

## RAŽĀ NESAISTĪTAIS SLĀPEKLIS VEĢETĀCIJAS PERIODA BEIGĀS – VEIDOŠANĀS UN SAMAZINĀŠANAS IESPĒJAS

### SURPLUS NITROGEN AT THE END OF VEGETATION – FORMATION AND POSSIBILITIES OF REDUCTION

Ināra Līpenīte, Aldis Kārklīšs, Antons Ruža

LLU Lauksaimniecības fakultāte

Inara.Lipenite@llu.lv

**Abstract.** Nitrogen is determinative plant nutrient for high yield formation and almost in all situations soil resources alone are not able to provide sufficient nitrogen supply for crops. Manure and fertiliser use together with nitrogen released from crop residues and soil humus provide nitrogen pool available for current crop. The literature review was aimed to analyse the amount of mineral nitrogen ( $N-NO_3$  and  $N-NH_4$ ) left in the soil after harvesting of crops. Due to the high mobility of mineral nitrogen, especially nitrates, our goal is to minimize these amounts, if the soil is left bare until the next spring. Several factors, which can influence the surplus  $N_{min}$  accumulation in soil after harvest was analysed: the use of manure and mineral fertilisers, unbalanced fertilisation, water deficit during vegetation, soil tillage methods and time. Measures and practical advice how to minimise nitrogen surpluses after crop harvest are discussed.

**Key words:** mineral nitrogen; nitrogen leaching, post-harvest residues; mineralisation.

#### Ievads

Slāpekļa mēslojuma lietošana ir būtisks garants augstas kultūraugu ražas un tās kvalitātes nodrošināšanai. Tomēr slāpekļa izmantošanas efektivitāte ļoti bieži ir zema. Izanalizējot sakarību starp slāpekļa daudzumu patērētajos mēslošanas līdzekļos un slāpekļa uzkrājumu iegūtajā augkopības produkcijā 131 pasaules valstī, zinātnieki konstatējuši ievērojamu disproporciju starp slāpekļa ienesi un iznesi. Atsevišķos reģionos intensīva mēslošana dod aizvien mazākus ražas pieaugumus, tāpēc veidojas liels ražā nesaistītā slāpekļa pārpalikums, citās valstīs līdzīgi palielinās gan mēslošanas apjoms, gan arī slāpekļa iznese. Lielā daļā Eiropas valstu, kur sekmīgi tiek vienlaicīgi sabalansēti vairāki augu augšanu noteicošie faktori, slāpekļa izmantošanas efektivitāte uzlabojas un pat ar salīdzinoši zemākām slāpekļa normām tiek paaugstinātas kultūraugu ražas. Tomēr arī šeit ražā nesaistītā slāpekļa pārpalikums joprojām ir par lielu, lai saimniekošanu uzskatītu par ekoloģiski drošu (Lassaletta et al., 2014). Vietumis Eiropā, piemēram, Flandrijas reģionā Beļģijā un Bādenes – Virtembergas reģionā Vācijā, likumdošanā ir noteikts maksimāli pieļaujama minerālā slāpekļa uzkrājums augsnē ražas novākšanas laikā, kas tādējādi kalpo par indikatoru ekoloģiski drošai saimniekošanai (De Clercq et al., 2001).

Minerālā slāpekļa krājumi augsnē ir atkarīgi no lietotā mēslojuma daudzuma, no mineralizācijas un imobilizācijas procesu intensitātes, no augu slāpekļa patēriņa, kā arī no slāpekļa zudumiem izskalošanās un emisijas rezultātā. Nosakot minerālā slāpekļa saturu augsnē, agri pavasarī veģetācijas perioda sākumā var iegūt vērtīgu informāciju par potenciālo augu slāpekļa nodrošinājumu un mēslošanas līdzekļu lietošanas nepieciešamību, izvēlēties piemērotas slāpekļa mēslojuma normas, lai attiecīgajās augu attīstības fāzēs nodrošinātu tā vajadzību. Savukārt apzinot minerālā slāpekļa saturu augsnē augu veģetācijas perioda beigās, nereti tiek konstatēts liels audzētā kultūrauga biomasā nesaistītā minerālā slāpekļa pārpalikums. Tas var būt noderīgs, lai apgādātu ziemājus vai starpkultūru ar rudens periodā veģetatīvās masas veidošanai nepieciešamo slāpekli, bet visbiežāk neizmantotais minerālā slāpekļa uzkrājums nitrātu veidā izskalojas no augsnes, radot neproduktīvus slāpekļa zudumus, kā arī apkārtējās vides piesārņošanu (Rutkowska, Fotyma, 2011).

Literatūras analīzes mērķis bija noskaidrot faktoros, kas izraisa būtisku minerālā slāpekļa savienojumu daudzumu uzkrāšanos augsnē veģetācijas perioda beigās, lai apzinātu iespējas ražā nesaistītā slāpekļa krājumu un vides piesārņošanas risku samazināšanai.

**Organisko mēslošanas līdzekļu lietošana** palielina dažādu slāpekli saturošu savienojumu frakciju daudzumu augsnē, kuras atšķiras pēc ķīmiskā sastāva, C/N attiecības u.c. īpašībām. Tomēr, kā rāda prakse, šo mēslošanas līdzekļu lietošana ne vienmēr nodrošina kultūraugu ražas būtisku palielināšanos, jo slāpeklis, kas ir saistīts organiskos savienojumos, mineralizējas visai lēni. Vairāk augiem viegli izmantojamā minerālā slāpekļa satur šķīdumā un fermentācijas atliekas, bet mazāk –

pakaišu kūtsmēsli un komposti. Taču arī ne visu mēslojumā esošo amonija slāpekļa daudzumu varēs izmantot augi. Noskaidrots, ka apmēram 25% no šķīdriem esošā amonija slāpekļa tiek imobilizēti mikroorganismu biomasā jeb augsnes organiskajā vielā jau pāris nedēļu laikā pēc mēslošanas un tā turpmāka mineralizācija var ilgt vairākus gadus (Sorensen, Amato, 2002). Fermentācijas atliekās esošā minerālā slāpekļa pieejamība augiem ir augstāka, jo ogleklis šajā mēslošanas līdzeklī ir vajākam noārdāmu savienojumu veidā, tāpēc ir apgrūtināta minerālā slāpekļa imobilizācija. Tas veicina minerālā slāpekļa uzkrāšanos augsnē.

Kompostos un pakaišu kūtsmēsli sastāvā esošās slāpekli saturošās organiskās vielas mineralizējas pakāpeniski, tāpēc to ietekme uz minerālā slāpekļa krājumu veidošanos augsnē ir grūtāk prognozējama. Taču regulāra šādu mēslošanas līdzekļu izmantošana kopā ar minerālmēsliem vienmēr ir saistīta ar minerālā slāpekļa uzkrāšanos augsnē periodos, kad slāpekli neizmanto augi (Gutser et al., 2005; Hartl, Ethart, 2005). Lai gan organisko slāpekļa savienojumu mineralizācijas ātrums ir atšķirīgs, to nonākšana augsnē visos gadījumos palielina nitrātu slāpekļa krājumus. Noteikts, ka vienāda slāpekļa norma minerālmēsli un šķīdriem veidā nodrošina līdzīgu minerālā slāpekļa uzkrājumu augsnē. Nitrātu saturs augsnes virskārtas 0–25 cm slānī ir līdzīgs gan pakaišu kūtsmēsli, gan arī šķīdriem gadījumā, taču lietojot pakaišu kūtsmēslus, augsta nitrātu koncentrācija vērojama arī dziļāk augsnes profilā, kas nav tik izteikta šķīdriem variantā (Sadej, Przekwas, 2008).

Citos pētījumos (Yang et al., 2004; Dresler et al., 2011) tieši šķīdriem lietošana ir izraisījusi izteiktāku minerālā slāpekļa migrāciju pa augsnes profila slāņiem. Savukārt izmēģinājumos Vācijā (Möller, Stinner, 2009) rudenī kultūraugiem augu sekā izmantotais organiskais mēslojums minerālā slāpekļa saturu augsnē nav ietekmējis. Vienīgi pakaišu kūtsmēsli lietošana kartupeļu mēslošanai ir veicinājusi minerālā slāpekļa uzkrājumu augsnē veģetācijas perioda beigās, kas nav novērots mēslošanai izmantojot šķīdriem vai digestātu.

Kā rāda pieredze (Paul, Zebarth, 1997), šķīdriem nereti izved uz lauka rudenī pēc ražas novākšanas, kaut arī lauku nav plānots apsēt. Šķīdriem esošais slāpeklis pēc iestrādes augsnē atkarībā no iestrādātās normas būtiski palielina amonija slāpekļa saturu augsnes aramkārtā. Pēc 2–4 nedēļām tā saturs gan pakāpeniski samazinās, un nav novērojama amonija jonu koncentrācijas palielināšanās zemākos horizontos. Taču amonija slāpekļa satura samazināšanās sakrīt ar nitrātu daudzuma pieaugumu, t.i. nitrifikācija sākas salīdzinoši ātri pēc šķīdriem iestrādes. Kā norāda pētījuma autori, nitrātu koncentrācija mēslotajos variantos ievērojami pārsniedza to daudzumu kontroles variantā. Ziemas mēnešos konstatēta nitrātu slāpekļa koncentrācijas samazināšanās augsnes augšējos 30 cm, bet būtiska palielināšanās 60–90 cm dziļumā gan mēslotajos variantos, gan arī kontrolē. Tas liecina par ievērojamiem slāpekļa zudumiem no aktīvās augu sakņu zonas. Tāpēc tiek uzsvērts, ka šķīdriem lietošana rudenī, laikā, kad slāpekli neizmanto augi, nav pieļaujama.

**Slāpekļa minerālmēsli lietošana** būtiski izmaina minerālā slāpekļa dinamiku un daudzumu augsnē, kā arī tā izvietojumu augsnes profilā. Ražā nesaistītā slāpekļa pārpalikums veģetācijas perioda beigās ir atkarīgs arī no slāpekļa minerālmēsli lietošanas intensitātes. Kā norāda W. Hartl & E. Erhart (2005), lietojot nelielas slāpekļa minerālmēsli normas ( $< 100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ), minerālā slāpekļa uzkrājums kultūraugu augšanas sezonas beigās tikai par  $6\text{--}19 \text{ kg ha}^{-1}$  pārsniedz slāpekļa krājumus nemēslojot augsnē. Līdzīgs uzkrājums veidojies arī no atbilstošas slāpekļa normas organisko mēsli veidā –  $5\text{--}18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ , taču, mēslošanai izmantojot gan organisko mēslojumu, gan arī slāpekļa minerālmēslus, neproduktīvais slāpekļa pārpalikums ir dubultojies.

Izmēģinājumā Dānijā (Rasmussen et al., 2015), pārbaudot slāpekļa minerālmēsli normas ietekmi uz neizmantojotā slāpekļa uzkrājumu ražas novākšanas laikā smagas mālsmits augsnē, pierādīta cieša sakarība ar lietotā slāpekļa daudzumu. Tā, piemēram, ziemas kviešu mēslošanai izmantojot līdz  $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ , nitrātu slāpekļa pārpalikums neatkarīgi no normas bijis salīdzinoši neliels. Slāpekļa normas pieaugums no  $150$  līdz  $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  neizmantojot pārpalikumu palielina: no papildus iestrādātajiem  $100 \text{ kg}$  slāpekļa vidēji  $36\%$  palika augsnē. Palielinot slāpekļa mēslošanas normu vēl par  $100 \text{ kg}$ , t.i. līdz  $350 \text{ kg ha}^{-1}$ , līdz pat  $90\%$  no tā netika izmantoti ražas veidošanai. Lielākā daļa no šī pārpalikuma uzkrājās aramkārtā, bet būtiska nitrātu akumulācija novērota arī augsnes zemaramkārtā. Sakarība starp lietoto slāpekļa minerālmēsli normu un neizmantojotā minerālā slāpekļa uzkrājumu pēc ražas novākšanas noteikta arī daudzos citos pētījumos (Cambouris et al., 2008; Dresler et al., 2011; Kolodziejczyk, 2013). Autori secinājuši, ka sakarība nav lineāra, jo ekonomiski optimālas slāpekļa normas minerālā slāpekļa saturu augsnē pēc ražas novākšanas būtiski nepalielina, taču pārbaugātā

slāpekļa mēslojums ne tikai rada neproduktīvu minerālā slāpekļa pārpalikumu, bet veicina nitrātu pārvietošanos pa augsnes profilu uz leju. To apliecina arī pētījums (Ten Berge et al., 2002), kurā apkopotī dati par pļaujamo zālāju mēslošanai izmantotajām slāpekļa mēslojuma normām un minerālā slāpekļa uzkrājumu rudenī Beļģijā un Nīderlandē veiktajos lauka izmēģinājumos. Noskaidrots, ka līdz noteiktai kritiskai slāpekļa normai, katri 100 kg N ieneses veģetācijas perioda beigās rada augsnē 3–4 kg ha<sup>-1</sup> minerālā slāpekļa krājumu pieaugumu. Pie normām, kad slāpekļa izmantošanās no mēslojuma sāk būtiski samazināties, ražā nesaisītā slāpekļa daudzums augsnē ļoti krasi pieaug. Zālājiem konstatētā kritiskā slāpekļa norma bija 270 kg ha<sup>-1</sup> gadā, kas nodrošināja 87% no maksimāli iespējamās biomasas ražas.

Autoru turpmākajos pētījumos (Ten Berge et al., 2007) analizēta dažādu faktoru ietekme uz minerālā slāpekļa krājumu veidošanos augsnē ražas novākšanas laikā. Viens no faktoriem ir slāpekļa izmantošanās efektivitāte. Starpība starp slāpekļa izmantošanos no mazām slāpekļa normām un izmantošanos no lietotās mēslošanas normas izskaidro aptuveni 80% no minerālā slāpekļa uzkrājuma veģetācijas perioda beigās. Tāpēc, lai samazinātu vides piesārņošanas risku, nevajadzētu pārsniegt ekonomiski optimālās slāpekļa normas un vajadzētu novērst lielu slāpekļa normu lietošanu auglīgās augsnēs, kur to izmantošanās ir zema.

Pētījumos Flandrijā un Ziemeļvalonijā (D’Haene et al., 2014) sakarības starp slāpekļa mēslošanas normām un minerālā slāpekļa krājumiem veģetācijas perioda beigās izmantotas slāpekļa mēslošanas normu optimizēšanai, lai augsnē uzturētu zemu minerālā slāpekļa pārpalikumu.

Dažādiem kultūraugiem veģetācijas perioda beigās minerālā slāpekļa pārpalikums ir atšķirīgs. Te nozīme ir gan paša kultūrauga bioloģiskajām īpatnībām, gan arī augiem izmantojamā slāpekļa nodrošinājumam augsnē un lietotā mēslojuma daudzumam. Tā, zālājiem, cukurbietēm un ziemas kviešiem, pateicoties attīstītai sakņu sistēmai un ievērojamam slāpekļa patēriņam, neveidojas liels minerālā slāpekļa uzkrājums. Ziemas kviešiem salīdzinoši zems minerālā slāpekļa saturs augsnes 0–90 cm slānī konstatēts pat pie mēslošanas normām 175–220 kg ha<sup>-1</sup> N (vidēji 29 kg ha<sup>-1</sup> N), bet kukurūzai pie slāpekļa normas 150–180 kg ha<sup>-1</sup>, tas sasniedzis 55–75 kg ha<sup>-1</sup>N. Arī kartupeļiem paredzētās pieļaujamās normas smilts un smilšmāla augsnēs 190 un 210 kg ha<sup>-1</sup> N rada ap 70 kg ha<sup>-1</sup> lielu minerālā slāpekļa uzkrājumu augsnē, un to samazināt bez būtiska tirgus produkcijas īpatsvara krituma ražā nav iespējams.

N. Hong et al. (2007), vērtējot no izmēģinājumos lietotajām slāpekļa minerālmēsļu normām ražā nesaisīto slāpekļa daudzumu, atzīmē, ka kultūraugu neizmantotais minerālais slāpekļlis tikai daļēji ir konstatēts kā nitrātu slāpekļa pārpalikums augsnē. Apmēram puse no neizmantotā pārpalikuma tikusi pakļauta imobilizācijai augsnes organiskās vielas sastāvā, denitrifikācijai, emisijai vai ieskalojusies augsnē dziļāk par 90 cm. Pētījumos Polijā (Sowinski et al., 2016) novērota arī dažādu slāpekļa minerālmēsļu veidu atšķirīga ietekme uz minerālā slāpekļa krājumiem. Mēslošanai lietojot 135 kg ha<sup>-1</sup> N normu, lielākais kopējā minerālā slāpekļa daudzums augsnē ražas novākšanas laikā novērots variantā ar amonija nitrātu (vidēji 58–61 kg ha<sup>-1</sup> N), kas atbilstoši Polijā pastāvošajai gradācijai, uzskatāms par augstu minerālā slāpekļa līmeni. Urīnvielas, kā arī lēnas iedarbības urīnvielas, kas papildināta ar diciāndiamīdu un pārklāta ar poliolfīnu (komerciālais nosaukums “Meister”), lietošana radījusi mazāku slāpekļa uzkrājumu – vidēji 31–46 kg ha<sup>-1</sup> N. Šāds minerālā slāpekļa daudzums augsnē veģetācijas perioda beigās jau uzskatāms kā zems, kas nerada nitrātu izskalošanās risku.

**Nesabalansēts NPK mēslojums** ir vēl viens no faktoriem, kas izraisa minerālā slāpekļa uzkrājuma veidošanos augsnē veģetācijas perioda beigās. Galveno augu barības elementu attiecībai mēslojumā jāatbilst kultūrauga vajadzībai konkrētā augsnē. Ja kāda barības elementa daudzums ir nepietiekošs, slāpekļlis netiek produktīvi izmantots ražas veidošanai. Piemēram, izmēģinājumos Ķīnā, kviešu mēslošanai lietojot augstas slāpekļa un nesabalansētas minerālmēsļu normas, konstatēts liels neizmantotā nitrātu slāpekļa daudzums, kā arī augsta tā koncentrācija visā augsnes profilā. Taču papildus iestrādājot fosfora minerālmēsļus, putnu mēsļus vai citu organisko mēslojumu, būtiski samazinājies nitrātu daudzums un to vertikālā pārvietošanās augsnē (Guo et al., 2001; Malhi et al., 2002; Fan et al., 2003).

**Mitruma deficīts** augsnē veģetācijas perioda laikā samazina slāpekļa izmantošanos no augsnē esošajiem resursiem un lietotā mēslojuma. Līdz ar to augsnē var veidoties nozīmīgs minerālā slāpekļa uzkrājums, kurš atkarībā no turpmākiem meteoroloģiskajiem apstākļiem un augsnes īpašībām var gan izskaloties, gan arī kalpot par slāpekļa avotu nākamajam kultūraugam. Šādos apstākļos ir ļoti svarīgi

noteikt minerālā slāpekļa saturu, kā arī tā izvietojumu augsnes profilā un, izejot no tā, koriģēt mēslošanas normas nākamajam kultūraugam (Forrestal, 2011).

**Augsnes apstrādes veidi un laiki** arī ietekmē minerālā slāpekļa daudzumu augsnē. Konstatēts (Catt et al., 2000), ka augu atlieku iestrāde augsnē, labāka augsnes aerācija un citu augsnes fizikālo īpašību izmaiņas rada labvēlīgus apstākļus mikroorganismu darbībai un organiskās vielas mineralizācijai. Augsnes apstrādes izraisītā augsnes struktūragregātu noārdīšanās veicina arī mikroagregātos ieslēgtās organiskās vielas sadalīšanos. Taču minerālo slāpekļa krājumu palielināšanos autori vairāk saista nevis ar mineralizācijas veicināšanu, bet gan ar slāpekļa patēriņa pārtraukšanu, iestrādājot augsnē uz tās augošos augus un nezāles. Straujāka mineralizācija un lielāks minerālā slāpekļa uzkrājums novērots veicot aršanu (20–25 cm dziļi) pēc iepriekšējā kultūrauga novākšanas agri rudenī. Seklāka augsnes virskārtas kultivēšana (10–12 cm dziļi) kavējusi minerālā slāpekļa uzkrājumu veidošanos. Pētījumos Zviedrijā (Myrbeck et al., 2012; Myrbeck, 2014) viegla granulometriskā sastāva augsnes apstrāde minerālā slāpekļa krājumus augsnes profilā (0–90 cm) palielinājusi pat līdz 55 kg ha<sup>-1</sup> N, bet smagākās augsnēs mazāk – vidēji par 10 kg ha<sup>-1</sup> N. Izmēģinājumā vidēja māla augsnē aršanas ietekmē minerālā slāpekļa krājumi rudenī palielinājušies par 20–30 kg, augsnes kultivēšanas ietekmē vidēji par 3 kg un ecēšanas rezultātā – par 8 kg ha<sup>-1</sup> N. Smaga granulometriskā sastāva augsnē mazāk izteikta radušos slāpekļa savienojumu vertikāla pārvietošanās uz dziļākiem horizontiem, tie mazāk pakļauti izskalošanās procesam, tādēļ ir potenciāli vairāk izmantojami sekojošās sezonas kultūraugu ražas veidošanai.

M. Stenberg et al. (1999) atzīmē, ka aizstājot augsnes aršanu agri rudenī pret vēlāku termiņu vai atstājot to uz pavasari, ir iespējams gandrīz uz pusi samazināt minerālā slāpekļa daudzumu, kas rudens–ziemas periodā var izskaloties. Tā, piemēram, pēc agras augsnes apstrādes rudenī, minerālā slāpekļa krājumi novembrī bija 68 kg ha<sup>-1</sup>, bet tā paša lauka neuzartajā daļā tikai 39 kg ha<sup>-1</sup> N. Atstājot aršanu uz pavasari, slāpekli rudenī turpina uzņemt dažādas nezāles, piemēram, vārpata, tādējādi samazinot pavasarī kultūraugam viegli pieejamo slāpekļa daudzumu, kas graudu ražu varētu samazināt līdz pat 40%. Tomēr, lai samazinātu nitrātu izskalošanos, tiek rekomendēta vasarājiem paredzētās zemes apstrāde vēl rudenī vai pat pavasarī.

Minimālā augsnes apstrāde salīdzinājumā ar konvencionālo apstrādi augsnes virsējā slānī veido atšķirīgus apstākļus organisko vielu mineralizācijai. Apstrādājot augsni, pēcplaujas atliekas izvietojas dažādos dziļumos, izmainās arī augsnes fizikālo īpašību rādītāji, kas nosaka augsnes cietās fāzes un poru attiecību. Minerālā slāpekļa dinamikas pētījumi variantos ar atšķirīgu apstrādes dziļumu un intensitāti būtiskas atšķirības neuzrāda. Nedaudz mazāki (vidēji par 8%) minerālā slāpekļa krājumi konstatēti minimālās augsnes apstrādes rezultātā, taču rudenī pārpalikums no lietotajiem minerālmēsliem praktiski neatšķiras (Riley, 1998; Gruber et al., 2011).

Organisko vielu mineralizācija un minerālā slāpekļa krājumu veidošanās ļoti strauji norisinās pēc dabisko un sēto zālāju lauku aparšanas. Apkopojot pieejamos datus, M. Kayser et al. (2008) secina, ka aršana rudenī izraisa slāpekļa izskalošanās zudumus, kas nereti pārsniedz 250 kg ha<sup>-1</sup> N. Pārsējot zālājus vai mainot zemes lietošanas veidu, lieli minerālā slāpekļa krājumi augsnē saglabājas vairāku turpmāko gadu laikā. Šādā situācijā svarīgi izvēlēties piemērotākos kultūraugus un starpkultūras, kas lielāku slāpekļa daudzumu saista savā biomasā, kā arī ievērojami samazināt šo kultūraugu mēslošanas normas. Augsekā audzētie zālaugi parasti neveido neizmantotu minerālā slāpekļa uzkrājumu rudenī, taču kā priekšaugi (ar pēcplaujas atliekām vai iestrādāts kā zaļmēslojums) ievērojami palielina slāpekļa saturu augsnē. Lietuvā veiktā izmēģinājumā (Nemeikšiene et al., 2010) ziemas kviešiem kā priekšaugu izmantojot sarkano āboliņu, lucernu un auzeņairēni, novembrī minerālā slāpekļa daudzums visos variantos bijis 1.2–2.0 reizes lielāks nekā augustā, lai gan slāpekļis tika akumulēts arī kviešu zelmenī. Ātrāk mineralizējās iestrādātā tauriņziežu masa, kas bija bagātāka ar slāpekli. Cits pētījums (Marley et al., 2013) rāda, ka efektīvāks veids, kā samazināt slāpekļa zudumus līdzīgā situācijā, kad kā priekšaugu izmanto zālājus, ir priekšauga atlieku iestrāde augsnē nevis rudenī ziemājiem, bet gan pavasarī pirms vasarāju graudaugu sējas. Neizmantotā minerālā slāpekļa izskalošanās zudumi tādējādi tikuši samazināti attiecīgi no 57 kg (iestrāde rudenī) uz 35 kg ha<sup>-1</sup> N (iestrāde pavasarī).

**Minerālā slāpekļa uzkrājuma samazināšana augsnē** veģetācijas perioda beigās, ir veids, kādā iespējams ierobežot vai pat novērst slāpekļa izskalošanās zudumus no augsnes un ar to saistītās ekoloģiskās problēmas (Di, Cameron, 2002). Minerālā slāpekļa uzkrāšanās augsnē notiek organisko savienojumu mineralizācijas procesā un slāpekli saturošu mēslošanas līdzekļu lietošanas rezultātā.

Jāņem vērā, ka mineralizācijas process nesākas reizē ar kultūraugu sēju un nebeidzas vienlaicīgi ar ražas novākšanu. Arī mēslošanas rekomendācijas nespēj integrēt sevī visu to faktoru ietekmi un savstarpējās sakarības, kas gala rezultātā nosaka kultūraugu nodrošinājumu ar viegli izmantojamiem barības elementiem.

T.E. Crews & M.B. Peoples (2005) norāda, lai novērstu nevajadzīgos slāpekļa zudumus, galvenais uzdevums ir saskaņot kultūraugu slāpekļa vajadzību ar tā nodrošinājumu un paaugstināt slāpekļa izmantošanas efektivitāti. Veicot plašu pētījumu rezultātu apkopojumu (Krupnik et al., 2004) par minerālmēslu slāpekļa izmantošanās efektivitāti audzējot graudaugus, noskaidrots, ka vidēji tikai 47% no lietotā minerālmēslu slāpekļa mēslošanas gadā tiek uzņemti kultūraugu biomasā (graudi + salmi). No atlikušajiem 53% slāpekļa apmēram 6.5% izmanto sekojošie kultūraugi un ap 15% saistās augsnes organiskās vielas sastāvā, bet 34.5% no lietotā minerālmēslu slāpekļa dažādos veidos zūd no augsnes. Lai uzlabotu minerālmēslu slāpekļa izmantošanās efektivitāti tiek rekomendēts (Crews, Peoples, 2005), pirmkārt, palielināt augu slāpekļa vajadzību; otrkārt, prasmīgi izmantot slāpekļa resursus; un treškārt, saistīt slāpekļa pārpalikumu, pirms tas zūd no augsnes.

Pirmajā gadījumā kā risinājums kalpo specifiskiem augsnes un vides apstākļiem piemērotu un adaptētu kultūraugu sugu un šķirņu izvēle. Jāpiemēro laba agronomiskā prakse, kas pēc iespējas pilnīgāk izslēdz faktorus, kuri var ierobežot kultūraugu augšanu un attīstību, un līdz ar to arī slāpekļa uzņemšanu. Jāizvēlas efektīva augu maiņa, kas ierobežo kaitēkļu un slimību izplatību, kultūraugi jāvēl optimālā termiņā, jāierobežo nezāles un jāpanāk arī sabalansēts augu barības elementu nodrošinājums. Tāpat svarīgi ir nodrošināt labas augsnes fizikālās īpašības, kas rada labvēlīgus apstākļus sakņu sistēmas attīstībai un funkcionēšanai, mitruma un gaisa režīma uzturēšanai augsnē un zemamkārtā (Dobermann, 2005).

Augsnes slāpekļa resursu pilnīgākai izmantošanai, šie resursi ir savlaicīgi jānovērtē, lai koriģētu lietojamā slāpekļa mēslojuma normas un izvēlētos piemērotākos mēslošanas veidus, bet veģetācijas perioda laikā jākontrolē slāpekļa koncentrācijas izmaiņas auga daļās, lai noteiktu papildmēslojuma vajadzību. Slāpekļa mēslojuma lietošana ne vienmēr rada lielāko neizmantojamo minerālā slāpekļa uzkrājumu augsnē, būtiska ir mēslošanas normas pareiza izvēle. Tā, pētījumos noteikts (Thorup-Kristensen, Nielsen, 1998), ka zemākais neizmantojamo minerālā slāpekļa uzkrājums augsnē veidojies nevis audzējot starpkultūras vai atstājot augsni ilgāku laiku neapstrādātu, bet gan tad, kad mēslošanas norma ir bijusi tikai 50% apmērā no kultūrauga slāpekļa vajadzības. Ja ar mēslojumu lietotā slāpekļa norma ir pilnībā nsegusi ikgadējo slāpekļa vajadzību ražas veidošanai vai to pat pārsniegusi, slāpekļa izmantošanās efektivitāte krasi samazinās. Kā atzīmē T.L. Roberts (2007), ir jāizvēlas pareizais mēslošanas līdzeklis, pareizā mēslošanas norma, pareizais mēslojuma iestrādes laiks un mēslojums augsnē jānovieto pareizā vietā. Mūsdienu tehnoloģijas to visu jau ir spējīgas nodrošināt, bet nav vienas konkrētas “receptes”. Jāņem vērā augšņu atšķirīgās īpašības, kultūraugu īpatnības, klimatiskie apstākļi un zemkopju potenciālās iespējas.

Neizmantojamo augsnes minerālā slāpekļa saistīšana augu biomasā ir trešais veids, kā palielināt slāpekļa izmantošanas efektivitāti un samazināt neproduktīvos slāpekļa zudumus. To iespējams realizēt audzējot pasējas augus un starpkultūras, kas turpina akumulēt augsnes minerālā slāpekļa resursus arī pēc pamatauga novākšanas, ja tos atstāj neistrādātus rudenī pēc iespējas ilgāk. Kā atzīmē C. Tonitto et al. (2006), starpkultūras ražā (izņemot tauriņziežus) akumulējas vidēji 37 kg ha<sup>-1</sup> N (svārstību intervāls no 20 līdz 60 kg ha<sup>-1</sup>). Starpkultūru efektivitāte (Talgre et al., 2011) ir atkarīga no izvēlētajās augu sugas, pamatkultūrauga novākšanas un starpkultūras sējas laika, kā arī laika apstākļiem. Starpkultūru augšanas periodam jābūt vismaz 50 dienas ar vidējo diennakts temperatūru > 9°C un ap 150–200 mm nokrišņu, kas mūsu platuma grādos ne vienmēr ir iespējams. No audzētajiem starpkultūru augiem airene un rudzi veidojuši vismazāko biomasu un saistījuši nelielu augu barības elementu masu (10–25 kg ha<sup>-1</sup> N), tauriņzieži – zirņi un pupas – saistījuši visvairāk slāpekļa (50–100 kg ha<sup>-1</sup> N), bet krustzieži veidojuši lielāko zaļās masas ražu un saistījuši atkarībā no ražas 15–65 kg ha<sup>-1</sup> N.

Augsnes minerālā slāpekļa krājumus lielā mērā ietekmē augsnes organiskās vielas, pēcplaujas atlieku, organisko mēslu u.c. augsnē esošu slāpekli saturošu materiālu mineralizācijas procesa intensitāte. Piemēram, iestrādājot augsnē pēcplaujas atliekas, kurās ir plaša C:N attiecība, mikroorganismi, mineralizācijas procesa norisei, imobilizē atbilstošu daudzumu augsnes minerālā slāpekļa, kas parasti ir ap 20 kg ha<sup>-1</sup> N (Justes et al., 1999; Mary et al., 1999) vai pēc citiem datiem (Jensen et al., 1997) 18–25 kg ha<sup>-1</sup> N. Ar slāpekli bagāts organiskais materiāls savukārt mineralizējas

ātrāk, radot minerālā slāpekļa uzkrājumu. Dažādi kultūraugu audzēšanas agrotehniskie pasākumi mineralizācijas procesu var veicināt un arī palēnināt. Viens no tādiem pasākumiem ir augsnes apstrāde. Augsnes irdināšana rada labvēlīgus apstākļus un vidi amonifikatoru darbībai, kā rezultātā minerālā slāpekļa daudzums augsnē palielinās. Īpaši izteikti tas novērojams neaizņemtās papuvēs (Tonitto et al., 2006). Lai samazinātu slāpekļa uzkrājuma veidošanos, M.J. Goss et al. (1993) iesaka samazināt augsnes apstrādes dziļumu, kā arī neveikt apstrādi vasaras otrajā pusē pēc ražas novākšanas, ja tūlīt netiek sēti ziemāji vai audzēti starpkultūras augi. Citi autori (Stenberg et al., 1999) rekomendē augsnes apstrādi un starpkultūru augu iearšanu atstāt uz pavasari, lai mineralizēto slāpekli uzreiz varētu izmantot audzējamais kultūraugs. Minerālā slāpekļa uzkrāšanās atšķirība minimālās un konvencionālās augsnes apstrādes variantos nav izteikta, tomēr arī minimālo augsnes apstrādi rekomendē kombinēt ar starpkultūru audzēšanu (Henke et al., 2008). Atsevišķos gadījumos, kā, piemēram, pēc zālāju iearšanas, minerālā slāpekļa daudzums augsnē, kas rodas mineralizācijas procesos, var ievērojami pārsniegt nākamā kultūrauga slāpekļa vajadzību, tāpēc ļoti svarīga loma ir piemērotu kultūraugu izvēlei. M. Kayser et al. (2008) šādā situācijā rekomendē zālāju iearšanu rudenī un sēt ziemāju graudaugus, kas rudenī patērē maz slāpekļa un nitrātu izskalošanās zudumi var sasniegt 57–269 kg ha<sup>-1</sup> N, bet gan zālāju iearšanu veikt pavasarī, audzēt, piemēram, miežus, pēc kuru novākšanas sēt starpkultūru augus, tādā veidā saistot augu biomasā ievērojamu slāpekļa daudzumu. Ļoti būtiski ir atcerēties arī, ka starpkultūru ilgstoša praktizēšana palielina augsnes organiskās vielas saturu. Līdz ar to augsnē pieaug arī viegli mineralizējamā slāpekļa daudzums, kam sekas parasti ir nitrātu izskalošanās zudumu pieaugums. Tomēr racionāli izmantojot izveidojušos minerālā slāpekļa resursus, izdevies samērā ievērojami samazināt slāpekļa mēslošanas normu (Hansen et al., 2000).

Pētot minerālā slāpekļa neizmantotos uzkrājumus veģetācijas perioda beigās H.F.M. Ten Berge et al. (2007) konstatējuši tā saistību ar slāpekļa mēslojuma izmantošanos. Kā zināms, tad, lietojot nelielas slāpekļa normas, slāpekļa izmantošanās parasti ir augsta, bet pie lielām normām – visai būtiski samazinās. Autori slāpekļa normu, pie kuras novērojams krass izmantošanās kritums, nosaukuši par kritisko slāpekļa mēslošanas normu. Ja šī norma tiek pārsniegta, neizmantotā slāpekļa uzkrājums augsnē strauji pieaug un var veidot izskalošanās zudumus. Zudumu (Z) apmēru raksturo sakarība:

$$Z = (1 - \rho_{ini})A,$$

kur A – slāpekļa mēslošanas norma;  
 $\rho_{ini}$  – slāpekļa izmantošanās pie mazām mēslojuma normām.

Izveidotā modeļa parametri raksturo līdz 75% no minerālā slāpekļa pārpalikuma variācijām. Jāņem vērā, ka slāpekļa izmantošanās ir atkarīga ne tikai no mēslojuma normas, bet arī no augsnes auglības, audzētā kultūrauga, klimatiskajiem apstākļiem. Tomēr kritisko slāpekļa mēslošanas normu noteikšana un lietošana varētu samazināt ūdeņu piesārņošanu ar nitrātiem.

### Secinājumi

Slāpekļa aprīte dabā ir samērā komplicēta un grūti pielāgojama vai pakļaujama cilvēku vajadzībām. Iejaukšanās šajā aprītē, piemēram, ar mēslojuma lietošanu, var uzlabot augšņu auglību, var dot ievērojamus kultūraugu ražas pieaugumus, taču nepamatoti lielas mēslojuma normas, nepārdomāti mēslošanas laiki un paņēmieni var būtiski ietekmēt vides kvalitāti. Nepieciešama vietējiem apstākļiem piemērotu un atbilstošu mēslošanas rekomendāciju izstrāde, kuras balstītas uz pētījumu gūtām atziņām, kā arī šo rekomendāciju pielietojums praksē.

**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. Cambouris A.N., Zabarth B.J., Nolin M.C., Laverdiere M.R. (2008). Apparent fertilizer nitrogen recovery and residual soil nitrate under continuous potato cropping: effect of N fertilization rate and timing. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 88, p. 813 – 825.
2. Catt J.A., Howse K.R., Christian D.G., Lane G.L., Goss M.J. (2000). Assessment of tillage strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil and Tillage Research*, Vol. 53, p. 185 – 200.

3. 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.
4. De Clercq P., Salomez P., Hofman G. (2001). Environmental pressures and national environmental legislation with respect to nutrient management: Belgium. *In: Nutrient Management Legislation in European Countries*. P.De Clercq, P.Gertsis., G.Hofman et al. (Eds.). Wageningen: Wageningen Press, p. 56 – 77.
5. D’Haene K., Salomez J., De Neve S., De Waele J., Hofman G. (2014). Residual soil mineral nitrogen in function of applied effective and crop available nitrogen. *In: Proceedings of the 18<sup>th</sup> Nitrogen Workshop – The Nitrogen Challenge: Building a Blueprint for Nitrogen Use Efficiency and Food Security*. 30<sup>th</sup> June – 3<sup>rd</sup> July 2014, Lisboa, Portugal, p. 68 – 69.
6. Di H.J., Cameron K.C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 64, p. 237 – 256.
7. Dobermann A.R. (2005). Nitrogen use efficiency – state of art. Paper presented at the IFA International workshop on enhanced-efficiency fertilizers, Frankfurt, Germany, 28–30 June, 2005. *Agronomy and Horticulture – Faculty Publications*. Paper 316. <http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/316>
8. 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.
9. Fan J., Hao M.D., Shao M.A. (2003). Nitrate accumulation in soil profile of dry land farming in northwest China. *Pedosphere*, Vol. 13 (4), p. 367 – 374.
10. Forrester P.J. (2011). *Corn Residual Nitrate and its Implications for Fall Nitrogen Management in Winter Wheat*. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy. University of Maryland. USA. 195 p.
11. Gruber S., Möhring J., Claupein W. (2011). On the way towards conservation tillage-soil moisture and mineral nitrogen in a long-term field experiment in Germany. *Soil and Tillage Research*, Vol. 115–116, p. 80 – 87.
12. Goss M.J., Howse K.R., Lane P.W., Christian D.G., Harris G.L. (1993). Losses of nitrate-nitrogen in water draining from under autumn sown crops established by direct drilling or mouldboard ploughing. *Journal of Soil Science*, Vol. 44, p. 35 – 48.
13. Guo L., Zhang F., Wang X., Mao D., Chen X. (2001). Effect of long-term fertilization on soil nitrate distribution. *Journal of Environmental Science*, Vol. 13, No. 1, p. 58 – 63.
14. Gutser R., Ebertseder Th., Weber A., Schraml M., Schmidhalter U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 168, p. 439 – 446.
15. Hansen E.M., Kristensen K., Djurhuus J. (2000). Yield parameters as affected by introduction or discontinuation of cover crop use. *Agronomy Journal*, Vol. 92, p. 909 – 914.
16. Hartl W., Erhart E. (2005). Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 168, p. 781 – 788.
17. Henke J., Bottcher U., Neukman D., Sieling K., Kage H. (2008). Evaluation of different agronomic strategies to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using a simulation model. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 82, p. 299 – 314.
18. Hong N., Scharf P.C., Davis G., Kitchen N.R., Sudduth K.A. (2007). Economically optimal nitrogen rate reduce soil residual nitrate. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 36, p. 354 – 362.
19. 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.
20. 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.
21. Krupnik T.J., Six J., Ladha J.K., Paine M.J., van Kessel C. (2004). An assessment of fertilizer nitrogen recovery efficiency by grain crops. *In: Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing*

- the impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Ed. A.R. Mosier, J.K. Syers, J.R. Freney. SCOPE 65. Island Press, p. 193 – 207.
22. Lassaletta L., Billen G., Grizzetti B., Garnier J. (2014). The relationship between crop yield and nitrogen input to cropland in 131 countries: 50 years trends. In: *Proceedings of the 18<sup>th</sup> Nitrogen Workshop – The Nitrogen Challenge: Building a Blueprint for Nitrogen Use Efficiency and Food Security*. 30<sup>th</sup> June – 3<sup>rd</sup> July 2014, Lisboa, Portugal, p. 545 – 546.
  23. Malhi S.S., Brandt S.A., Ulrich D., Lemke R., Grill K.S. (2002). Accumulation and distribution of nitrate-nitrogen and extractable phosphorus in the soil profile under various alternative cropping systems. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 25, Issue 11, p. 2499 – 2520.
  24. Marley C.L., Fychan R., Theobald V.J., Cuttle S.P., Sanderson R. (2013). Effects of a winter or spring sowing date on soil nitrogen utilisation and yield of barley following a forage crop of red clover, lucerne or hybrid ryegrass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 181, p. 213 – 222.
  25. Möller K., Stinner W. (2009). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*, Vol. 30, p. 1 – 16.
  26. Myrbeck A. (2014). *Soil Tillage Influences on Soil Mineral Nitrogen and Nitrate Leaching in Swedish Arable Soils*. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 74 p.
  27. Myrbeck A., Stenberg M., Arvidsson J., Rydberg T. (2012). Effects of autumn tillage of clay soil on mineral N content, spring cereal yield and soil structure over time. *European Journal of Agronomy*, Vol. 37, p. 96 – 104.
  28. Nemeikšiene D., Arlauskienė A., Šlepetienė A., Cesevičienė J., Maikštenienė S. (2010). Mineral nitrogen content in the soil and winter wheat productivity as influenced by the pre-crop grass species and their management. *Žemdirbyste-Agriculture*, Vol. 97, No. 4, p. 23 – 36.
  29. Paul J.W., Zebarth B.J. (1997). Denitrification and leaching during the fall and winter following dairy cattle slurry application. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 77, p. 231 – 240.
  30. Rasmussen I.S., Dresboll D.B., Thotup-Kristensen K. (2015). Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy*, Vol 68, p. 38 – 49.
  31. Riley H.C.F. (1998). Soil mineral-N and N-fertilizer requirements of spring cereals in two long-term tillage trials on loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Research*, Vol. 48, Issue 4, p. 265 – 274.
  32. Roberts T.L. (2007). Right product, right rate, right time, and right place ... the foundation of BMPs for fertilizer. *Better Crops*, Vol. 91, No. 4, p. 14 – 15.
  33. 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.
  34. Sadej W., Przekwas K. (2008). Fluctuations of nitrogen levels in soil profile under conditions of a long-term fertilization experiment. *Plant Soil Environment*, Vol. 54, No. 5, p. 197 – 203.
  35. Sorensen P., Amato M. (2002). Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*, Vol. 16, p. 81 – 95.
  36. Sowiński J., Kabała C., Karczewska A., Szydelko-Rabska E., Gałka B. (2016). Content of mineral nitrogen in sandy soils after an application of slow-release fertilisers in sweet sorghum cultivation. *Journal of Elementology*, Vol. 21(4), p. 1127 – 1139.
  37. Stenberg M., Aronsson H., Linden B., Rydberg T., Gustafson A. (1999). Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil and Tillage Research*, Vol. 50 (2), p. 115 – 125.
  38. Talgre L., Lauringson E., Makke A., Lauk R. (2011). Biomass production and nutrient binding of catch crop. *Zemdirbyste-Agriculture*, Vol. 98, No. 3, p. 251 – 258.
  39. Ten Berge H.F.M., Burgers S.L.G.E., Van der Meer H.G., Schroder J.J., Van der Schoot J.R., Van Dijk W. (2007). Residual inorganic soil nitrogen in grass and maize on sandy soil. *Environmental Pollution*, Vol. 145, p. 22 – 30.
  40. Ten Berge H.F.M., Van der Meer H.G., Carlier L., Baan Hofman T., Neeteson J.J. (2002). Limits to nitrogen use on grassland. *Environmental Pollution*, Vol. 118, p. 225 – 238.



41. 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.
42. Tonitto C., David M.B., Drinkwater L.E. (2006). Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and nitrogen dynamics. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, Vol. 112, p. 58 – 72.
43. Yang S., Li F., Malhi S.S., Wang P., Suo D., Wang J. (2004). Long-term fertilization effects on crop yield and nitrate nitrogen accumulation in soil in Northwestern China. *Agronomy Journal*, Vol. 96, p. 1039 – 1049.