

## Potential of nutrients use from plant residues after oil plants harvesting

### Potenciál využitia živín z rastlinných zvyškov po zbere olejní

Stanislav TORMA<sup>1</sup> (✉), Jozef VILČEK<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> National Agricultural and Food Centre, Soil Science and Conservation Research Institute, regional workplace, Raymannova 1, 080 01 Prešov, Slovakia

<sup>2</sup> Department of Geography and Applied Geoinformatics, Faculty of Humanities and Natural Sciences, University of Prešov, 17<sup>th</sup> November Street, 080 01 Prešov, Slovakia

✉ Corresponding author: [stanislav.torma@nppc.sk](mailto:stanislav.torma@nppc.sk)

Received: May 31, 2023; accepted: April 21, 2024

#### ABSTRACT

The need for efficient use of local resources in agricultural production grows with the increasing demand for sustainable production. One of such sources are both above-ground (stubble) and underground (roots) plant residues left in the field after harvesting a crop. This study quantifies the share of nutrients (N, P, K) in plant residues after the harvest of four different oil crops (raps, sunflower, mustard, and soybean) in seven soil-climatically heterogeneous regions of Slovakia during the nine years. The results showed that the most residues in the soil were left by rape and mustard (more than 10 tons of dry biomass per hectare). After harvesting the sunflower, 5-10 tons of plant residues remained in the soil, and soybeans left the least residues (less than 5 t/ha). Based on these data and the analytically determined content of nutrients in plant residues, the coefficient of nutritional potential was calculated by polynomial regression, i.e. the amount of nutrients that remain after harvesting per ton of the main product. Using these coefficients and the known yield of the given crop, it is subsequently possible to calculate how many nutrients will leave each crop in the soil after harvest. The results showed that the amount of remaining nitrogen in plant residues ranges from 91 to 132 kg, phosphorus from 14 to 22 kg, and potassium from 72 to 218 kg per hectare. The above must be considered when calculating the need for fertilizers for the following crop, to reduce the risk of environmental pollution, especially regarding nitrogen.

**Keywords:** aboveground residues, belowground residues, oil plants, nutrient potential coefficient

#### ABSTRAKT

Potreba efektívneho využívania miestnych zdrojov v poľnohospodárskej výrobe rastie so stúpajúcim dopytom po ekonomicky i ekologicky udržateľnej výrobe. Jedným z akýchto zdrojov sú nadzemné (strniská) aj podzemné (korene) zvyšky rastlín, ktoré zostali na poli po zbere plodín. Táto štúdia kvantifikuje podiel živín (N, P, K) v rastlinných zvyškoch po zbere štyroch rôznych olejní (kapusta repková pravá, slnečnica ročná, horčica biela a sója fazuľová) v siedmich pôdno-klimaticky heterogénnych regiónoch Slovenska počas sledovaného deväťročného obdobia. Výsledky ukázali, že najviac zvyškov v pôde zanechala repka a horčica (viac ako 10 ton suchej biomasy z hektára). Po zbere slnečnice ostalo v pôde 5-10 ton rastlinných zvyškov a najmenej zvyškov zanechala sója (menej ako 5 t/ha). Na základe týchto údajov a analyticky stanoveného obsahu živín v rastlinných zvyškoch bol polynomicou regresiou vypočítaný koeficient nutričného potenciálu, t.j. množstvo živín, ktoré zostáva po zbere na jednu tonu hlavného produktu. Pomocou týchto koeficientov a známej úrody danej plodiny je následne možné vypočítať, koľko dusíka, fosforu a draslíka zanechá v pôde každá plodina v pôde po zbere úrody. Výsledky ukázali, že množstvo zostávajúceho dusíka obsiahnutého v pozberových zvyškoch z jedného hektára sa pohybuje od 91 do 132 kg, fosforu od 14 do 22 kg a draslíka od 72 do 218 kg na hektár. Uvedené je potrebné vziať do úvahy pri výpočte potreby hnojív pre nasledujúcu plodinu, aby sa znížilo riziko znečistenia životného prostredia, najmä čo sa týka dusíka.

**Kľúčové slová:** nadzemné rastlinné zvyšky, podzemné rastlinné zvyšky, olejiny, koeficient živinového potenciálu

## DETAILED ABSTRACT

The work is dedicated to the results of a nine-year monitoring of the most widespread oil crops in seven different soil and climatic conditions in Slovakia. Considering the current trend of crop production with low crop diversity and its reliance on the supply of nutrients from external sources (fertilizers), we focused on the possibility of nutrient input from plant residues that remain on the field after harvesting the main product. The problem was experimentally verified by direct measurement in the conditions of usual agrotechnical practice. Above-ground plant residues (stubble), but also underground (roots) from a depth of 0.0-0.3 m were taken into account for the following oilseeds: winter rape (*Brassica napus*, subsp. *napus* L.), sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* L. Merrill) and mustard (*Sinapis alba* L.). The area of underground and above-ground residue sampling depended on the growing system of the given crop (number of individual plants per hectare) and was as follows: sunflower 0.7 m × 0.3 m; soybean 0.4 m × 0.25 m; mustard and rapeseed 0.25 m × 0.25 m. The results showed that the most residues in the soil were left by winter rape and mustard. Their amount exceeded 10 tons of dry biomass per hectare. After harvesting the sunflower, 5-10 tons of plant residues remained in the soil, and soybeans left the least residues (less than 5 t/ha). The next step in the research was to determine the amount of nutrients in plant residues. Chemical analyses revealed that the total concentration of monitored nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium in elemental form) in the residues varied relatively significantly, when, for example, the difference between the highest and lowest nitrogen content in the plant residues of the monitored oil crops was 45% (soybean 132 kg/ha, respectively mustard 91 kg/ha), in the case of phosphorus 57% (winter rape 22 kg/ha, respectively soybean 14 kg/ha) and in the case of potassium even up to 303% (sunflower 218 kg/ha, respectively soybean 72 kg/ha). There are also differences in nutrient contents in underground and above-ground organs of the same plant: nitrogen content is mostly higher in root residues; potassium content is always higher in post-harvest residues. Phosphorus biologically accumulates in generative organs and only slightly in vegetative ones, therefore the potential of this nutrient in individual crop residues is mostly small. The statistical evaluation of our results showed that there is a non-linear correlation between the yield of the main product and the amount of nutrients from plant residues of each of the monitored crops. We used the given knowledge to determine the coefficients expressing the ratio of nutrients from plant residues to the yield of the main product. These coefficients, denoted as „ $K_N$ “ for nitrogen, „ $K_P$ “ for phosphorus and „ $K_K$ “ for potassium, represent the amount of nutrients in kg/ha, corresponding to 1 ton of the main product yield from 1 hectare. The achieved results (yield dependence on nutrient potential) were statistically evaluated for each observed crop by polynomial regression. Regression equations for each monitored nutrient ( $K_N$ ,  $K_P$  and  $K_K$ ) were calculated from the actual yield achieved on the given plot. The degree of the polynomial equation was chosen to achieve the highest degree of correlation. According to the results of the polynomial regression, these correlations between the height of the yield and the value of the coefficients are highly significant ( $r = 0.826-0.963$ , at  $*P < 0.05$ ). In the model developed in this study, the potential of the total amount of nutrients in plant residues was calculated as described below, using the example of winter raps with a yield of 3.0 t/ha. According to the calculated equation ( $K_N = 8.1346x^3 - 69.577x^2 + 179.05x - 89.818$ ; where  $x =$  crop yield) it follows that the  $K_N$  coefficient for rapeseed is 40.7732. The next step was the calculation of  $P_N$  (amount of nitrogen in winter raps residues in kg/ha) using the equation:  $P_N = u \times K_N$  (where  $u$  is the grain yield). For example, with a crop yield of 2.50 t/ha ( $2.50 \times 40.7732 = 101.9$  kg of nitrogen), 101.9 kg of nitrogen will remain in the soil for the next cultivated crop after harvesting winter rape. The same method was used in the calculations for the other nutrients (phosphorus and potassium) and for all other monitored crops. For example, with an average sunflower yield of 3.0 t/ha, this crop leaves more than 100 kg of nitrogen and more than 250 kg of potassium in the soil. Even more nitrogen remains after harvesting soybeans (more than 160 kg at a yield of 2.0 t/ha). As is known, at least 50% of the nutrients left in plant residues are available for the next crop grown. This means that about 60–80 kg of nitrogen and 100–120 kg of potassium is available in the soil for the following crop without any additional fertilization. These amounts of nutrients need to be considered when calculating the fertilizer requirement for the following crop to reducing the environment pollution, especially concerning nitrogen. The model presented in the work shows potential assumptions for determining the amount of nutrients in plant residues. The assumption of their usability by subsequently grown crops can be the subject of further experiments and verifications.

## ÚVOD

Súčasná poľnohospodárska výroba zápasí s nízkou druhovou rozmanitosťou, a preto sa spolieha na dodávanie živín z externých zdrojov, najmä vo forme syntetických hnojív. Oveľa racionálnejšou alternatívnou recykláciou živín je prinavrátanie zvyškov pestovaných plodín späť do pôdy. Práve nimi sa do pôdy dodáva nielen organická hmota, čím sa zlepšuje kvalita pôdy, ale aj rozkladajúce sa rastlinné zvyšky, ktoré sú výdatným zdrojom živín (najmä dusíka, fosforu, draslíka, vápnika a horčíka, ale aj mikroživín). Okrem dodávania živín do pôdy treba spomenúť aj skutočnosť, že dusík sa v rastlinných zvyškoch vyplavuje z pôdy v oveľa menšej miere ako z minerálnych hnojív (Sugihara et al., 2012, Smith et al., 2021, Frerichs et al., 2022), čo je prospešné aj pre kvalitu podzemných vôd (Aulakh et al., 2000). Ponechanie zvyškov plodín na povrchu pôdy taktiež obmedzuje straty vody vyparovaním a zabraňuje erózii pôdy vetrom alebo vodou (Cook, 2006), resp. celkovej degradácii pôdy (Vilček et al., 2019).

Navrátenie rastlinných zvyškov (tak pozberových, ako aj koreňových), ktoré ostávajú na poli po zbere hlavnej úrody poľných plodín do pôdy, je technicky nenáročným agrotechnickým postupom šetrným k prírodnému prostrediu, ktorý súčasne prináša nielen ekologické, ale aj ekonomické benefity.

Množstvo živín v pozberových zvyškoch je veľmi variabilné, pretože je dané rozdielmi medzi jednotlivými druhmi rastlín (Chen et al., 2014). Každá plodina má vo svojich zvyškoch určité množstvo živín, medzi ktorými dominujú dusík a draslík. Prostredníctvom procesu rozkladu sú tieto živiny dostupné pre nasledujúce plodiny rýchlosťou, ktorá sa mení v závislosti od pomeru C/N konkrétnej plodiny. Baldock (2007) dospel k záveru, že rastlinné zvyšky s pomerom C/N nad 40 sú mineralizované oveľa pomalšie ako zvyšky s C/N menším ako 40. Rozklad nekvalitných zvyškov s vysokým pomerom C/N vo všeobecnosti vedie k mikrobiálnej imobilizácii dusíka (Singh et al., 2005).

Informácia o množstve živín v rôznych rastlinných zvyškoch a ich využitie z hľadiska výživy rastlín v rámci oševných postupov je mimoriadne dôležitá, najmä v

ekologickom poľnohospodárstve. Cieľom tohto príspevku bolo navrhnúť jednoduchý model, ktorý by mohol slúžiť na výpočet množstva živín vstupujúcich do pôdy rastlinnými zvyškami najrozšírenejších olejnin pomocou jednoduchých údajov o úrode hlavného produktu danej plodiny a jeho koeficient nutričného potenciálu.

## MATERIÁL A METÓDY

Počas deväťročného obdobia boli v siedmich rôznych pôdno-klimatických lokalitách Slovenska (tabuľka 1) analyzované pozberové nadzemné (strnisko) a podzemné (koreňové) zvyšky najviac pestovaných olejnin kapusta repková pravá (*Brassica napus*, *subsp napus* L.), slnečnica ročná (*Helianthus annuus* L.), sója fazuľová (*Glycine max* L. Merrill) a horčica biela (*Sinapis alba* L.). Údaje o priemerných ročných zrážkach a teplotách boli prevzaté z najbližších meteorologických staníc SHMÚ.

Početnosť sledovania jednotlivých olejnin je uvedená v tabuľke 2.

Úroda každej plodiny bola stanovená ako priemer z troch náhodne vybratých štvorcov o výmere jedného metra štvorcového z polí s veľkosťou od jedného do piatich hektárov a finálne vyjadrená v t/ha.

Množstvo rastlinných zvyškov sa zisťovalo z tých istých odberných miest. Plocha odberu podzemných a nadzemných zvyškov závisela od pestovateľského systému danej plodiny (počet jednotlivých rastlín na hektár) a bola nasledovná: slnečnica 0,7 m × 0,3 m; sója 0,4 m × 0,25 m; horčica a kapusta repková 0,25 m × 0,25 m. Údaje o množstve boli prepočítané na plochu jedného hektára. Nadzemné zvyšky predstavovali hmotu strniska, ktoré ostalo po zbere danej plodiny. Boli strihané nožnicami z rovnakej plochy bezprostredne pred odberom koreňov. Koreňové zvyšky boli odoberané z hĺbky pôdy 0,0-0,3 m v mesiacoch júl až október v závislosti od pestovanej plodiny a klimatických podmienok. Zvyšky koreňov sa odobrali spolu s pôdou v troch opakovaných vzorkách z tých istých miest ako pozberové zvyšky. Pôda sa odstránila pretlačením vzoriek cez sadu sít s veľkosťami ôk 1 mm, 0,5 mm a 0,25 mm.

**Table 1.** Location, soil, and climate conditions of experimental sites**Tabuľka 1.** Lokality a pôdno-klimatické pomery pokusných lokalít

Locality	Geographic coordinates	Altitude (m)	Soil type	Average annual rainfall during observed period (mm)	Average annual temperature during observed period (°C)
Lokalita	Zemepisné súradnice	Nadmorská výška (m)	Pôdny typ	Priemerný úhm zrážok za sledované obdobie (mm)	Priemerná ročná teplota za sledované obdobie (°C)
Kravany nad Dunajom	47°45'N; 18°29'E	106	Calcaric Fluvisol Fluvizem modálna	548	10.6
Rišňovce	48°21'N; 17°54'E	173	Haplic Luvisol Hnedozem modálna	531	10.1
Gbely	48°43'N; 17°07'E	205	Haplic Chernozem Černozem modálna	585	10.6
Nemšová	48°58'N; 18°07'E	206	Eutric Fluvisol Fluvizem modálna	619	9.2
Lovinobaňa	48°25'N; 19°35'E	265	Stagnic Glossisol Luvizem pseudoglejová	720	8.6
Divín	48°27'N; 19°31'E	290	Eutric Cambisol Kambizem modálna	720	8.6
Bodovce	49°07'N; 21°11'E	462	Stagni Cambisol Kambizem pseudoglejová	644	8.1

**Table 2.** The number of observations in individual sites during nine-years period**Tabuľka 2.** Početnosť sledovaní na jednotlivých lokalitách počas deviatich rokov

Locality	Kravany nad Dunajom	Rišňovce	Gbely	Nemšová	Lovinobaňa	Divín	Bodovce
Lokalita							
Winter raps	4	4	4	3	3	4	5
Kapusta repková pravá							
Sunflower	4	3	3	2	1	---	---
Slničnica ročná							
Mustard	---	2	2	2	1	1	1
Horčica biela							
Soybean	3	3	3	2	---	---	---
Sója fazuľová							

Všetok nepotrebný materiál okrem koreňov bol odstránený, najskôr opakovaným dekantovaním a nakoniec manuálnou separáciou. Podzemné a nadzemné zvyšky všetkých plodín boli vysušené, rozomleté a následne analyzované na tri základné makroživiny (dusík, fosfor a draslík v elementárnej forme) pomocou nasledujúcich metód:

- dusík kolorimetricky po mokrom spaľovaní s kyselinou sírovou (podľa Kjeldahla),
- fosfor spektrofotometricky na prístroji Spekol 11 (Carl Zeiss Jena)
- draslík pomocou emisnej plameňovej fotometrie po mokrom spaľovaní so zmesou kyseliny dusičnej a chloristej (Javorský et al., 1987).

Smerodajná odchýlka stredných hodnôt získaných pre rastlinné zvyšky a koncentrácie živín v nich bola vypočítaná pomocou funkcie STDEVP v softvéri Microsoft Excel® (tabuľky 3 a 4).

Koeficient nutričného potenciálu bol stanovený ako množstvo živín v kg, ktoré pripadá na jednu tonu hlavného produktu. Pojem „nutričný potenciál“ sa vzťahuje na priemerné množstvo živín (dusík, fosfor a draslík), vyjadrené v kg na hektár, prítomných v nadzemných a podzemných zvyškoch zberanej plodiny v čase ich zaorania späť do pôdy. Koeficient nutričného potenciálu pre nami sledované plodiny sa vypočítal štatistickou analýzou experimentálnych výsledkov pomocou polynomickej regresie (tabuľka 5). Regresná rovnica pre každý stanovený koeficient ( $K_N$ ,  $K_P$  a  $K_K$ ) bola vypočítaná z aktuálne nameranej úrody v danej oblasti pomocou programu MS Excel® (2016). Stupeň polynomickej rovnice bol zvolený na základe získania najvyššieho možného korelačného koeficientu. Podľa výsledkov polynomickej regresie sú tieto korelácie medzi výškou úrod a hodnotou koeficientov vysoko preukazné ( $r = 0,812-0,995$ , pri  $*P < 0.05$ )

Pomocou hodnôt získaných pre koeficienty bolo možné vypočítať vstupy dusíka, fosforu a draslíka z rastlinných zvyškov do pôdy pomocou nasledujúcej rovnice:

$$P_x = u \cdot K_x \quad (1)$$

kde:

$P_x$  = množstvo (kg/ha) živiny (N, P, K) v rastlinných zvyškoch danej plodiny

$u$  = výnos hlavného produktu (t/ha) (s normálnym alebo optimálnym obsahom vlhkosti pri zbere)

$K_x$  = hodnota koeficientu nutričného potenciálu danej plodiny ( $K_N$ ,  $K_P$ ,  $K_K$ ).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky potvrdili, že existujú relatívne veľké rozdiely v množstve rastlinných zvyškov produkovaných rôznymi druhmi olejnin. Samotná hmotnosť nadzemných a podzemných zvyškov je daná najmä biologickými rozdielmi medzi jednotlivými rastlinnými druhmi. Dokonca aj v rámci tej istej plodiny môže existovať značná variabilita. Najviac zvyškov spomedzi sledovaných olejnin vyprodukovala ozimná forma kapusty repkovej pravej (14,32 t/ha), najmenej sója fazuľová (3,89 t/ha) (Tabuľka 3).

Podľa zisteného priemerného množstva sušiny koreňových a pozberových zvyškov je možné (aj so zreteľom na spôsob ich pestovania, resp. zaoranie celej úrody vedľajšieho produktu) konštatovať, že:

- a) bohatým zdrojom rastlinných zvyškov sú ozimná forma kapusty repkovej a horčica biela, pri pestovaní ktorých sa zaoráva do pôdy celá úroda ich slamy, vďaka čomu sa po zbere úrody do pôdy priemerne dostáva viac ako 10 t/ha rastlinných zvyškov;
- b) významným zdrojom rastlinných zvyškov je slnečnica ročná, po zbere ktorej ostáva v pôde priemerne od 5,0 do 10,0 t/ha rastlinných zvyškov;
- c) menej výdatným zdrojom rastlinných zvyškov je sója fazuľová - po zbere úrody jej hlavného produktu sa dostane do pôdy priemerne menej ako 5 t/ha rastlinných zvyškov.

Už v predošlých našich prácach (Jurčová a Torma, 2001) sme deklarovali, že celkové množstvo živín v rastlinných zvyškoch je veľmi variabilné a líši sa v závislosti nielen od biologických rozdielov medzi jednotlivými druhmi plodín a množstva vyprodukovaných pozberových nadzemných

a podzemných zvyškov, ale aj od obsahu jednotlivých živín v týchto zvyškoch, výnosu pestovaných plodín a v niektorých prípadoch aj od rozličných poľnohospodárskych postupov, najmä čo sa týka intenzity hnojenia. Pre nami sledované živiny (dusík, fosfor a draslík) sa ich celková koncentrácia vo zvyškoch menila relatívne výrazne, keď napríklad rozdiel medzi najvyšším a najnižším obsahom dusíka v rastlinných zvyškoch skúmaných olejnín bol 45 %, v prípade fosforu 57 % a v prípade draslíka dokonca až 303 % (tabuľka 4). Odlíšnosti sú aj v obsahoch živín v podzemných a nadzemných orgánoch tej istej rastliny: obsah dusíka je väčšinou vyšší v koreňových zvyškoch, obsah draslíka je vždy vyšší v pozberových zvyškoch. Fosfor sa biologicky akumuluje v generatívnych orgánoch a len nepatrne vo vegetatívnych, preto aj potenciál tejto živiny vo zvyškoch jednotlivých plodín je prevažne malý.

Množstvo dusíka ponechaného v pôde v rastlinných zvyškoch sledovaných olejnín sa pohybovalo od 91 kg (horčica) do 132 kg (sója), množstvo fosforu od 14 kg (sója) do 22 kg (kapusta repková) a množstvo draslíka od 72 kg (sója) do 218 kg na hektár (slnečnica). Uvedené množstvá rastlinných zvyškov a nakladanie s nimi prirodzene ovplyvňujú kvalitu pôdy, či už priamo alebo nepriamo. Intenzívne pestovateľské systémy sú veľmi rôznorodé a zložité a v ideálnom prípade by sa postupy manažmentu zvyškov rastlín mali zvoliť tak, aby sa zvýšili

výnosy plodín s minimálnymi nepriaznivými účinkami na životné prostredie (Kumar a Goh, 1999). Množstvo všetkých sledovaných živín v rastlinných zvyškoch olejnín je oveľa vyššie ako napríklad vo zvyškoch obilnín, pričom v prípade dusíka a fosforu je to dvoj až trojnásobne vyšší obsah a v prípade draslíka dokonca až štyri až päťnásobne vyšší obsah (Jurčová a Torma, 2001). Ešte výraznejší rozdiel je v prípade, ak porovnáme olejninu s okopaninami, keď napríklad rastlinné zvyšky cukrovej repy obsahujú len 20 kg dusíka, 2 kg fosforu a 13-15 kg draslíka na hektár pôdy (Torma a Vilček, 2017).

Je všeobecne známe, že input organických zvyškov plodínami do pôdy môže zlepšiť jej celkovú úrodnosť (Partey, 2011, Babu et al., 2014, Blesh and Ying, 2020, Liu et al., 2022). Nie všetky rastlinné zvyšky však spĺňajú tento účel. Partey et al. (2013) zdokumentoval problémy pri oneskorenom rozklade kukuričných zvyškov ponechaných na pôde v dôsledku krátkodobej imobilizácie dusíka, pretože dostupnosť pôdneho dusíka sa mení v závislosti od množstva dusíka mineralizovaného alebo imobilizovaného počas rozkladu rastlinných zvyškov (Li et al., 2017). Zaužívané postupy a odporúčania pri hnojení plodín zvyčajne ignorujú množstvo dusíka, ktoré bude mineralizované z rozkladajúcich sa rastlinných zvyškov (Vigil a Kissel, 1991).

**Table 3.** Yield of observed oil crops, mass of belowground (root) and aboveground (stubble) residues and standard deviation of total crop residues

**Tabuľka 3.** Úroda sledovaných olejnín, hmotnosť podzemných (koreňových) a nadzemných (strnisko) zvyškov a štandardná odchýlka celkových zvyškov plodín

Crop	Average yield	Below-ground residues	Above-ground residues	Plant residues total	Standard deviation
Plodina	Priemerná úroda	Koreňové zvyšky	Pozberové zvyšky	Rastlinné zvyšky celkom	Štandardná odchýlka
	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	$\sigma$
Winter raps	2.57	3.12	11.20	14.32	0.4960
Kapusta repková pravá					
Sunflower	2.17	2.00	6.78	8.78	0.5462
Slnečnica ročná					
Mustard	2.01	1.98	8.20	10.18	0.5460
Horčica biela					
Soybean	1.92	1.48	2.41	3.89	0.6038
Sója fazuľová					

**Table 4.** Content of nitrogen, phosphorus, and potassium in post-harvest residues (average value and standard deviation)**Tabuľka 4.** Obsah dusíka, fosforu a draslíka v pozberových zvyškoch (priemerná hodnota a štandardná odchýlka)

Crop	N content	Standard deviation	P content	Standard deviation	K content	Standard deviation
Plodina	Obsah N	Štandardná odchýlka	Obsah P	Štandardná odchýlka	Obsah K	Štandardná odchýlka
	kg/ha	$\sigma$	kg/ha	$\sigma$	kg/ha	$\sigma$
Winter raps Kapusta repková pravá	107	8.3500	22	1.1819	157	5.4772
Sunflower Slničnica ročná	108	6.2777	15	1.3202	218	4.9068
Mustard Horčica biela	91	3.9791	21	0.9860	127	3.5198
Soybean Sója fazuľová	132	5.5597	14	1.1873	72	2.5967

Pri zbere plodín rastlinné zvyšky zostávajúce na pôde a v nej neuvolňujú do pôdy veľa dusíka hneď v prvom roku rozkladu, ale dusík uložený v pôde sa pravdepodobne uvoľňuje až v nasledujúcich rokoch (Lupwayi et al., 2006), aj keď s týmto tvrdením nesúhlasia napr. Matos et al. (2011), ktorí deklarujú, že približne 32 % z celkového množstva dusíka v rastlinnom materiáli sa uvoľní už počas prvých 15 dní. Najrýchlejšie uvoľňovanou živinou z rastlinných zvyškov je podľa Matosa et al. (2011) fosfor.

Štatistické vyhodnotenie našich výsledkov ukázalo, že medzi výškou úrody hlavného produktu a množstvom živín z rastlinných zvyškov každej zo sledovaných plodín existuje nelineárna korelácia. Uvedený poznatok sme využili pre stanovenie koeficientov, vyjadrujúcich pomer živín z rastlinných zvyškov k úrode hlavného produktu. Tieto koeficienty, označované ako „ $K_N$ “ pre dusík, „ $K_P$ “ pre fosfor a „ $K_K$ “ pre draslík predstavujú množstvo živín v kg/ha, pripadajúce na 1 tonu úrody hlavného produktu z 1 hektára pôdy. Zistené hodnoty koeficientov na prepočet živín však nie sú konštantné, ale menia sa podľa výšky úrod. Obrázok 1 prezentuje nelineárnu koreláciu medzi

množstvom živín v pozberových zvyškoch a úrodou hlavného produktu ozimnej formy kapusty repkovej pravej. Hodnoty koeficientov so stúpajúcimi úrodami síce stúpajú, treba však zdôrazniť, že tento trend nie je lineárny a nie je ani nepretržitý. Koeficienty stúpajú len po určitú hranicu úrod, pri ktorej viac-menej stagnujú a po jej prekročení začínajú klesať. Tieto poznatky o variabilite koeficientov na prepočet živín sú dôležité v prípade, že pre nejaké účely je potrebný čo najpresnejší údaj o inpute živín do pôdy vo forme pozberových a koreňových zvyškov niektorej plodiny.

Dosiahnuté výsledky (závislosť úrody od živinového potenciálu) boli pre každú sledovanú plodinu štatisticky vyhodnocované polynomicou regresiou (tabuľka 5). Regresné rovnice pre každú sledovanú živinu ( $K_N$ ,  $K_P$  a  $K_K$ ) boli vypočítané z reálne dosiahnutej úrody na danom pozemku. Stupeň polynomickej rovnice bol vybraný tak, aby bol dosiahnutý čo najvyšší stupeň korelácie. Podľa výsledkov polynomickej regresie sú tieto korelácie medzi výškou úrod a hodnotou koeficientov vysoko preukazné ( $r = 0,826-0,963$ , pri  $*P < 0,05$ )

**Table 5.** Regression equations used to calculate  $K_N$ ,  $K_P$  and  $K_K$  coefficients (where  $u$  = yield in t/ha)**Tabuľka 5.** Regresné rovnice použité na výpočet koeficientov  $K_N$ ,  $K_P$  a  $K_K$  (kde  $u$  = úroda v t/ha)

Crop Plodina	Coefficient $K_N$ Koeficient $K_N$	Coefficient $K_P$ Koeficient $K_P$	Coefficient $K_K$ Koeficient $K_K$
Winter raps Kapusta repková pravá	$8.1346x^3 - 69.577x^2 + 179.05x - 89.818$	$2.6614x^3 - 21.781x^2 + 54.785x - 31.942$	$24.592x^3 - 197.44x^2 + 490.83x - 300.22$
Sunflower Slničnica ročná	$-10.65x^3 + 93.125x^2 - 276.36x + 317.44$	$-0.242x^3 + 2.6914x^2 - 11.755x + 22.477$	$-28.736x^3 + 243.89x^2 - 691.24x + 739.92$
Mustard Horčica biela	$1.4624x^3 + 15.448x^2 - 115.67x + 198.35$	$1.03x^3 + 0.028x^2 - 22.828x + 47.396$	$8.4129x^3 - 11.539x^2 - 122.9x + 287.08$
Soybean Sója fazuľová	$-31.113x^2 + 103.36x - 1.2894$	$-3.3977x^2 + 11.163x + 0.1193$	$-16.783x^2 + 58.851x - 7.1$

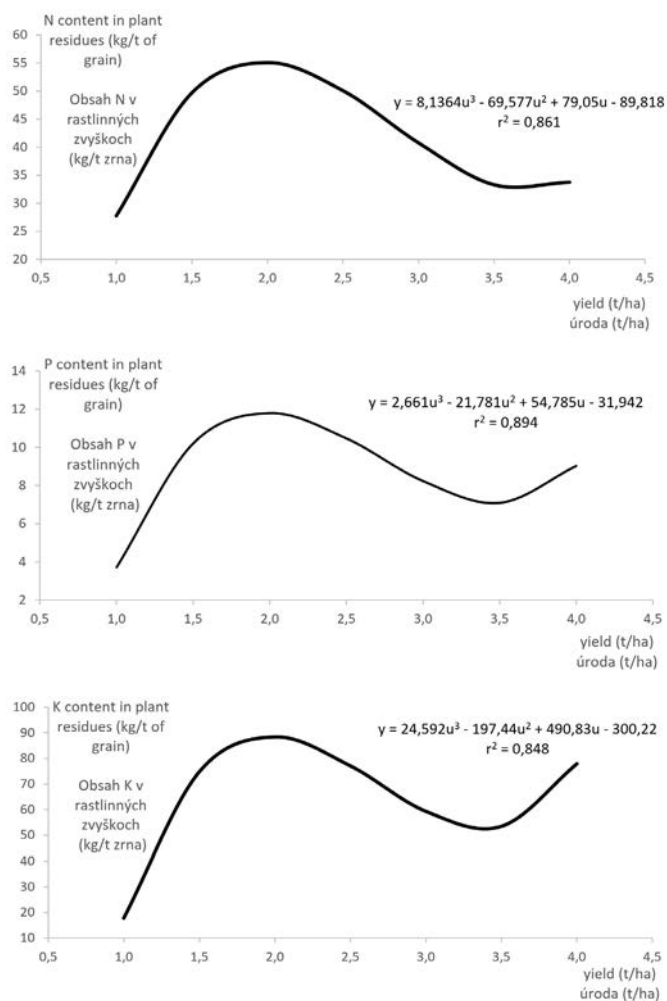
V modeli, vyvinutom v tejto štúdii, bolo celkové množstvo živín v rastlinných zvyškoch vypočítané tak, ako je popísané nižšie, na príklade kapusty repkovej pravej s úrodou zrna 3,0 t/ha. Podľa rovnice v tabuľke ( $K_N = 8,1346x^3 - 69,577x^2 + 179,05x - 89,818$ ; kde  $x$  = úroda plodiny) vyplýva, že koeficient  $K_N$  pre repku je 40,7732. Ďalším krokom bol výpočet  $P_N$  (množstvo dusíka vo zvyškoch repky ozimnej v kg/ha) pomocou rovnice:  $P_N =$

$u \times K_N$  (kde  $u$  je úroda zrna). Napríklad pri úrode plodiny 2,50 t/ha ( $2,50 \times 40,7732 = 101,9$  kg dusíka) ostane v pôde pre ďalšiu pestovanú plodinu po zbere repky 101,9 kg dusíka. Rovnaká metóda bola použitá pri výpočtoch pre ostatné živiny (fosfor a draslík) a pre všetky ostatné skúmané plodiny. Tabuľka 6 uvádza množstvo živín v zaoraných rastlinných zvyškoch niektorých plodín pri bežne dosahovaných úrodách.

**Table 6.** The amount of nitrogen, phosphorus and potassium ploughed into the soil in plant residues of some crops at normally achieved yields**Tabuľka 6.** Množstvo dusíka, fosforu a draslíka zaoraného do pôdy v rastlinných zvyškoch niektorých plodín pri bežne dosahovaných úrodách

Crop Plodina	Yield Úroda	N amount Množstvo N	P amount Množstvo P	K amount Množstvo K
	t/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Winter raps Kapusta repková pravá	2.0 3.0 3.5	110.1 122.3 135.1	23.6 24.7 36.1	176.8 177.9 311.8
Sunflower Slničnica ročná	2.5 3.0 3.5	105.4 116.8 120.2	15.3 14.7 13.8	217.8 256.0 266.6
Mustard Horčica biela	0.5 1.0 1.5	72.3 99.6 97.8	18.1 25.6 25.0	111.9 161.1 157.7
Soybean Sója fazuľová	1.5 2.0 2.5	125.6 162.0 156.6	13.8 17.7 17.0	62.1 86.9 87.8





**Figure 1.** The amount of nutrients (N, P, K) in the plant residues of winter rapeseed (in kg per ton of the main product) as a function of the yield of the main crop (the given data represent average values for the whole of Slovakia)

**Obrázok 1.** Množstvo živín (N, P, K) v rastlinných zvyškoch kapusty repkovej pravej ozimnej (v kg na tonu hlavného produktu) ako funkcia úrody hlavnej plodiny (uvedené údaje predstavujú priemerné hodnoty za celé Slovensko)

Z tabuľky 6 je zrejmé, že množstvo živín (najmä dusíka a draslíka) ponechané v pôde po zbere konkrétnej plodiny nie je zanedbateľné. Napríklad pri priemernej úrode slnečnice 3,0 t/ha zanechá táto plodina v pôde viac ako 100 kg dusíka a viac ako 250 kg draslíka. Dokonca ešte viac dusíka zostáva po zbere sóje (vyše 160 kg pri úrode 2,0 t/ha). Ako je spomenuté vyššie, najmenej 50 % živín zanechaných v rastlinných zvyškoch je k dispozícii pre ďalšiu pestovanú plodinu. To znamená, že asi 60–80 kg dusíka a 100–120 kg draslíka je k dispozícii v pôde pre nasledujúcu plodinu bez akéhokoľvek

dodatočného hnojenia. Toto je potrebné vziať do úvahy pri stanovovaní dávok minerálnych hnojív aplikovaných pod nasledujúce plodiny za účelom efektívnejšieho využitia zdrojov, a tým aj zníženého rizika eutrofizácie i zlepšenia ziskov poľnohospodárskych podnikov znížením výdavkov na hnojivá. Tento model môže mať využitie aj v podmienkach ekologického poľnohospodárstva, ochrany vôd konkrétneho územia, resp. v územiach so silným transportom dusíka v pôdach (Torma et al., 2019) a pri hospodárení v chránených prírodných rezerváciách. Prináša to nielen ekonomický, ale aj environmentálny benefit v porovnaní s konvenčným hnojením a prispieva k udržateľnému poľnohospodárstvu.

## ZÁVER

Na základe prezentovaných dlhodobých experimentálnych výsledkov možno vysloviť záver, že pozberové a koreňové zvyšky niektorých poľných plodín sú svojim potenciálom živín významným článkom biologického kolobehu látok, ktorý zohráva pozitívnu úlohu v bilancii živín v oševnom postupe, v živinových režimoch pôd, a tým aj vo výžive následne pestovaných plodín. Potenciál obsahu dusíka, fosforu, draslíka, ale aj horčíka a vápnika v rastlinných zvyškoch je však značne rozdielny a závisí predovšetkým od biologických zvláštností rastlinného druhu a od výšky úrody danej plodiny. V prípade sledovaných olejnin sa množstvo dusíka ponechaného v pôde s rastlinnými zvyškami pohybovalo od 91 kg (horčica) do 132 kg (sója), množstvo fosforu od 14 kg (sója) do 22 kg (kapusta repková) a množstvo draslíka od 72 kg (sója) do 218 kg na hektár (slnečnica). V práci prezentovaný model predstavuje potenciálne predpoklady stanovenia množstva živín v rastlinných zvyškoch. Predpoklad ich využiteľnosti následne pestovanými plodinami môže byť predmetom ďalších experimentov a overovaní.

Koeficienty na prepočet živín a matematický model, na základe ktorých je možné vyčísliť input živín vo forme rastlinných zvyškov do pôdy, majú vysoké uplatnenie pri bilancii živín v oševnom postupe a pri ekologizácii výživy rastlín v podmienkach biologického (ekologického) systému hospodárenia na pôde, v pásmach hygienickej

ochrany zdrojov podzemných aj povrchových vôd, v chránených oblastiach, štátnych prírodných rezerváciách a v neposlednom rade aj v poľnohospodárskej prvovýrobe ako súčasť ekologicky vyhovujúcich a ekonomicky prijateľných systémov hnojenia.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci riešenia projektu VEGA 1/0100/22.

## LITERATÚRA

- Aulakh, M.S., Khera, T.S., Singh, K., Singh, B., Doran, J.W. (2000) Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. *Soil Science Society American Journal*, 64 (6), 1867–1876. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451867x>
- Babu, S., Rana, D.S., Yadav, G.S., Singh, R., Yadav, S.K. (2014) A review on recycling of sunflower residue for sustaining soil health. *International Journal of Agronomy*, Article ID 601049. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/601049>
- Baldock, J.A. (2007) Composition and cycling of organic carbon in soil. In: Marschner, P., Rengel, Z. eds. *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 1–35.
- Blesh, J., Ying, T. (2020) Soil fertility status controls the decomposition of litter mixture residues. *Ecosphere*, 11 (8), e03237. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3237>
- Cook, R.J. (2006) Towards cropping systems that enhance productivity and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 103, 18389–18394. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0605946103>
- Frerichs, C., Glied-Olsen, S., De Neve, S., Broll, G., Daum, D. (2022) Crop Residue Management Strategies to Reduce Nitrogen Losses during the Winter Leaching Period after Autumn Spinach Harvest. *Agronomy*, 12, 653. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030653>
- Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, Ch., Zhang, Y. (2014) Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (2), 429–442. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0207-8>
- Javorský, P., Fojtíková, D., Kalaš, V., Kratochvíl, J., Schwarz, M. (1987) *Chemické analýzy v zemědělských laboratořích [Chemical analyses in agricultural laboratories]*. Praha: Ministry of Agriculture of the Czech Republic, 167 p. (in Czech).
- Jurčová, O., Torma, S. (2001) *Metodika kvantifikácie živinového potenciálu rastlinných zvyškov [The methodology of nutrient potential quantification of plant residues]*. Bratislava, Slovak: VÚPOP Bratislava; 36 p. (in Slovak).
- Kumar, K., Goh, K.M. (1999) Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*, 68, 197–319. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60846-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60846-9)
- Li, X.G., Jia, B., Lv, J., Ma, Q., Kuzyakov, Y., Li, F.-M. (2017) Nitrogen fertilization decreases the decomposition of soil organic matter and plant residues in planted soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 112, 47–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.04.018>
- Liu, S., Li, J., Liang, A., Duan, Y., Chen, H., Yu, Z., Fan, R., Liu, H., Pan, H. (2022) Chemical Composition of Plant Residues Regulates Soil Organic Carbon Turnover in Typical Soils with Contrasting Textures in Northeast China Plain. *Agronomy*, 12, 747. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030747>
- Lupwayi, N.Z., Clayton, G.W., O'Donovan, J.T., Harker, K.N., Turkington, T.K., Soon, Y.K. (2006) Nitrogen release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 86, 11–19. DOI: <https://doi.org/10.4141/S05-015>
- Matos, E.S., Mendonça, E.S., Cardoso, I.M., de Lima, P.C., Freese, D. (2011) Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 141–149. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100013>
- Partey, S.T. (2011) Effect of pruning frequency and pruning height on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Agroforestry Systems*, 83, 181–187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9367-y>
- Partey, S.T., Preziosi, R.F., Robson, G.D. (2013) Maize residue interaction with high quality organic materials: effects on decomposition and nutrient release dynamic. *Agricultural Research*, 2, 58–67. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40003-013-0051-0>
- Singh, Y., Singh, B., Timsina, J. (2005) Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics. *Advances in Agronomy*, 85, 269–407. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)85006-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)85006-5)
- Smith, H.P.J., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., Taube, F. (2021) Very Low Nitrogen Leaching in Grazed Ley-Arable-Systems in Northwest Europe. *Agronomy* 11, 2155. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112155>
- Sugihara, S., Funakawa, S., Kosaki, T. (2012) Effect of land management on soil microbial N supply to crop N uptake in a dry tropical cropland in Tanzania. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146, 209–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.008>
- Torma, S., Vilček, J. (2017) Pozberové zvyšky cukrovej repy a ich význam v kolobehu živín. [The post-harvest residues of sugar-beet and their importance of nutrient cycling]. *Listy cukrovarnícke a řepařské* 133, 9–10, 285–287. ISSN 1210-3306 (in Slovak).
- Torma, S., Koco, Š., Vilček, J., Čermák, P. (2019) Nitrogen and phosphorus transport in the soil from the point of view of water pollution. *Folia Geographica*, 61, 1, 143–156. ISSN 1336-6157.
- Vigil, M.F., Kissel, D.E. (1991) Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. *Soil Science Society American Journal*, 55, 757–761. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500030020x>
- Vilček, J., Koco, Š., Torma, S., Lošák, T., Antonkiewicz, J. (2019) Identifying Soils for Reduced Tillage and No-Till Farming Using GIS. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28, 4, 2407–2413. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/90787>