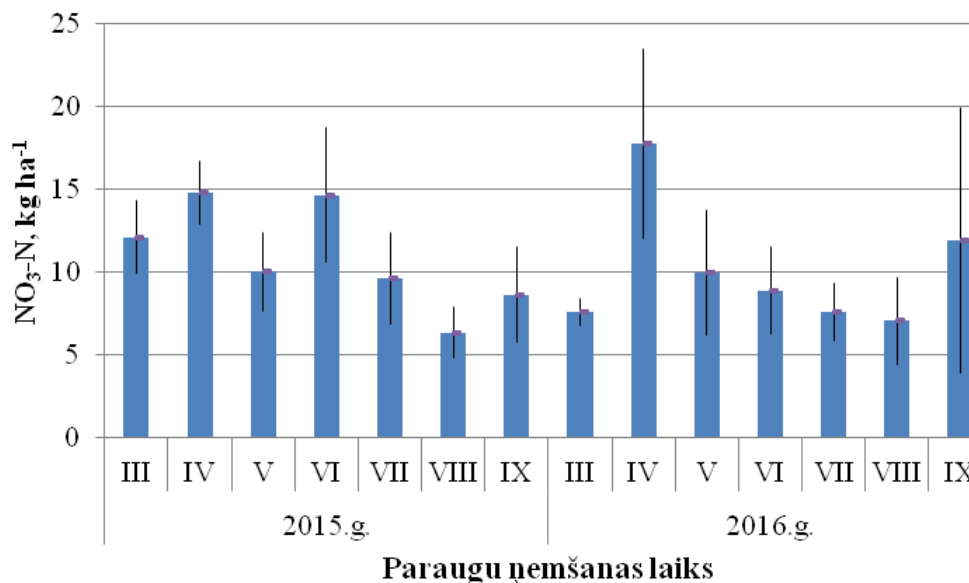
Minerālā slāpekļa savienojumu ($\text{NH}_4\text{-N}$ un $\text{NO}_3\text{-N}$) īpatsvars un krājumi augsnē veģetācijas perioda laikā arī ir mainīgi, jo amonifikācijas un nitrifikācijas procesu norisi ietekmē dažādi faktori. Kā parādīja veiktā pētījuma rezultāti, divu gadu laikā, vairāk izteikta bija nitrātu slāpekļa dinamika, bet amonija slāpekļa krājumi augsnes 0–90 cm slānī pārsvarā svārstījās 15–30 kg ha^{-1} intervālā (3. att.). Nitrātu slāpekļa krājumi veģetācijas perioda laikā labi korelē ar kopējo minerālā slāpekļa krājumu maiņām. Raksturīgs ir krass nitrātu slāpekļa satura pieaugums pēc slāpekļa mēslojuma lietošanas ar tam sekojošu samazināšanos, augiem patērējot slāpekļa resursus. Tomēr rudenī pēc ražas novākšanas nitrātu slāpekļa krājumi augsnē atkal palielinājās. Piemēram, 2016. gada apstākļos nitrātu slāpekļa daudzums augsnē 0–90 cm dziļumā septembrī sasniedza 72.0 kg ha^{-1} , kas bija par 43.2 kg vairāk nekā krājumi augustā. Tas varēja būt saistīts ar augu slāpekļa patēriņa krasu samazināšanos pēc ražas novākšanas, kā arī ar labvēlīgiem apstākļiem organisko atlieku mineralizācijai un nitrifikācijas procesa norisei.



3. att. Nitrātu un amonija slāpekļa dinamika 0–90 cm augsnes slānī.

Fig.3. Nitrate and ammonium nitrogen content in the soil layer of 0–90 cm depth.

Nitrātu slāpekļis ir kustīgs un spējīgs pārvietoties lejup pa augsnes profilu, akumulēties dziļākos augsnes slāņos vai pat izskaloties no augsnes. Slāpekļa potenciālo izskalošanās risku vislabāk raksturo nitrātu slāpekļa krājumi augsnes 60–90 cm slānī (4. att.). Pēc divu gadu pētījuma datiem, vidējais nitrātu slāpekļa daudzums šajā augsnes slānī bija salīdzinoši neliels – tikai 10.5 kg ha^{-1} N. Tomēr atsevišķās pētījumu vietās noteiktos periodos tas sasniedza arī krietni lielāku daudzumu. Par atsevišķo novērojumu izkliedi liecina vidējo rezultātu standartklūdas intervāls, kas, piemēram, 2016. gada aprīlī un septembrī bija ļoti plašs. Tas norāda uz atšķirīgu nitrāta slāpekļa akumulāciju augsnes dziļākajos slāņos pētījumu vietās, kur audzēti dažādi kultūraugi un lietotas atšķirīgas mēslošanas normas.



4. att. Nitrātu slāpekļa dinamika augsnes 60–90 cm slānī (vidēji pētījumu vietās, ar standartkļūdu).
 Fig.4. Dynamics of nitrate nitrogen content in the soil layer of 60–90 cm depth.

Minerālā slāpekļa diagnostika dod iespēju risināt divas problēmas. Pirmkārt, minerālā slāpekļa daudzuma apzināšana augsnē pavasarī dod iespēju precizēt slāpekļa mēslošanas rekomendācijas, kultūraugu vajadzības nodrošināšanai paredzot arī augsnē esošo augiem pieejamos slāpekļa resursus (Rutkowska, Fotyma, 2011; Van Cleemput et al., 2008; Fertilizer manual ..., 2010). Otrkārt, minerālā slāpekļa krājumi augsnē rudenī sniedz informāciju par ziemājiem pieejamo slāpekļa daudzumu, kā arī norāda uz potenciāliem slāpekļa izskalošanās zudumiem, kas var rasties ziemas periodā, tādējādi dodot iespēju pareizāk izvēlēties agrotehniskos pasākumus, kuri ļautu samazināt nitrātu izskalošanos (Kayser et al., 2008; Haberle et al., 2009; Rutkowska, Fotyma, 2011). Mūsu pētījuma vietās 2015. un 2016. gada martā augu sakņu zonā (0–60 cm slānī) vidējais minerālā slāpekļa daudzums bija attiecīgi 58.1 un 25.6 kg ha⁻¹ N, taču augsnes paraugu ņemšanas vietās tas svārstījās plašā intervālā: no 17.3 līdz 152.2 kg ha⁻¹ N 2015. gadā un no 17.0 līdz 33.5 kg ha⁻¹ N 2016. gadā. Tas nozīmē, ka vidējais minerālā slāpekļa krājumu rādītājs kāda reģiona augsnēm ir vājš indikators mēslošanas normu precizēšanai. Kā norāda S.M. Knight (2006), šim nolūkam vislabāk būtu izmantot konkrētam laukam pavasarī noteiktos minerālā slāpekļa krājumu rādītājus, pie kam atceroties, ka arī to precizitāte visticamāk būs ± 5–20 kg ha⁻¹ N robežās. Lai pētījumu vai monitoringa datus sekmīgāk varētu iekļaut rekomendāciju sistēmās, ilgākā laika posmā iegūtie augsnes minerālā slāpekļa noteikšanas rezultāti jādiferecē pēc audzētajiem kultūraugiem, priekšaugiem, augsnes granulometriskā sastāva un organiskās vielas satura, lauka organisko mēsli lietošanas vēstures, jāņem vērā meteoroloģiskie apstākļi un citi faktori.

Secinājumi

Minerālā slāpekļa krājumi augsnē ir atkarīgi no augsnes īpašībām, audzētajiem kultūraugiem, lietotā mēslojuma, citiem agrotehniskiem pasākumiem un agroklimatiskajiem apstākļiem un var būt atšķirīgi pat viena lauka robežās. Veģetācijas perioda laikā minerālā slāpekļa krājumi krasi pieaug augsnes apstrādes, sējas un kultūrauga mēslošanas laikā, bet turpmākajā periodā, augiem patērējot slāpekļa resursus, tie pakāpeniski samazinās. Augsnes profilā galvenā minerālā slāpekļa daļa, galvenokārt kā nitrātu slāpekli, izvietota augsnes virskārtas 0–30 cm slānī. Pēc ražas novākšanas minerālā slāpekļa krājumi augsnē vairumā gadījumu palielinās, tādējādi radot potenciālu vides piesārņošanas risku.

Pateicība. Publikācija sagatavota Valsts pētījumu programmas Nr. 2014.10–4/VPP–7/5 projekta „Augsnes ilgtspējīga izmantošana un mēslošanas risku mazināšana (AUGSNE)” ietvaros.

Izmantotā literatūra

1. Arbačiauskas J., Staugaitis G., Vaišvila Z., Mažvila J., Adomaitis T., Šumskis D., Žičkiene L., Lubyte J., Mažeika R. (2014). The interdependence of mineral nitrogen content in different soil layers of Lithuanian agricultural lands. *Zemdirbyste-Agriculture*, Vol. 101, No. 2, p. 133 – 138.
2. Astatkie T., Madani A., Gordon R., Caldwell K., Boyd N. (2001). Seasonal variation of nitrate-nitrogen in soil profile in a subsurface drained field. *Canadian Biosystems Engineering*, Vol. 43, p. 1.1. – 1.6.
3. Chambers B.J., Richardson S.J. (1993). Relying on soil mineral nitrogen reserves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 63, p. 128 – 129.
4. Corbeels M., Hofman G., Van Cleemput O. (1999). Soil mineral nitrogen dynamics under bare fallow and wheat in Vertisols of semi-arid Mediterranean Morocco. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 28, p. 321 – 328.
5. Crews T.E., Peoples M.B. (2005). Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 72, p. 101 – 120.
6. Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P. (2011). Nitrate nitrogen in the soils of Eastern Poland as influenced by type of crop, nitrogen fertilisation and various organic fertilisers. *Journal of Central European Agriculture*, Vol. 12 (2), p. 367 – 379.
7. Engström L., Linden B. (2009). Importance of soil mineral nitrogen in early spring and subsequent net mineralisation for winter oilseed rape and peas in milder climate. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B – Soil and Plant Science, Vol. 59, p. 402 – 413.
8. *Fertilizer Manual* (RB209). (2010). 8th ed. DEFRA. Published by TSO and available from www.tsoshop.co.uk. 257 p.
9. Haberle J., Kusa H., Svoboda P., Klir J. (2009). The changes of soil mineral nitrogen observed on farms between autumn and spring and modelled with a simple leaching equation. *Soil and Water Research*, Vol. 4, p. 159 – 167.
10. IUSS Working Group WRB (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*, No. 106, Rome: FAO. 192 p.
11. Kayser M., Seidel K., Muller J., Isselstein J. (2008). The effect of succeeding crop and level of N fertilization on N leaching after break-up of grassland. *European Journal of Agronomy*, Vol. 29, p. 200 – 207.
12. Knight S.M. (2006). *Soil mineral nitrogen testing: practice and interpretation*. Research Review No. 59. The Arable Group, Morley St Botolph, Wymondham, Norfolk NR18 9DB. 14 p.
13. Kolodziejczyk M. (2013). Effect of nitrogen fertilization and application of soil properties improving microbial preparations on the content of mineral nitrogen in soil after spring wheat harvesting. *Journal of Central European Agriculture*, Vol. 14(1), p. 306 – 318.
14. *Latvijas augšņu noteicējs* (2009). A. Kārklīņš, I. Gemste, H. Mežals, O. Nikodemus, R. Skujāns. Jelgava: LLU. 240 lpp.
15. Luce M.S., Whalen J.K., Ziadi N., Zebarth B.J. (2011). Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Advances in Agronomy*. Vol. 112, p. 55 – 101.
16. Marchetti R., Castelli F. (2011). Mineral nitrogen dynamics in soil during sugar beet and winter wheat crop growth. *European Journal of Agronomy*, Vol. 35, p. 13 – 21.
17. Mary B., Recous S., Darwis D., Robin D. (1996). Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling. *Plant and Soil*, Vol. 181, p. 71 – 82.
18. Müller C., Clough T.J. (2014). Advances in understanding nitrogen flows and transformations: gaps and research pathways. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 152, p. 534 – 544.
19. Robertson G.P., Groffman P.M. (2007). Nitrogen transformations. *In: Soil Microbiology, Biochemistry and Ecology*. E.A. Paul (ed.). Springer, New York, USA, p. 341 – 364.
20. Rutkowska A., Fotyma M. (2011). Mineral nitrogen as a universal soil test to predict plant N requirements and ground water pollution – case study for Poland. *In: Principles, Application and Assessment in Soil Science*. Dr. Burcu E. Ozkaraova Gundor (Ed.). InTech, p. 333 – 350.

21. Staugaitis G., Vaisvila Z., Mazvila J., Arbačiauskas J., Adomaitis T., Fullen M.A.A. (2007). Role of soil mineral nitrogen for agricultural crops: Nitrogen nutrition diagnostics in Lithuania. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol. 53, Issue 3, p. 263 – 271.
22. Staugaitis G., Mažvila J., Vaišvila Z., Arbačiauskas J., Dalangauskiene A., Adomaitis T. (2008). Mineral nitrogen in Lithuanian soils. *Žemes Ūkio Mokslai*, Vol. 15, No. 3, p. 59 – 66.
23. Sosulski T., Mercik S. (2011). Dynamics of mineral nitrogen movement in the soil profile in long-term experiments. *Ecological Chemistry and Engineering*, Vol. 18, No. 4, p. 611 – 617.
24. Szulc P. (2012). Differences in the accumulation and redistribution of dry matter and N_{min} content in the cultivation of two different maize (*Zea mays* L.) cultivars for grain. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 21, No. 4, p. 1039 – 1046.
25. Thorup-Kristensen K., Nielsen N.E. (1998). Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nutrient supply for succeeding crops. *Plant and Soil*, Vol. 203, p. 79 – 89.
26. Van Cleemput O., Zapata F., Vanlauwe B. (2008). Use of trace technology in mineral fertilizer management. **In:** *Guidelines on Nitrogen Management in Agricultural Systems*. Training course series No 29. IAEA, Vienna. p. 19 – 126.
27. Zebarth B.J., Dury C.F., Tremlay N., Cambouris A.N. (2009). Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 89, p. 113 – 132.