



## **Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě**

**Gabriela Mühlbachová, Helena Kusá, Radek Vavera, Martin Káš**

**Schválená metodika pro praxi**

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Praha 6 – Ruzyně



2023

Metodika je výsledkem projektu NAZV QK21020155 „Nástroj pro hospodaření se živinami a organickými látkami“ a podpory na Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné instituce na léta 2018-2022 a 2023-2027 Ministerstva zemědělství ČR č. MZE-RO0418 a MZE-RO0423.

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Praha 6 – Ruzyně

ISBN 978-80-7427-425-1

**2023**

Gabriela Mühlbachová, Helena Kusá, Radek Vavera, Martin Káš

# **Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě**

**Schválená metodika pro praxi**

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2023

## **Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě**

Metodika pro praxi hodnotí obsah živin v půdách. V metodice jsou popsány výsledky dlouhodobých pokusů s různým hnojením minerálními a statkovými hnojivy a také výsledky obsahu živin po různém zpracování půd. V posledních desetiletích se začaly často používat bezorebné způsoby zpracování půdy, kde je distribuce živin jiná než u klasického orebného způsobu. Obsahy živin v půdě byly hodnoceny jak metodou Mehlich 3, tak i metodou KVK-UF a v omezené míře stanovením v  $\text{CaCl}_2$ . Na základě dosažených výsledků byly navrženy úpravy hodnocení obsahu živin v půdě podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. Současně byly vypracovány nové návrhy hodnocení obsahu živin podle metody KVK-UF.

**Klíčová slova:** půda; obsah živin; hodnocení; Mehlich 3; KVK-UF

## **The use of diagnostic methods of evaluation of available nutrients in soil**

The methodology evaluates the nutrient content in soils. The methodology describes the results of long-term experiments with various mineral and farmyard manure fertilization as well as the results of nutrient content after different soil tillage practices. In recent decades, no-tillage practices are frequently used. The distribution of nutrients under conservative tillage practices is different in comparison with the classic ploughing. Nutrient contents were evaluated by both the Mehlich 3 method and the KVK-UF method and partially also by determination in  $\text{CaCl}_2$ . On the basis of the achieved results, modifications to the assessment of nutrient content according to Decree No. 275/1998 Coll. were suggested. Contemporary new suggestions for the evaluation of nutrient content in soils by means of the KVK-UF method were made.

**Keywords:** soil; nutrient content; evaluation; Mehlich 3; KVK-UF

Oponenti:

prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D., Ústav environmentalistiky a přírodních zdrojů, MENDELU Brno

Ing. Michaela Smatanová, Ph.D., ÚKZÚZ, Brno

Metodika byla schválena Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, pod č. Osvědčení 219190/2023

# Obsah

I.	Cíl metodiky	5
II.	Vlastní popis metodiky	5
	1. Úvod	5
	2. Dlouhodobé polní pokusy	10
	3. Zpracování půdy a obsah živin	27
	4. Návrh interpretace stávajících kategorií výživy rostlin a nové kategorie podle metody KVK-UF	35
III.	Srovnání novosti postupů a zdůvodnění (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.)	39
IV.	Popis uplatnění schválené metodiky	39
V.	Ekonomické aspekty	39
VI.	Seznam použité související literatury	40
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice	41



## I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je vyhodnotit a navrhnout úpravu současných kritérií hodnocení živin v půdách dané vyhláškou č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků s ohledem na nově získané poznatky včetně stále častěji používaných konzervačních pěstitelských technologií, jako jsou minimalizační způsoby zpracování půdy nebo přímé setí do mulče. V některých případech se na základě nových výsledků ukazuje potřeba přehodnocení zásoby živin v půdě. Proto bylo třeba porovnat obsahy živin zjištěné na různých půdách při různém hnojení a zpracování půdy a na tomto základě navrhnout úpravu stávajících kritérií. Dalším cílem bylo nově navrhnout i kritéria hodnocení obsahu živin v půdách stanovených metodou KVK-UF.

## II. Vlastní popis metodiky

### II.1. Úvod

Odpovídající obsah živin v půdě je předpokladem zdravého růstu rostlin. Mezi nejdůležitější živiny zemědělských plodin patří kromě dusíku také další makroživiny jako je fosfor, draslík, hořčík a vápník. Pro optimalizaci hnojení těmito živinami je třeba znát jejich obsah v půdách, který lze stanovit různými metodami.

Agrochemické zkoušení zemědělských půd je prováděno Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, který v šestiletých cyklech stanovuje a hodnotí obsah živin v půdách České republiky. Široce používanou metodou je metoda Mehlich 3, pro kterou byla zpracována také kritéria pro hodnocení obsahů jednotlivých živin. Kritéria jsou uvedena ve vyhlášce č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů (Tabulka 1).

Podle Zbírala (2017) je využití multispektrální metody Mehlich 3 výhodné s ohledem na možnost využití techniky ICP-OES, která už je běžně dostupná. S metodou Mehlich 3 byly porovnávány různé metody stanovení živin (DTPA, extrakt horkou a studenou vodou).

Metoda Mehlich 3 je v současné době, i vzhledem k množství zpracovaných vzorků, vhodná pro účely státní správy. Z pohledu agronoma má ale i některé nevýhody, mezi které patří fakt, že činidlo Mehlich 3 má nízkou hodnotu pH okolo 2,5, a proto jsou z půdy extrahovány i méně přístupné podíly některých živin. Z tohoto pohledu je metodou Mehlich 3 v půdě stanovováno větší množství živin, než je reálně rostlinami přijímáno. U karbonátových půd s vyšší hodnotou pH kromě toho dochází ke zvýšení pH roztoku činidla, což může ovlivnit extrahovatelnost živin, a mezi nimi především fosforu.

**Tabulka 1.** Kritéria hodnocení obsahu fosforu, draslíku a hořčíku na orné půdě (Mehlich 3), vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků

Obsah	Fosfor (mg.kg <sup>-1</sup> )		Draslík (mg.kg <sup>-1</sup> )			Hořčík (mg.kg <sup>-1</sup> )		
			půda			půda		
	SP <sup>1)</sup>	ICP-OES <sup>2)</sup>	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
Nízký	do 50	do 55	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120
Vyhovující	51–80	56–85	101–160	106–170	171–260	81–135	106–160	121–220
Dobrý	81–115	86–125	161–275	171–310	261–350	136–200	161–265	221–330
Vysoký	116–185	126–200	276–380	311–420	351–510	201–285	266–330	331–460
Velmi vysoký	nad 185	nad 200	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

1) Stanovení spektrofotometricky, 2) Stanovení metodou ICP-OES

Pro zpřesnění odhadu živin dostupných pro rostliny je možné používat i některé další metody stanovení obsahu živin s menší extrakční silou, ale více odpovídající reálným potřebám rostlin. Mezi ně patří například metoda KVK-UF (Matula, 2007), která spočívá v extrakci živin v 0,5 M octanu amonném s 0,005 M fluoridu amonného při pH 7. Podobně jako metodu Mehlich 3 je možné ji používat pro široké spektrum prvků. Hodnota pH tohoto činidla je 7, což umožňuje extrahovat výměnné podíly živin, které jsou pro rostliny na základě výměny kationtů v půdním sorpčním komplexu snadněji dostupné a tvoří tzv. pohotovostní zásobu živin v půdě. Celkově se metodou KVK-UF stanoví nižší obsah živin v půdě než metodou Mehlich 3.

V současné době se v zemědělské praxi často využívají redukované technologie zpracování půdy včetně přímého setí. Při jejich dlouhodobějším používání dochází při aplikaci minerálních hnojiv na povrch půdy k postupné akumulaci živin v povrchové vrstvě a naopak snižování jejich obsahu ve větší hloubce půdního profilu. Podle současných Pracovních postupů pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice pro období 2023 až 2028 (Smatanová a Florián, 2022) hloubka odběru vzorků orných půd odpovídá mocnosti orničního profilu, a to maximálně do 30 cm. Přitom nemohou být zohledněny různé způsoby zpracování půdy, což může ovlivnit i získané výsledky obsahu živin. Pro vrchní vrstvu půdy tak může docházet k určitému podhodnocení obsahu živin. Přitom tato vrstva může být zranitelná například při vyšším hnojení půd monovalentními kationty (např. K<sup>+</sup>), kdy může docházet k jejich zvýšené koncentraci na povrchu půdy a vymývání některých jiných živin (např. Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) do hlubších vrstev půdy, zhoršení půdní struktury a její rozplavení. Mezi nejčastější příčiny špatného stavu půdy v posledních letech patří totiž



nedostatečné vápnění, vyšší obsah draslíku v půdě (plně dostačující je vyhovující zásoba stanovená metodou Mehlich 3) a jeho nevhodný poměr k dvojmocným kationtům ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) i nízký obsah organického uhlíku v půdě (Růžek et al., 2023).

## Fosfor

Fosfor je jedním z klíčových prvků ve výživě rostlin a je rostlinami přijímán ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě  $H_2PO_4^-$  a  $HPO_4^{2-}$  (Vaněk et al., 2012). Průměrný obsah fosforu stanovený metodou Mehlich 3 uvedený v hodnotící zprávě ÚKZÚZ za období 2016–2021 je v orné půdě ČR 91 mg/kg. Při přepočtu na hektar orné půdy by množství takto stanoveného fosforu představovalo zhruba 365 kg fosforu v ornici. Podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. (Tabulka 1) dobrý obsah P v půdě odpovídá hodnotám 86–125 mg P/kg. Toto množství představuje přibližně 350–500 kg P/ha. Z tohoto množství ale značná část fosforu není pro rostliny přímo přijatelná, protože obsah fosforu v půdním roztoku je nízký (cca 0,05–0,4 mg P/l) (Balík et al., 2021; Kulhánek et al., 2021). V případě fosforu existuje vhodné rozpětí hodnot pH 5,5–7, kdy je jeho přijatelnost pro rostliny nejvyšší. Pro potenciální výživu rostlin tak slouží různé minerální a organické sloučeniny fosforu. Zatímco minerální vápenaté sloučeniny fosforu mohou za příznivých podmínek postupně uvolňovat P do půdního roztoku, sloučeniny s hliníkem a železem mají velmi malou rozpustnost (Vaněk et al., 2012).

Problematika stanovení fosforu v půdě není jednoduchá. V minulosti se pro stanovení přijatelného fosforu používalo mnoho metod (Egnerova, Olsenova, Mehlich 2, Mehlich 3) (Macháček a Kunzová, 2023). Tyto metody mají různá činidla s různou extrakční silou. Metoda podle Egnera je založena na roztoku laktátu vápenatého s pH 3,7. Mehlich 3 je založen na směsi celkem 5 různých chemikálií včetně kyseliny dusičné s pH okolo 2,5. Olsenova metoda je naopak založena na hydrogenuhličitanu sodném s hodnotou pH 8,3. Z praktických důvodů se nyní využívá metoda Mehlich 3, kterou se podle Macháčka a Kunzové (2023) extrahuje přibližně dvojnásobek fosforu v porovnání s metodou podle Olsena. Při použití metody Mehlich 3 na karbonátových půdách (pH > 7,3; obsah Ca podle Mehlich 3 > 3 500 mg Ca/kg) se zvyšuje hodnota pH extrakčního činidla, což může způsobovat problémy v interpretaci obsahu P v půdách. Na tento problém částečně odpověděla metodika Čermáka et al. (2018), kde pro karbonátové půdy a jednotlivé kategorie byly navrženy nižší hodnoty fosforu. Matula (2007) pro stanovení fosforu upravil metodu KVK-UF, kdy součástí extrakčního roztoku je fluorid amonný.

## Draslík

Draslík je neaktivnější živinou ze skupiny kationtů, jejichž hlavní zásoba je vázaná výměnnou sorpcí na půdních koloidech. U většiny půd činí celkový obsah draslíku 0,5–3,2 % (Vaněk et al., 2012). Rostlina přijímá draslík jako

monovalentní kation ( $K^+$ ) a v této podobě v ní setrvává po celou dobu plnění fyziologických funkcí. V příjmu draslíku existují značné interakce antagonistického charakteru s ostatními kationty, kdy zvýšená aktivita  $K^+$  potlačuje možnost vstupu  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  do rostliny (Matula, 2007).

Průměrný obsah draslíku v ČR stanovený metodou Mehlich 3 se podle dostupných informací ÚKZÚZ v orniční vrstvě pohybuje v rozmezí 205–274 mg K/kg, přičemž nižší hodnoty jsou zjišťovány na lehkých půdách a vyšší na těžkých půdách. V podorničí se obsah draslíku pohybuje v rozmezí 141–180 mg K/kg. Průměrný obsah K pak představuje přibližně 490 až 1 100 kg K/ha v ornici (0–30 cm) u různých druhů půd a 510 až 720 kg K/ha v podorničí. V podorničí se tak nachází přibližně 65–67 % obsahu draslíku v porovnání s orniční vrstvou. Podorničí proto představuje významnou zásobu draslíku v půdě, i proto, že draslík z podorničí je rostlinami dobře přijímán.

Průměrný obsah draslíku stanovený metodou KVK-UF se blíží hodnotám stanoveným metodou Mehlich 3. Lze předpokládat, že většina takto stanoveného draslíku je ve výměnné formě a jen velmi malá část je v nevýměnné formě, která může být vázána na krystalové mřížky minerálů, případně se nachází v mezivrstvách jílovitých minerálů.

V souvislosti s používáním nových pěstitelských technologií s redukovánými způsoby zpracování půdy včetně přímého setí, vzniká potřeba hlubších informací o intenzitě, kinetice a kapacitě jednotlivých živin v půdě (Balík et al., 2022). Při používání redukováných technologií zpracování půdy dochází ke koncentrování většího podílu živin na povrchu půdy nejen v důsledku aplikace minerálních hnojiv, ale i rozkladu rostlinných zbytků, což může při vyšším obsahu draslíku vést ke změně struktury půdy a jejímu rozplavení. Podle Matuly (2007) se vhodná optimální výše zásobenosti draslíkem pohybuje v rozmezí 100 až 220 mg K/kg, přičemž je třeba brát v úvahu sorpční i vodní kapacitu půd, jejich druh i další půdní charakteristiky.

## Hořčík

Půdy obsahují v průměru 0,4–0,6 % hořčíku, přičemž celkový obsah Mg je dán minerálním složením matečných hornin (Vaněk et al., 2012). Významnými sloučeninami hořčíku jsou uhličitany (magnezit a dolomity) a různé soli (sírany, fosforečnany, chloridy, dusičnany), které jsou významným zdrojem pro výživu rostlin. Významné množství Mg je sorbováno také na půdních koloidech (Vaněk et al., 2012). Průměrný obsah hořčíku stanovený metodou Mehlich 3 v orné půdě ČR je podle ÚKZÚZ 198 mg/kg, což představuje přibližně 720–780 kg Mg/ha podle druhu půdy. Podíl orných půd s nízkým obsahem činí 14 %, vysoký a velmi vysoký obsah představuje 17 % výměry. Hlavní zásoba přijatelného hořčíku v půdě je představována kationtem  $Mg^{2+}$ , který je výměnně sorbován na pevné fázi půdy (Matula, 2007). V porovnání s dalšími významnými kationty ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ) je síla výměnné sorpce hořčíku na půdních koloidech slabší, což při zvýšení koncentrace monovalentních kationtů ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ) vede ke snadnějšímu vyplavení

hořčíku do spodních vrstev půdy (Matula, 2007). V sorpčním komplexu by ekvivalentní zastoupení iontů hořčíku mělo představovat přibližně 7–20 % z celkové sorpční kapacity.

## **Vápník**

Obsah vápníku v půdách je značně variabilní, přitom jeho dostatek v půdě má velký význam z hlediska chemického, fyzikálního i biologického. Vápník je podstatný pro udržování vhodné hodnoty pH, a proto vápnění je jedním ze způsobů udržování půdní úrodnosti. Z hlediska výživy rostlin je podstatný vápník výměnný, jehož množství kolísá podle nasycení koloidů a sorpční kapacity. Nasycení koloidů Ca by se mělo pohybovat v rozmezí 60–80 % sorpční kapacity půdy (Vaněk et al., 2012) s dominantním podílem jílových minerálů typu 2:1. Sorpční kapacita půdy se v průměru zvyšuje spolu s obsahem Ca.

Vápník v půdě má velký význam z hlediska chemických, fyzikálních i biologických procesů v půdě. Jeho úloha v půdě spočívá v eliminaci iontů  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ , účastní se koagulace koloidů, sycení sorpčního komplexu má vliv i na mikrobiální aktivitu v půdě (Vaněk et al., 2012). Většina vápníku v půdě se vyskytuje v málo rozpustných vazbách. Nižší obsah vápníku se zpravidla vyskytuje na kyselějších a písčitéjších půdách s nižší sorpční kapacitou. Pro výživu rostlin je významný především vápník nacházející se ve výměnných vazbách. Dominantní postavení vápníku nad ostatními kationty je nutné především pro koagulaci půdních koloidů, a tedy udržení půdní struktury a inaktivaci hliníku (Balík et al., 2005). Vápník má významný vliv na sorpční kapacitu půdy a hodnotu pH, která má s obsahem vápníku přímou souvislost.

Průměrný obsah vápníku stanovený metodou Mehlich 3 na orné půdě ČR činí podle hodnocení ÚKZÚZ 3 013 mg/kg. Podíl půd s nízkým obsahem vápníku činí 11,0 %, vysoký a velmi vysoký obsah představuje 25,4 %. Z regionů vykazuje největší podíl orných půd s nízkou zásobou kraj Karlovarský (25,5 %) a Jihočeský (24,4 %). Naopak v Ústeckém kraji je 74 % ploch s vysokou a velmi vysokou zásobou vápníku a v Jihomoravském 64 %.

## **Poměry živin**

V rámci hodnocení ÚKZÚZ (Smatanová a Florián, 2022) je sledován i vzájemný poměr K:Mg. Podle ÚKZÚZ při poměru K:Mg menším než 1,6 není třeba očekávat problémy s výživou hořčíkem. Je-li poměr v rozmezí 1,6–3,2, je třeba ke hnojení draslíkem přistupovat opatrně a předcházet možným problémům především u krmných plodin. Hodnota vyšší než 3,2 je podle ÚKZÚZ nevyhovující, je důsledkem nevyvážené výživy těmito prvky, zejména nadměrným příjmem draslíku a je třeba vynechat draselné hnojení. Tyto hodnoty jsou propočteny na základě výsledků obsahů živin v půdách stanovených metodou Mehlich 3.

Podle Matuly (2007) a Vaňka et al. (2012), by poměr Mg:K měl být 2–3:1. Tento poměr lze propočítat podle výměnných podílů živin, které lze stanovit metodou KVK-UF, neboli 0,5 M octanem amonným v neutrálním prostředí.

## II.2. Dlouhodobé polní pokusy

Dlouhodobé pokusy s různou úrovní hnojení obecně představují možnost, jak zjistit nejvhodnější udržitelné systémy hnojení a přispívají tak k lepšímu chápání vhodných způsobů hnojení, dostupnosti živin a výnosů plodin (Rasmussen et al., 1998). Ke sledování vývoje zásoby živin v půdě jsou dlouhodobé pokusy velmi užitečné, protože na nich lze na srovnatelné ploše a při kontrolovaných vstupech vysledovat účinky různých opatření na půdní vlastnosti, výnosy plodin a další sledované parametry. Problémem interpretace výsledků z dlouhodobých pokusů zejména v příštích letech s větším rozšířením konzervačních technologií zpracování půdy však je a bude, že většina těchto půd je orána a následně zpracovávána více přejezdy techniky než je běžné v zemědělské praxi, čímž se uvolňuje více živin v důsledku vyšší mineralizace organických látek v půdě. Kromě toho jsou často aplikovány vysoké dávky draslíku a fosforu.

Jedny z významných dlouhodobých polních pokusů IOSDV (Internationale organische stickstoffdauerdüngungsversuch) byly založeny před 40 lety v mezinárodním rozsahu. V těchto pokusech jsou sledovány různé systémy hnojení v různých pedo-klimatických podmínkách (Körschens et al., 2012). V České republice jsou tyto pokusy prováděny v Ivanovicích na Hané (černozem) a v Lukavci u Pacova (kambizem). Tato stanoviště se liší jak půdními, tak klimatickými podmínkami. V dlouhodobém pokusu je uplatňováno několik systémů hnojení minerálními a statkovými hnojivy v různých kombinacích včetně stupňovaných dávek dusíku. Obsah živin byl stanovován metodami Mehlich 3 a KVK-UF, v některých případech také 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ .

V pokusu jsou porovnávány tři základní systémy hnojení – minerální, hnůj (30 t/ha jednou za 3 roky), sláma obilnin s mezipločinou (hořčice a svazenka). Od roku 1984 do roku 2019 bylo, s výjimkou kontroly, aplikováno v průměru ročně 83 kg K/ha a 43 kg P/ha. V současné době je vzhledem ke zjištěným vysokým obsahům draslíku a fosforu hnojení P a K dočasně přerušeno. Současně jsou v pokusu aplikovány stupňované dávky dusíku, v případě obilnin až do 160 kg N/ha.

Obsah fosforu stanovený metodou Mehlich 3 se ve vrstvě 0–30 cm v závislosti na použitém hnojení minerálními a statkovými hnojivy na dlouhodobém polním pokusu na černozemi pohyboval v rozmezí 80–199 mg P/kg a na kambizemi 144–260 mg P/kg. Obsah P na kambizemi stanovený metodou KVK-UF dosahoval úrovně přibližně 20 % a na černozemi okolo 9–12 % v porovnání s Mehlich 3 (Obr. 1–3). Obsah fosforu na černozemi je částečně ovlivněn i vyššími obsahy vápníku, kde lze předpokládat, že část fosforu je vázána na vápník.

Obsah draslíku na kambizemi stanovený metodou Mehlich 3 představoval 160–483 mg K/kg, kdy vyšší obsah K byl zjištěn po dlouhodobém hnojení hnojem. Na černozemi se obsah draslíku pohyboval v rozmezí 334–724 mg K/kg podle metody Mehlich 3. Metodou KVK-UF se stanoví přibližně 85–95 % obsahu K, který je stanovován metodou Mehlich 3. Draslík je na rozdíl od většiny ostatních kationtů monovalentní, jeho zvýšená aktivita vede k potlačení příjmu dalších kationtů ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) do rostliny. Nejvyšší obsah K byl zjištěn po dlouhodobé aplikaci hnoje na černozemi (Obr. 4–6). Na základě výsledků proto dočasně nejsou aplikována další draselná minerální hnojiva, obsah K v půdách je dále sledován. V okrese Vyškov, kde je stanoviště pokusu na černozemi, je v půdách vyšší obsah draslíku a z výsledků je zřejmé, že je třeba s přirozeným vyšším obsahem draslíku počítat a upravit podle toho i plány hnojení.

Přirozeným zdrojem draslíku jsou jílovité minerály obsahující draslík a následné zvětrávací procesy. Nižší zásoba draslíku je proto zpravidla v půdách s nižší sorpční kapacitou. Na kambizemi byly zjištěny celkově nižší hodnoty KVK (122–130 mmol  $NH_4^+$ /kg), což souvisí i s nižšími obsahy K. Na černozemi je hodnota KVK okolo 190–200 mmol  $NH_4^+$ /kg a současně byly zjištěny vyšší obsahy draslíku v půdách.

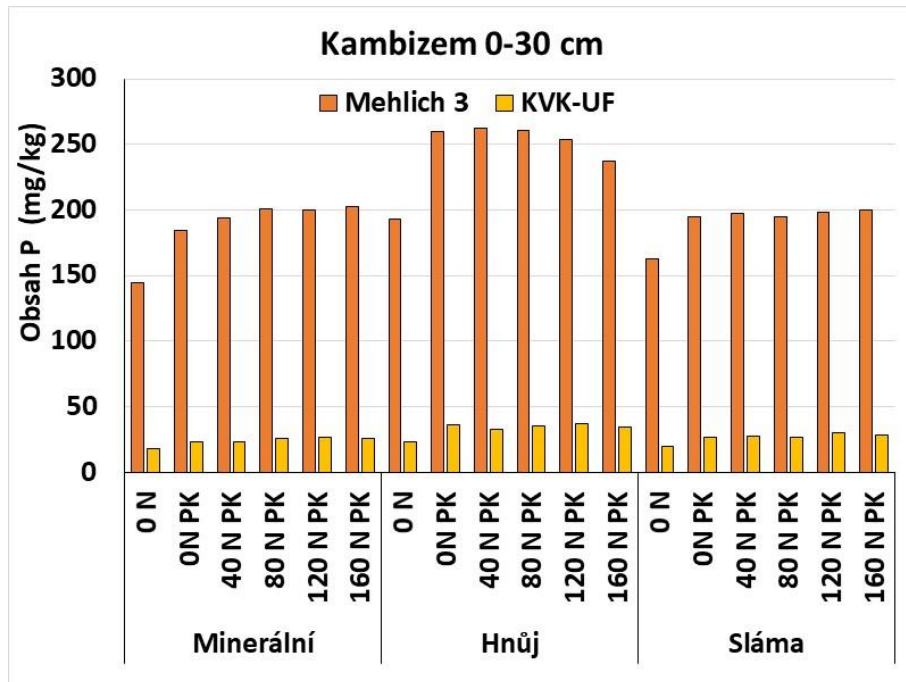
Obsah hořčíku na kambizemi se v půdní vrstvě 0–30 cm pohyboval v rozmezí 90–130 mg Mg/kg a na černozemi 240–303 mg Mg/kg (Mehlich 3). Metodou KVK-UF bylo na kambizemi stanoveno 58–73 % Mg a na černozemi 52–62 % v porovnání s metodou Mehlich 3. Podobně jako u draslíku, vyšší hodnoty hořčíku byly zjištěny po hnojení hnojem (Obr. 7–9).

Obsah vápníku na kambizemi se ve vrstvě půdy 0–30 cm pohyboval v rozmezí 1275–1872 mg Ca/kg na černozemi byl 2902–3504 mg Ca/kg podle metody Mehlich 3. Metodou KVK-UF bylo stanoveno 51–64 % vápníku na kambizemi a 28–35 % na černozemi v porovnání s metodou Mehlich 3 (Obr. 10–12).

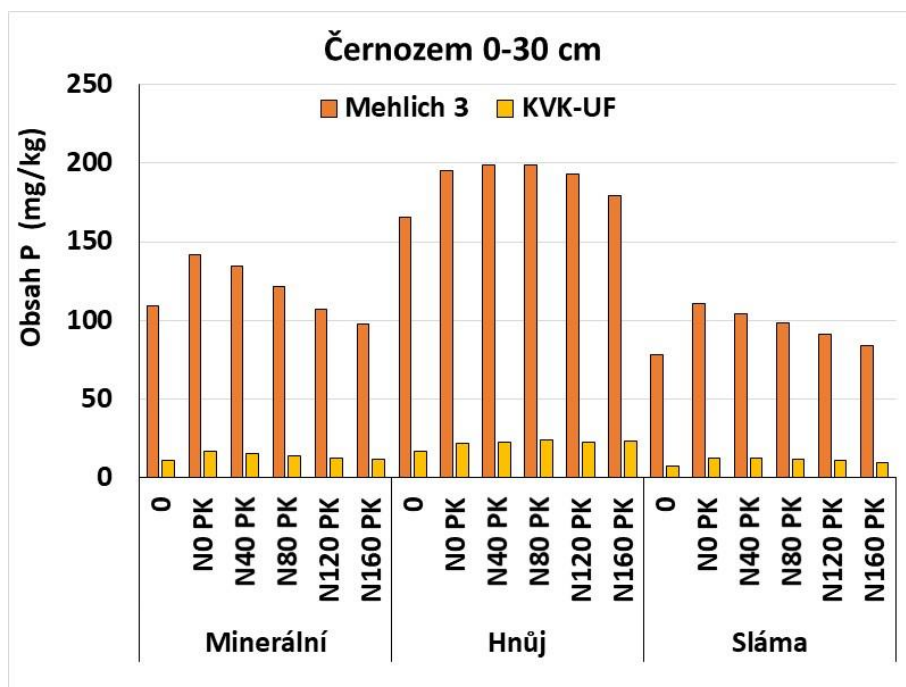
Hodnota pH na černozemi se v závislosti na systému hnojení minerálními nebo statkovými hnojivy pohybuje mezi 6,3–7,1 při stanovení v 0,01 M  $CaCl_2$  a mezi 7,1–7,6 při stanovení ve vodě. Hodnota pH na kambizemi se pohybuje mezi 5,5–6,1 při stanovení v 0,01 M  $CaCl_2$  a 6,0–6,6 při stanovení ve vodě. Obsah vápníku ovlivňuje hodnoty pH v půdách, stejně tak je zřejmé, že na černozemi se větší část vápníku nenachází ve výměnné formě, ale pravděpodobně ve formě uhličitánů a dalších hůře rozpustných sloučenin. Naopak na kambizemi je obsah vápníku nižší, ale významně vyšší část se nachází ve výměnné formě.

**Obr. 1:** Obsah fosforu na kambizemi (a) a černoze (b) po hnojení minerálními a statkovými hnojivy (metody Mehlich 3 a KVK-UF)

a)

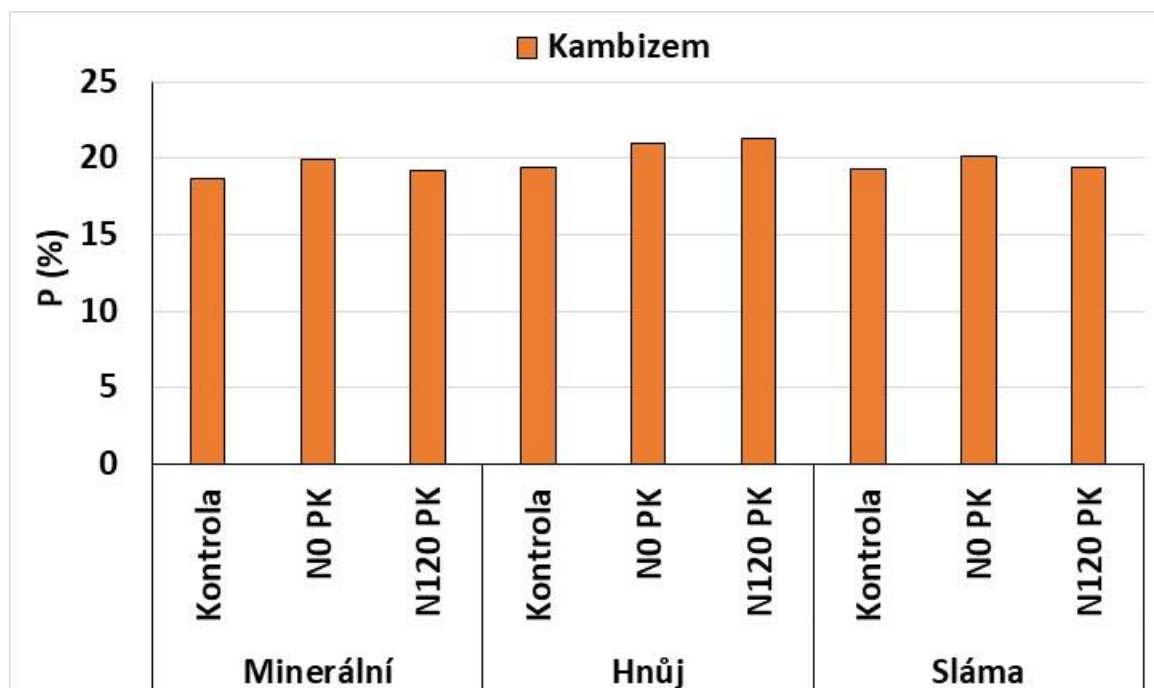


b)

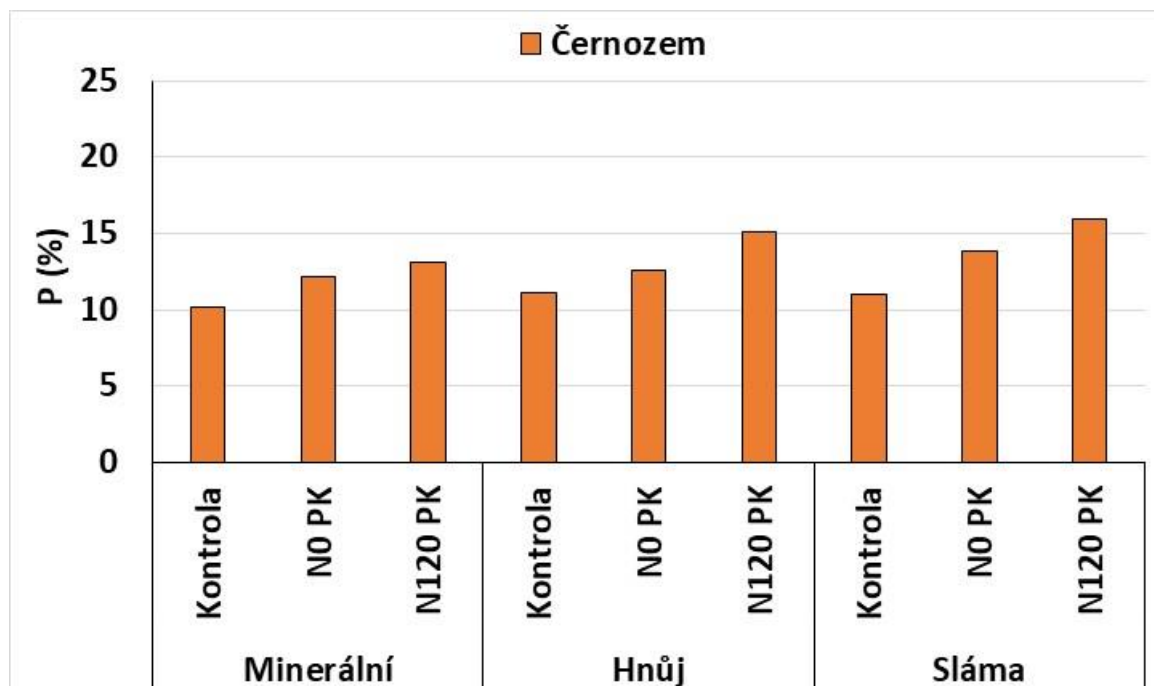


**Obr. 2:** Podíl fosforu stanoveného metodou KVK-UF v porovnání s metodou Mehlich 3 – kambizem (a), černoze (b)

a)

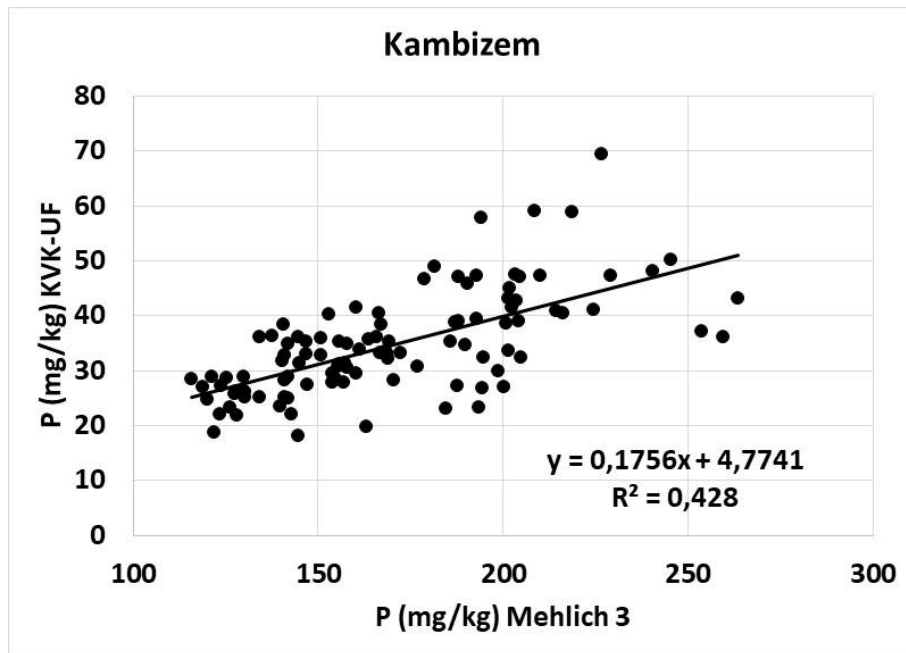


b)

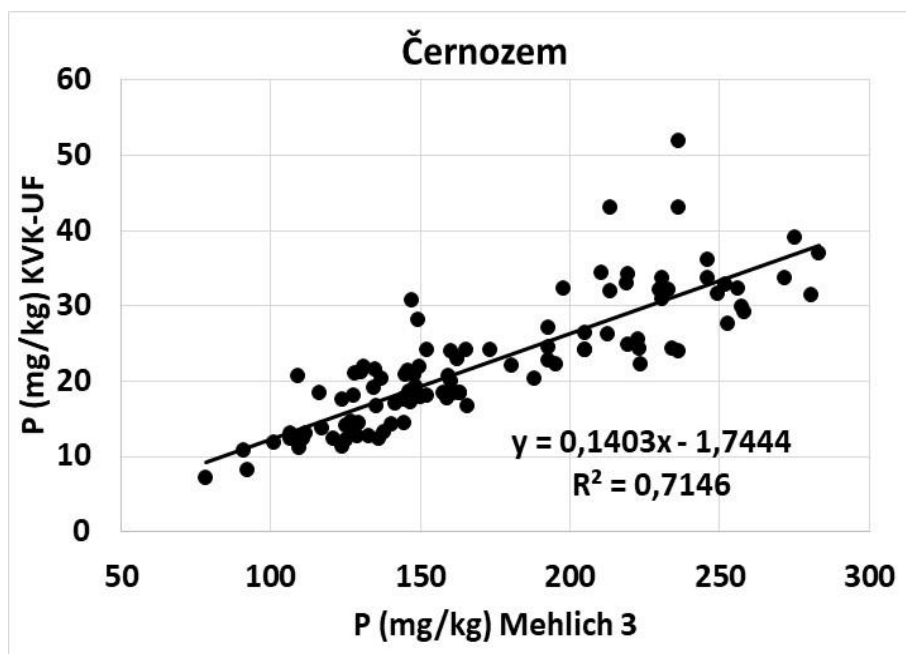


**Obr. 3:** Korelace mezi obsahem fosforu v půdě stanoveným metodami KVK-UF a Mehlich 3 – kambizem (a), černoze (b)

a)



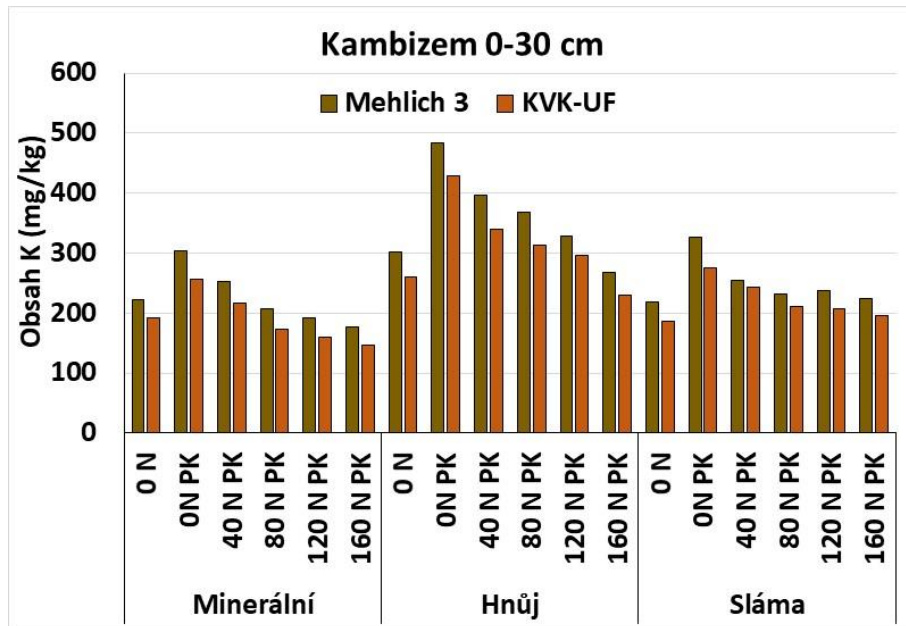
b)



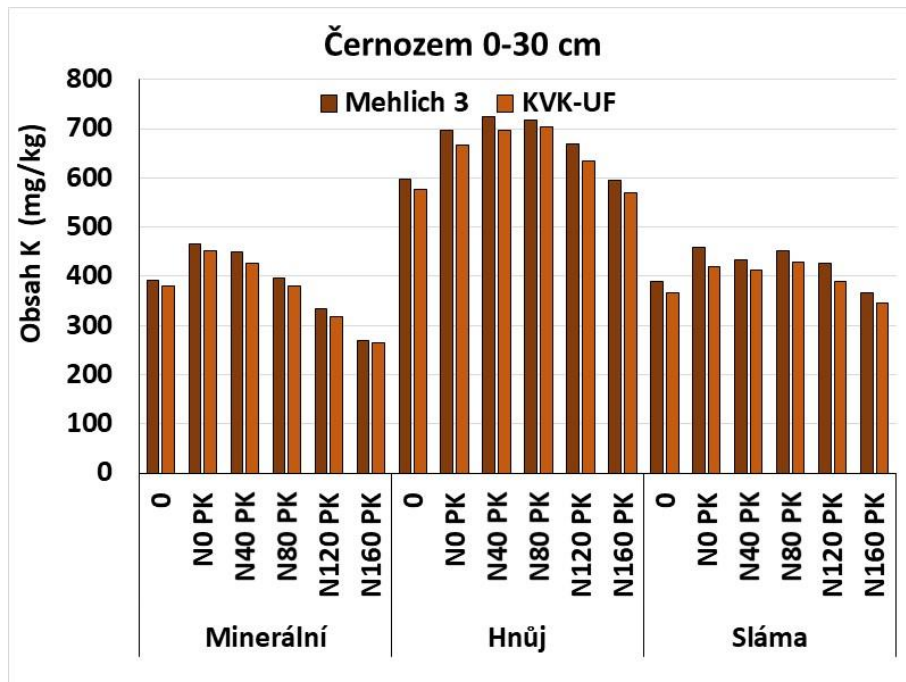


**Obr. 4:** Obsah draslíku na kambizemi (a) a černoze (b) po hnojení minerálními a statkovými hnojivy (metody Mehlich 3 a KVK-UF)

a)

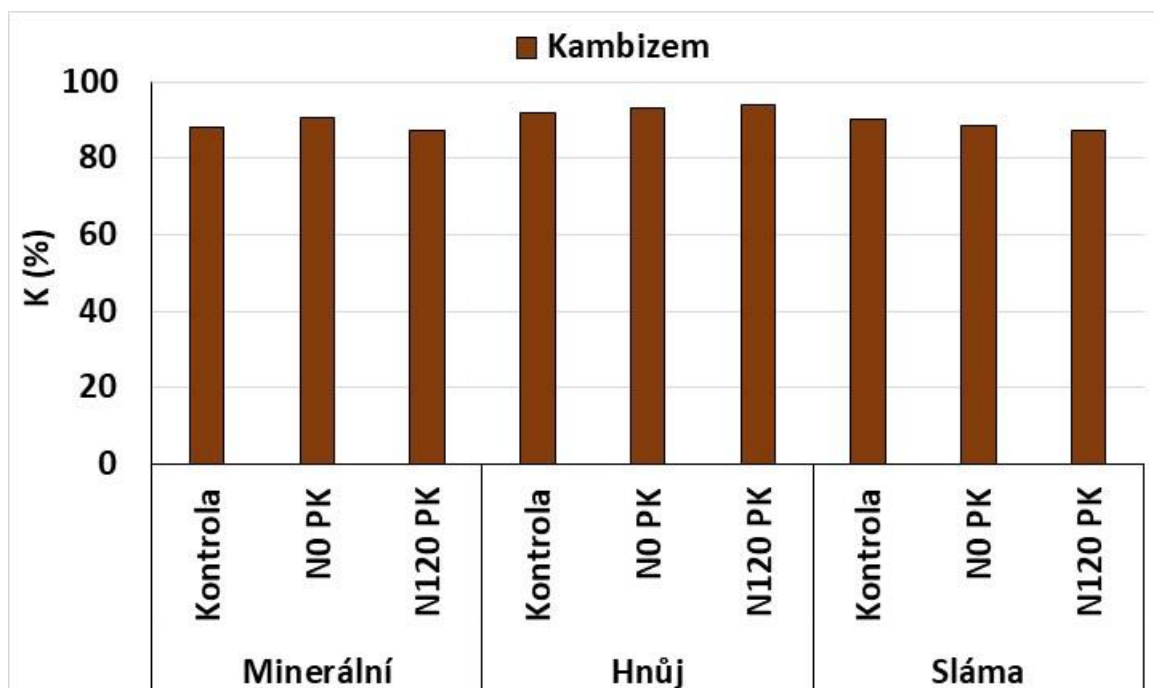


b)

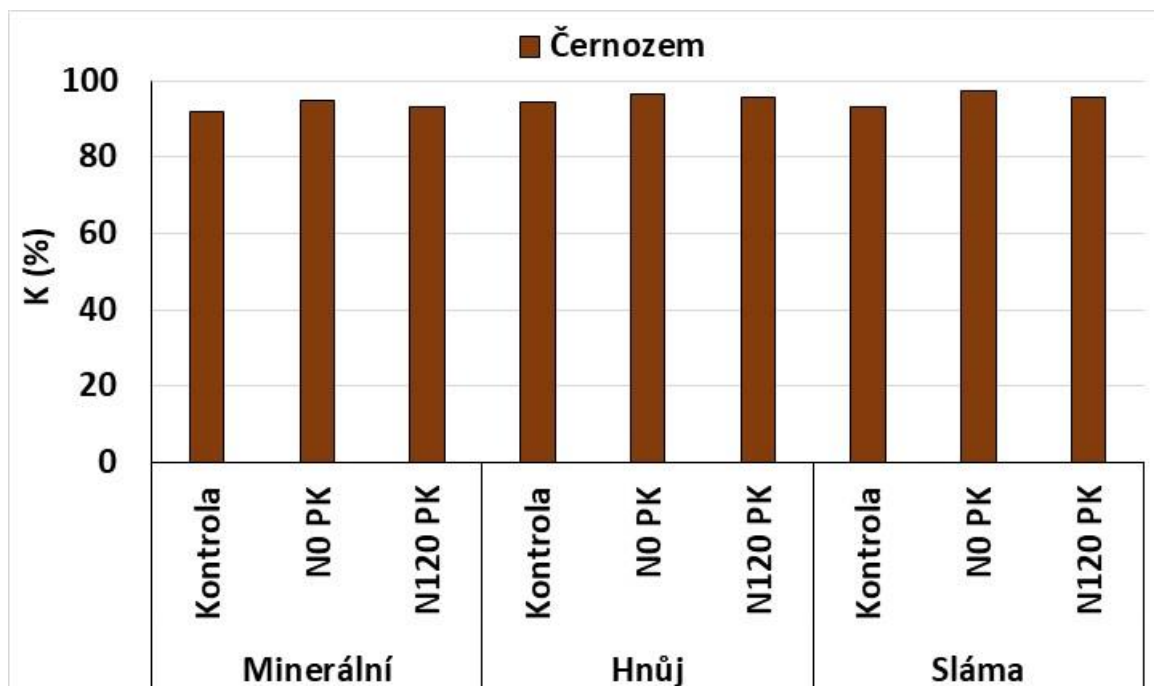


**Obr. 5:** Podíl draslíku stanoveného metodou KVK-UF v porovnání s metodou Mehlich 3 – kambizem (a), černoze (b)

a)

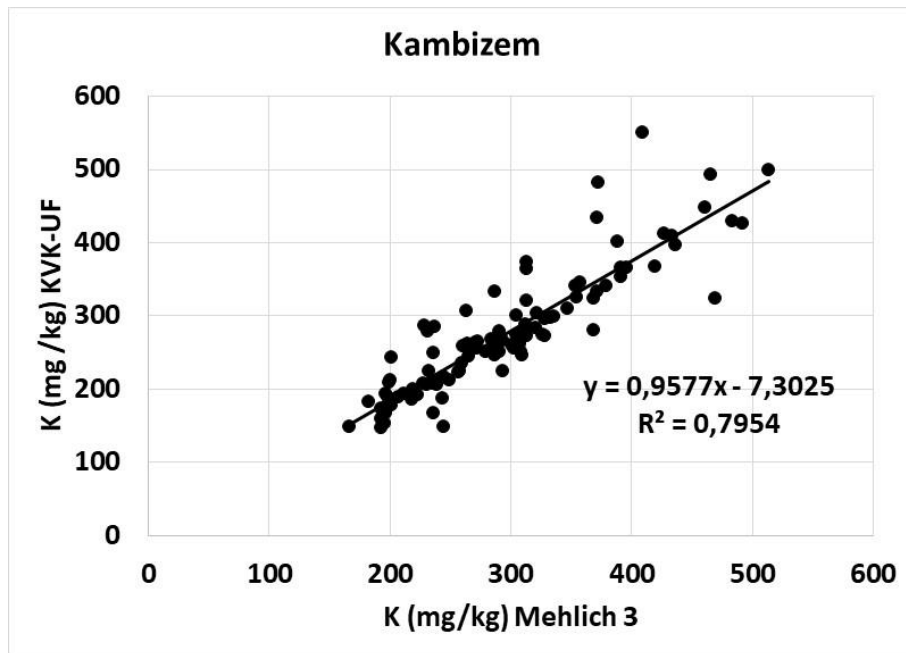


b)

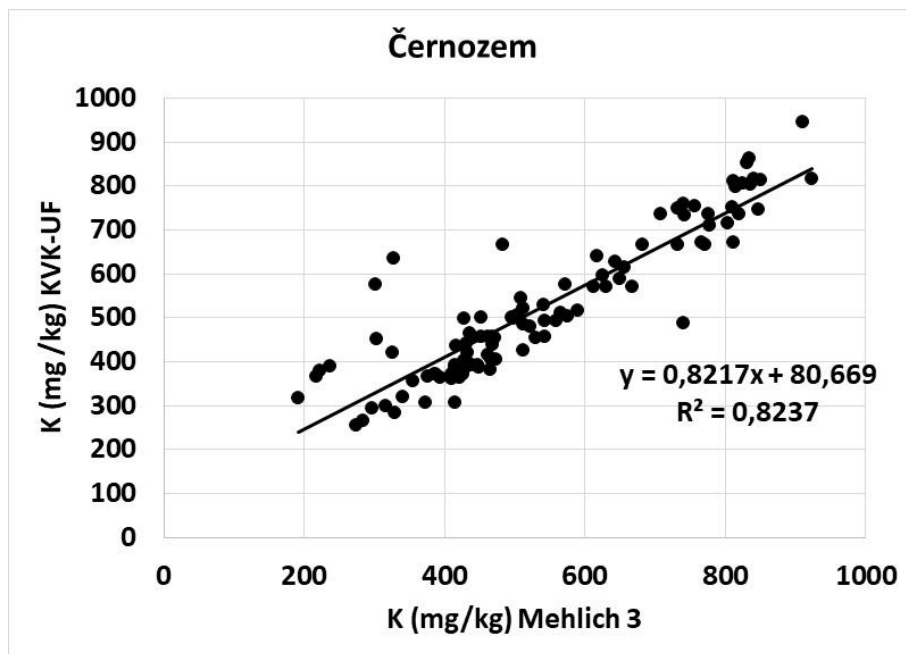


**Obr. 6:** Korelace mezi obsahem draslíku v půdě stanoveným metodou KVK-UF Mehlich 3 – kambizem (a), černozem (b)

a)

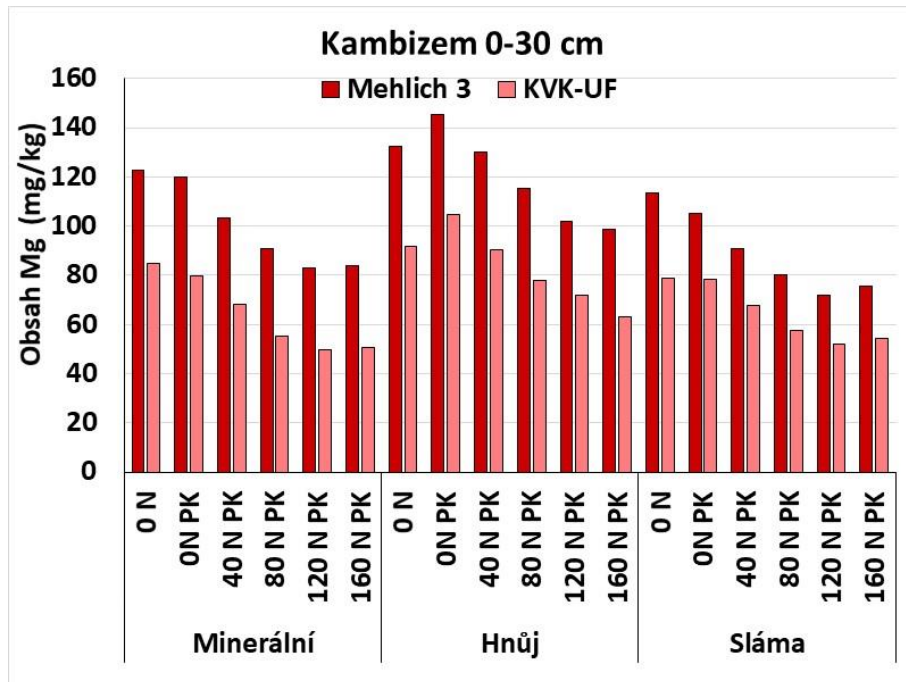


b)

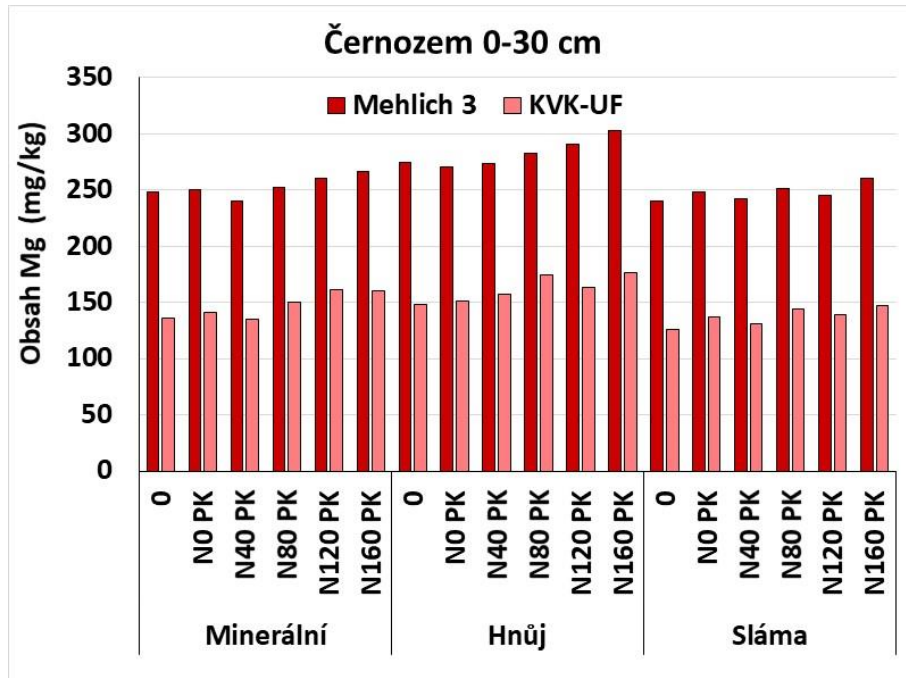


**Obr. 7:** Obsah hořčíku na kambizemi (a) a černoze (b) po hnojení minerálními a statkovými hnojivy (metody Mehlich 3 a KVK-UF)

a)

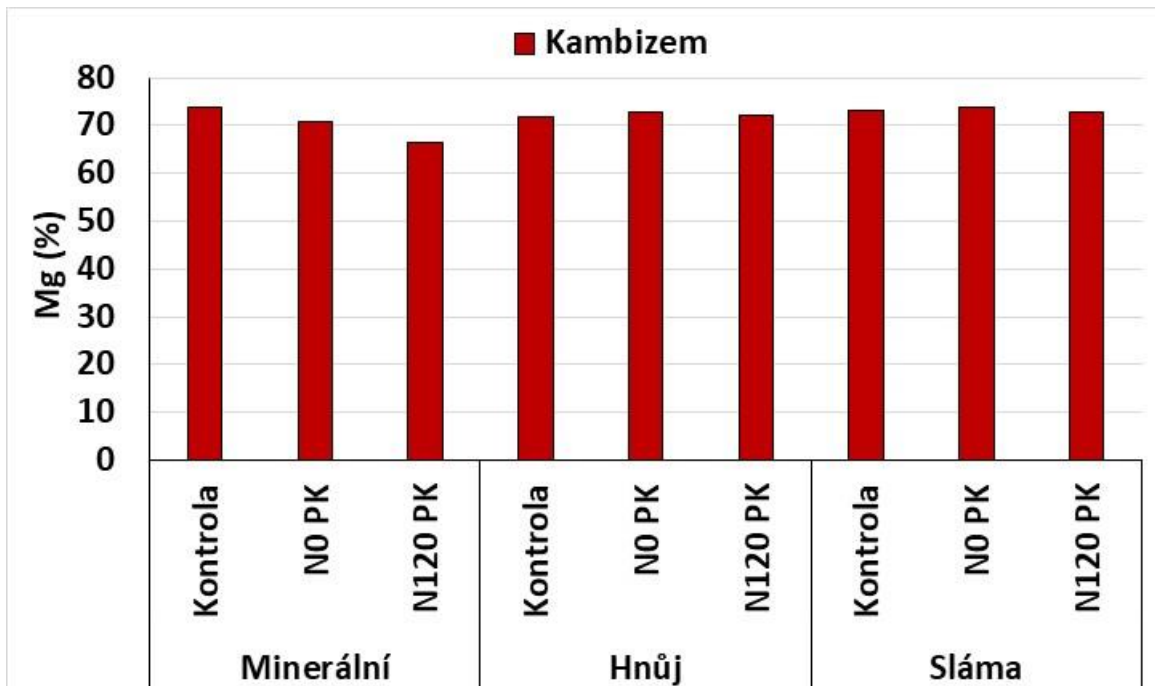


b)

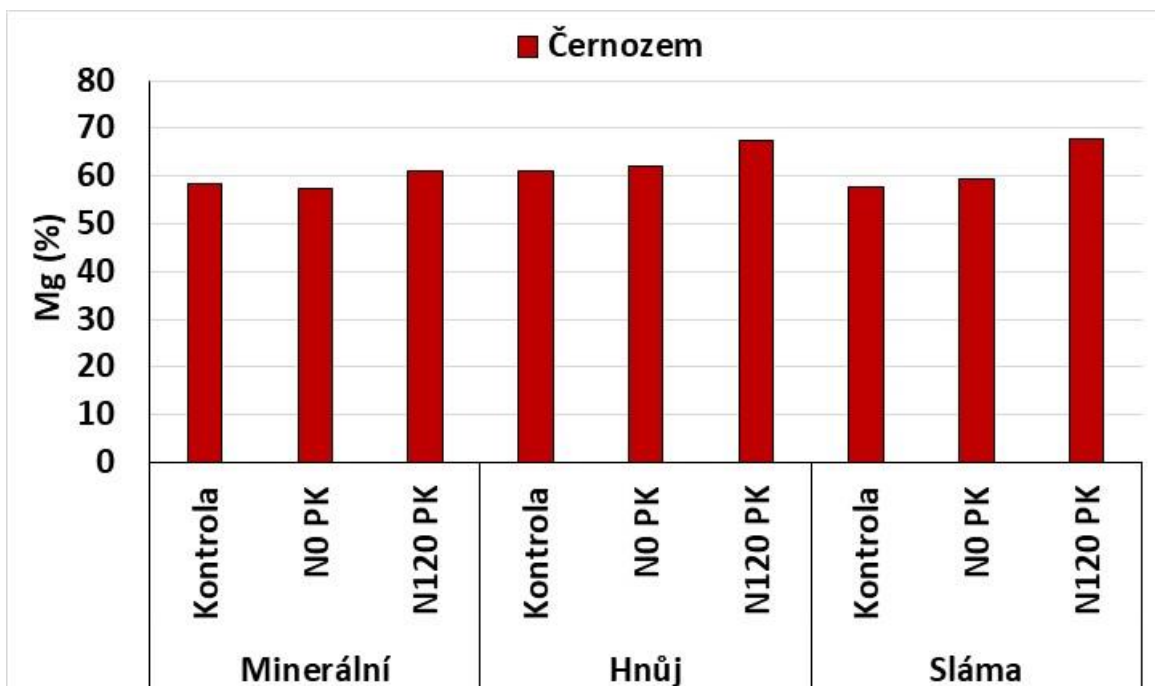


**Obr. 8:** Podíl hořčíku stanoveného metodou KVK-UF v porovnání s metodou Mehlich 3 – kambizem (a), černoze (b)

a)

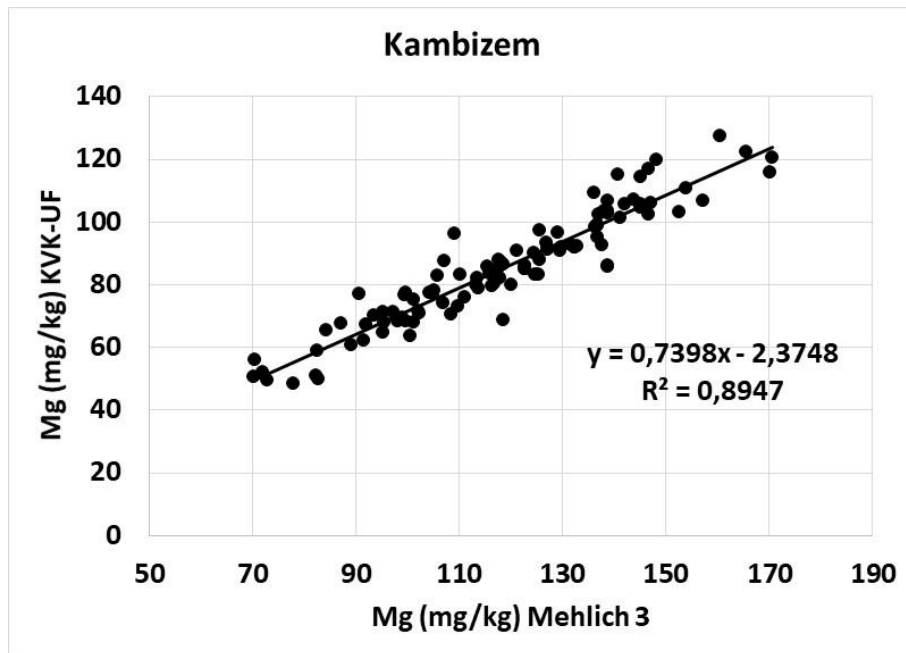


b)

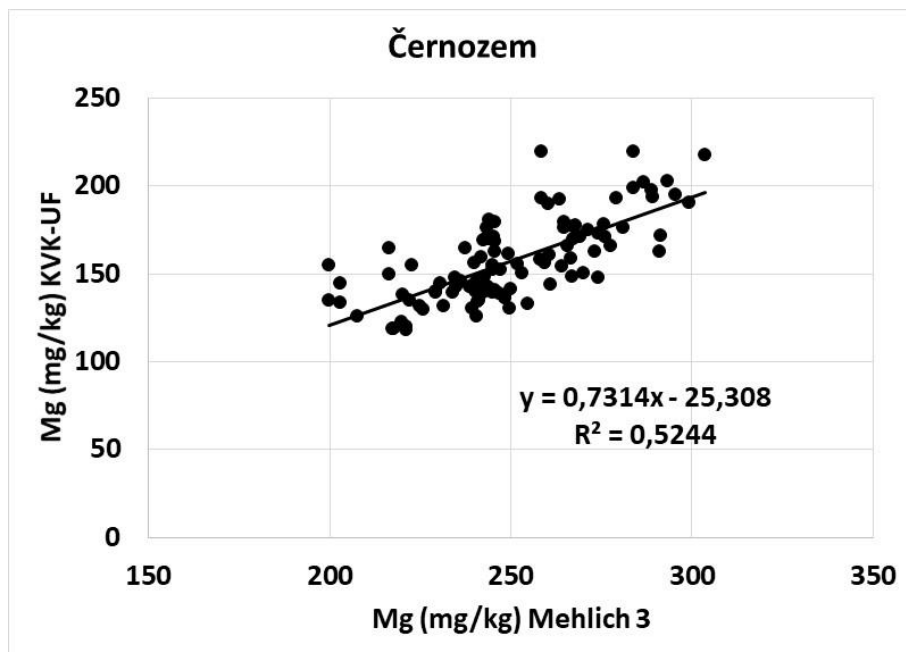


**Obr. 9:** Korelace mezi obsahem hořčíku v půdě stanoveným metodou KVK-UF Mehlich 3 – kambizem (a), černozem (b)

a)

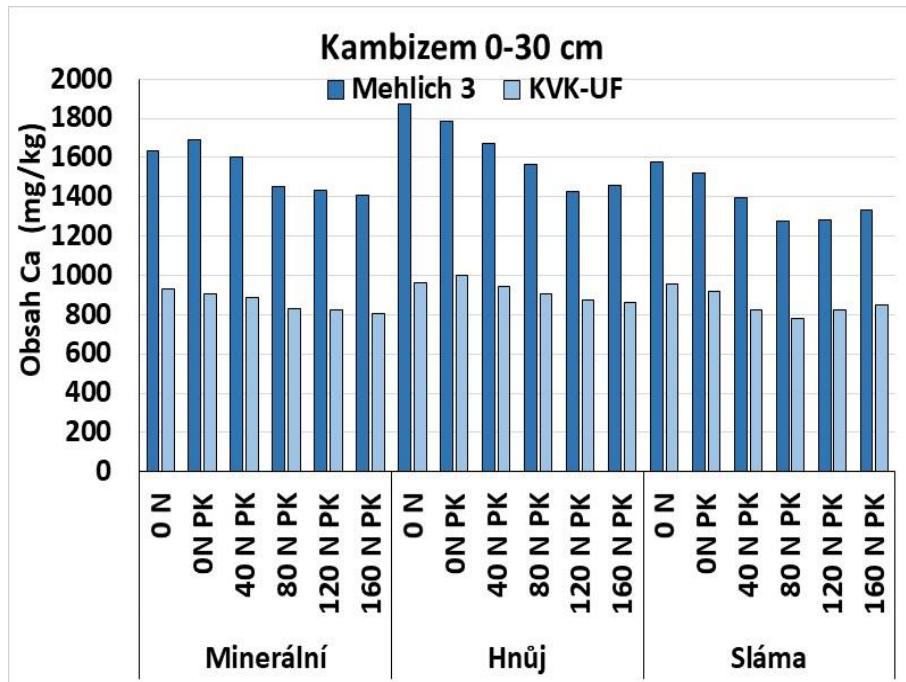


b)

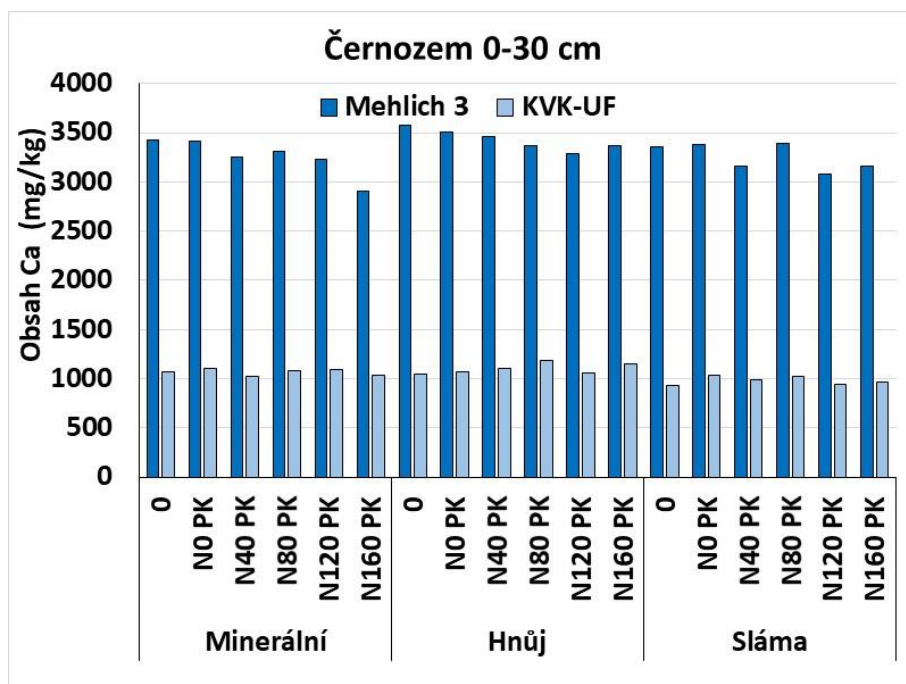


**Obr. 10:** Obsah vápníku na kambizemi (a) a černozemi (b) po hnojení minerálními a statkovými hnojivy (metody Mehlich 3 a KVK-UF)

a)

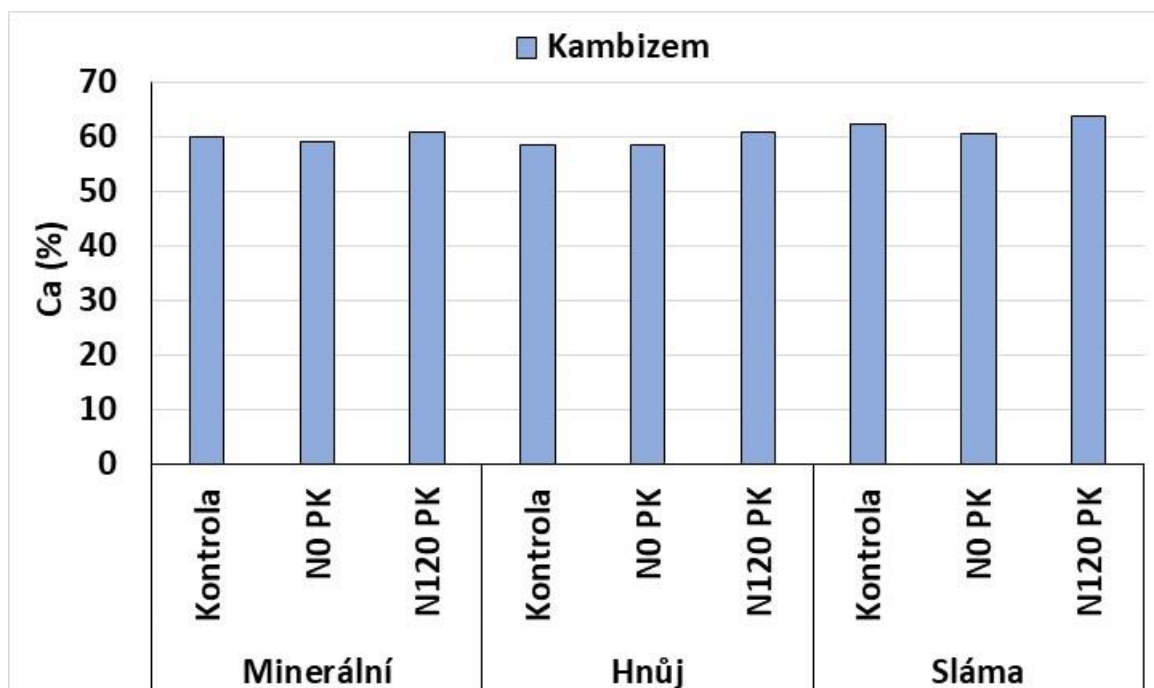


b)

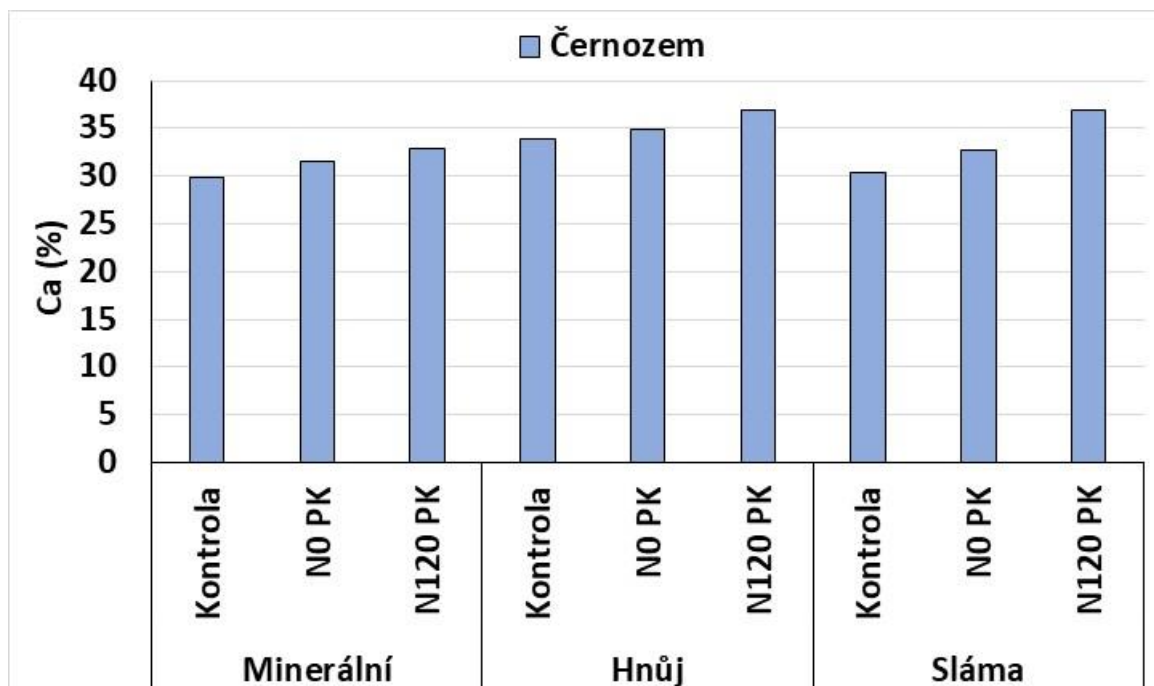


**Obr. 11:** Podíl vápníku stanoveného metodou KVK-UF v porovnání s metodou Mehlich 3 – kambizem (a), černoze (b)

a)



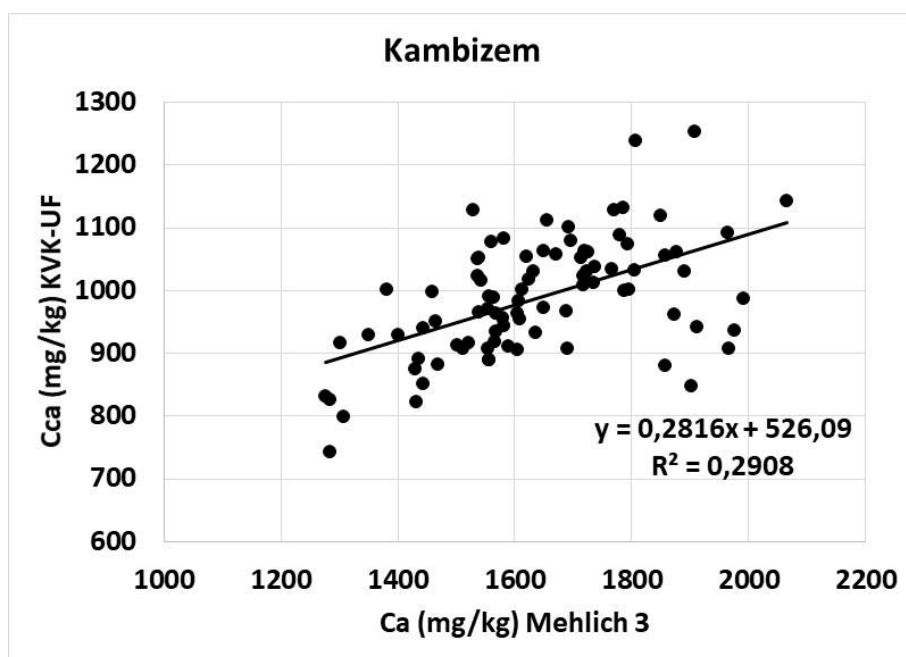
b)



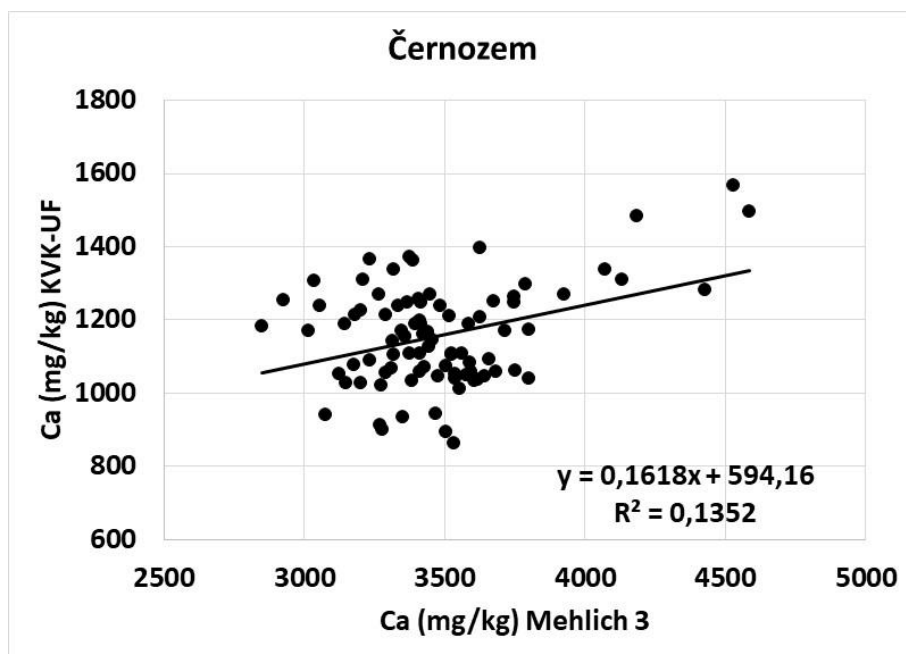


**Obr. 12:** Korelace mezi obsahem vápníku stanoveného metodou KVK-UF a Mehlich 3 – kambizem (a), černoze (b)

a)



b)



Na černozech a kambizech byl zjišťován obsah živin ve svrchní vrstvě půdy 0–2 cm (Tabulka 2). Na černozech se obsah fosforu ve vrstvě 0–2 cm příliš nelišil od obsahu ve vrstvě 0–30 cm. Nejvyšší obsahy živin byly zjištěny po hnojení hnojem. Na kambizech se obsah P stanovený metodou Mehlich 3 ve vrstvě 0–2 cm zvýšil až na 300 mg P/kg, v porovnání s vrstvou 0–30 cm

(do 260 mg P/kg). Podobně i obsah P stanovený metodou KVK-UF dosáhl ve vrstvě 0–2 cm až 52 mg P/kg oproti 37 mg P/kg ve vrstvě 0–30 cm.

Obsah draslíku na černozemi byl ve vrstvě 0–2 cm po stanovení metodou Mehlich 3 (až 800 mg K/kg) tak i po stanovení metodou KVK-UF (až 750 mg K/kg) vyšší než ve vrstvě 0–30 cm. Podobně na kambizemi byl zjištěn obsah K po stanovení oběma metodami ve vrstvě 0–2 cm v porovnání s 0–30 cm vyšší o 30–80 mg K/kg. Na černozemi se ponechává po sklizni cukrové řepy na povrchu půdy řepný chrást, který obsahuje větší množství draslíku, se kterým je třeba počítat. Podobně po aplikaci statkových hnojiv je třeba počítat s obsahem živin v nich obsažených a na základě všech těchto vstupů přiměřeně upravit plány hnojení, a to i s ohledem na zjištěné obsahy živin v půdě.

Obsah hořčíku byl ve vrstvách 0–2 cm a 0–30 cm na černozemi při nižších dávkách minerálního hnojení dusíkem podobný. Po hnoji a slámě a vyšších dávkách N byly oběma metodami ve vrstvě 0–2 cm zjištěny obsahy Mg nižší o 10–20 mg/kg. Na kambizemi bylo u většiny způsobů hnojení při stanovení metodou KVK-UF zjištěno snížení obsahu Mg také přibližně o 10–20 mg/kg, při stanovení metodou Mehlich 3 se obsah Mg významněji neměnil.

Obsah vápníku stanovený metodou Mehlich 3 se ve vrstvě 0–2 cm mírně (o 50–80 mg Ca/kg) snižoval u půd s hnojením hnojem a vyššími dávkami minerálního hnojení dusíkem. Po stanovení metodou KVK-UF byly zjištěny obsahy Ca nižší o 40–100 mg Ca/kg.

Na obsah prvků v půdách mohou mít vliv i případné změny pH. Hodnoty pH jsou v průměru vyšší na černozemi než na kambizemi. Na černozemi byly hodnoty pH stanovené v 0,01 M CaCl<sub>2</sub> v rozmezí 6,7–6,9 ve vrstvě 0–30 cm a 6,0–6,3 ve vrstvě 0–2 cm. Na kambizemi byly hodnoty pH stanovené v CaCl<sub>2</sub> velmi podobné: 5,7–5,9 ve vrstvě 0–30 cm a 5,5–5,8 ve vrstvě 0–2 cm. V přístupnosti živin pro rostliny hraje velkou úlohu sorpční kapacita půdy vyjádřená hodnotou KVK-UF.

**Tabulka 2:** Obsah živin v povrchové vrstvě půdy 0–2 cm u černozemě a kambizemě

Půda	Způsob hnojení	Mehlich 3			KVK-UF			CaCl <sub>2</sub>		
		P	K	Mg	P	K	Mg	P	K	Mg
		mg/kg								
Černozem	Minerální	130,8	475,6	253,2	14,0	430,0	137,5	3,4	177,5	130,1
	Hnůj	193,3	752,1	273,8	20,3	692,3	156,6	6,4	333,6	139,9
	Sláma	102,8	504,2	238,9	12,2	477,9	143,8	2,8	201,1	128,9
Kambizem	Minerální	210,6	278,5	105,9	35,8	268,9	74,2	2,9	124,3	52,3
	Hnůj	280,3	419,9	121,4	47,1	394,3	87,9	4,7	199,6	61,2
	Sláma	232,6	334,5	100,8	39,7	300,6	69,6	3,8	155,0	52,7

**Tabulka 3:** Podíl živin v povrchové vrstvě 0–2 cm u černozemě a kambizemě

Půda	Způsob hnojení	KVK-UF k Mehlich 3			CaCl <sub>2</sub> k Mehlich 3			CaCl <sub>2</sub> ke KVK-UF		
		P	K	Mg	P	K	Mg	P	K	Mg
		(%)								
Černozem	Minerální	10,7	90,4	54,3	2,7	36,6	51,3	24,4	40,3	94,7
	Hnůj	10,5	92,0	57,2	3,3	44,1	51,0	31,3	47,9	89,6
	Sláma	11,8	94,8	60,2	2,8	39,3	54,0	23,1	41,3	89,9
Kambizem	Minerální	17,0	96,5	70,1	1,4	44,4	49,0	8,6	46,2	70,2
	Hnůj	16,8	93,9	72,4	1,7	47,2	50,5	10,1	50,2	69,9
	Sláma	17,1	89,9	69,1	1,7	46,0	52,7	9,9	51,1	77,5

**Tabulka 4:** Průměrný obsah živin v půdách po dlouhodobém hnojení minerálními a statkovými hnojivy v kg/ha

Metoda	Půda	Způsob hnojení	P	K	Mg	Ca
			kg/ha			
Mehlich 3	Černozem	Minerální	523	1903	1013	13 053
		Hnůj	773	3008	1095	13 114
		Sláma	411	2017	955	12 959
	Kambizem	Minerální	758	1003	381	5 901
		Hnůj	1009	1512	437	6 933
		Sláma	837	1204	363	5 760
KVK-UF	Černozem	Minerální	56,0	1720	552	4 100
		Hnůj	81,2	2 770	628	4 009
		Sláma	48,8	1912	576	3 665
	Kambizem	Minerální	128,9	970	266	3 115
		Hnůj	169,2	1418	352	3 740
		Sláma	142,9	1084	280	3 568
CaCl <sub>2</sub>	Černozem	Minerální	13,6	708	520	-
		Hnůj	25,6	1336	560	-
		Sláma	16,8	804	516	-
	Kambizem	Minerální	10,4	446	187	-
		Hnůj	16,9	720	220	-
		Sláma	13,7	558	190	-

Mezi různými typy půd existují rozdíly v sorpční schopnosti půd, které jsou dané jejich hodnotou KVK, hodnotou pH, obsahem dalších živin jako je například vápník. Jak je patrné ze vzájemných poměrů živin mezi jednotlivými typy půd, nelze výsledky korelovat obecně pro všechny typy půd a u půd s nižší sorpční kapacitou lze předpokládat vyšší extrahovatelnost živin metodou KVK-UF v porovnání s Mehlich 3.

## Poměry živin

Na kambizemi a černozemi byl sledován také vzájemný poměr živin K:Mg:Ca, a to jak na základě obsahů živin podle metody Mehlich 3 a metodiky ÚKZÚZ (Smatanová a Florián, 2022), tak i na základě výsledků metody KVK-UF. Podle Vaňka et al. (2012) a Matuly (2007) by se tento poměr v ekvivalentním vyjádření měl pohybovat okolo 1:2–3:10–15. Na základě výsledků dlouhodobého pokusu byly propočteny ekvivalenty jak pro metodu Mehlich 3, tak i pro KVK-UF.

Podle pracovních postupů ÚKZÚZ (Smatanová a Florián, 2022) je vzájemný poměr K:Mg do 1,6 hodnocen jako dobrý, do 3,2 jako vyhovující. V případě dlouhodobého pokusu na černozemi a kambizemi se tento poměr pohybuje v rozmezí 1,1–2,1 na černozemi a 1,1–1,5 na kambizemi, přičemž nižší hodnoty byly zjištěny po dlouhodobé aplikaci hnoje (Tabulka 5). Podle tohoto hodnocení je tedy vzájemný poměr K:Mg dobrý až vyhovující.

Při propočtu vzájemných poměrů podle metody KVK-UF se u půd z dlouhodobého pokusu tento poměr u kambizemě pohybuje okolo 1:1:6-7,5 K:Mg:Ca. Podobně u černozemě se poměr K:Mg:Ca pohybuje okolo 1:1:5. Tento nevhodný vzájemný poměr v důsledku vede k vyšší koncentraci monovalentních kationtů ( $K^+$ ), což může vést k poškození struktury na povrchu půdy, jejímu rozplavování při intenzivních srážkách a v důsledku mohou být nižší i výnosy plodin (Růžek et al. 2023). Největší problémy v obsahu živin v půdách na dlouhodobém pokusu působilo kombinované hnojení hnojem a minerálními draselnými hnojivy a v posledních letech na černozemi i ponechávaný chrást cukrové řepy obsahující významné množství K. Dlouhodobé hnojení draslíkem pak může způsobovat nerovnováhu mezi draslíkem a hořčíkem, kdy vzájemný poměr živin K:Mg může být pouze okolo 1:1, vyjádřeno v ekvivalentním poměru podle KVK-UF. Proto bylo v pokusu dočasně přerušeno hnojení draslíkem. Úprava dávek hnojení draslíkem a hořčíkem na půdách s vysokou zásobou draslíku může vést k postupné nápravě tohoto poměru.

### Ekvivalenty živin se stanoví následujícím způsobem:

Obsah prvku v půdě v mg/kg : (atomová hmotnost prvku: valence)

Příklady:

Draslík:  $150 \text{ mg K/kg} : (39,098/1) = 3,83$

Hořčík:  $150 \text{ mg Mg/kg} : (24,305/2) = 12,34$

Vápník:  $1\ 200 \text{ mg Ca/kg} : (40,078/2) = 59,88$

Vzájemný poměr živin: Draslík = 1

Hořčík =  $12,34:3,83 = 3,22$

Vápník = 15,63

**Tabulka 5:** Vzájemný poměr Mg:K na černozemi a kambizemi podle Mehlich 3 a KVK-UF

Půda	Způsob hnojení	Mehlich 3	KVK-UF
Černozem	Minerální	2,1	1,3
	Hnůj	1,3	0,9
	Sláma	1,7	1,1
Kambizem	Minerální	1,5	1,1
	Hnůj	1,1	0,8
	Sláma	1,3	1,0

### II.3. Zpracování půdy a obsah živin

Minimální zpracování půdy a technologie bez zpracování s ponecháním různého množství posklizňových zbytků na povrchu jsou v posledních letech stále častěji využívány v zemědělské praxi, a to i v České republice. Většinou se jedná o postupy s mělkým (omezeným), případně středně hlubokým zpracováním půdy kypřením, bez obracení půdy orbou. Zpracováním půdy ovlivňujeme její vodní, vzdušný a tepelný režim a zároveň i biologické, chemické a fyzikální vlastnosti. Čím hlouběji a intenzivněji půdu kypříme (orba, podryívání apod.) a provzdušňujeme, tím více zpravidla podporujeme mineralizaci dusíku a dalších živin z organických látek v půdě, které jsou následně k dispozici rostlinám (Růžek et al. 2023).

Dlouhodobé používání technologií s minimálním zpracováním nebo bez zpracování půdy mění rozvrstvení a koncentraci živin v půdním profilu.

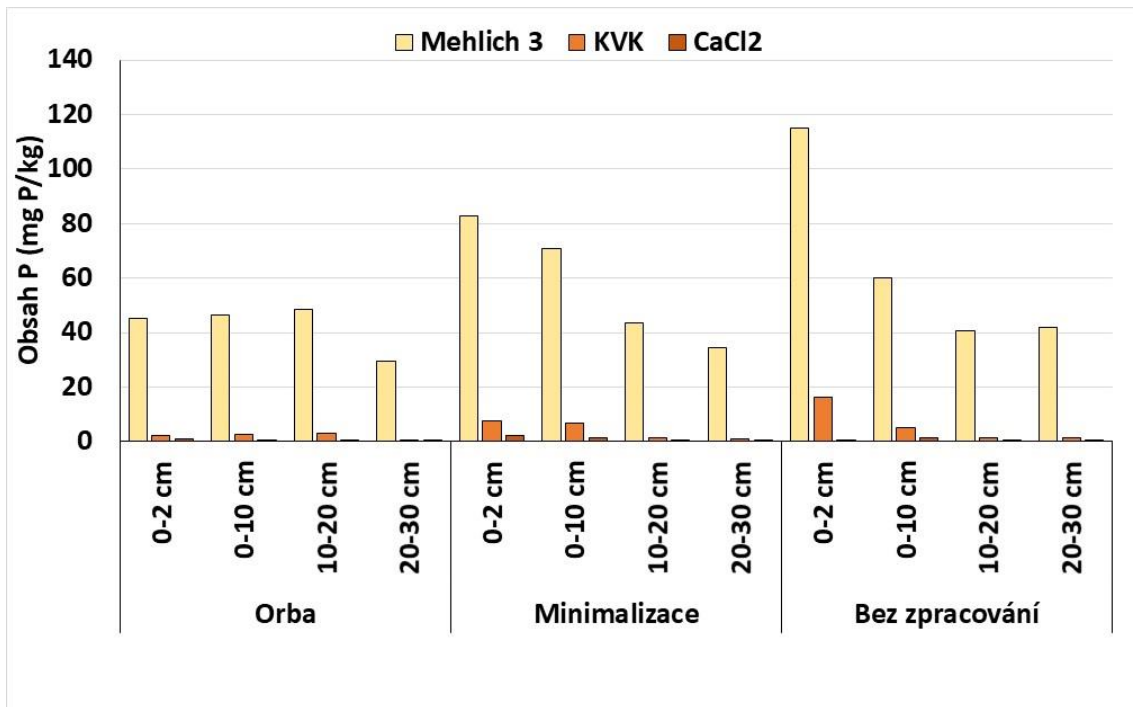
Při změnách vyvolaných použitím bezorebných technologií zpracování půdy je ovlivněna přijatelnost živin pro rostliny včetně těch z rozložených posklizňových zbytků a půdní organické hmoty v povrchové vrstvě půdy, což v důsledku ovlivňuje i produkční schopnosti půdy a výnosy plodin. U půd, kde jsou bezorebné technologie využívány, se ve vrchním půdním horizontu zvyšuje obsah živin z aplikovaných hnojiv, které se ale hůře dostávají ve větším množství do hlubších částí půdního profilu. Pro rozhodování o vhodném zapravení hnojiv vzhledem ke konkrétním půdním podmínkám, použité technologii a pěstované plodině je proto důležité diagnostikovat úroveň obsahu živin v půdě v celé orniční vrstvě.

Živiny méně pohyblivé v půdě jako P a K (u draslíku transport v půdním profilu omezen v důsledku vysokého stupně nasycení půdy bazickým kationtem  $\text{Ca}^{2+}$  a tím i vysoké adsorpce  $\text{K}^{+}$  na jílové minerály) jsou orbou zapraveny do hlubších vrstev půdy, a naopak spodní vrstva půdy obohacená vápníkem a případně i hořčíkem se obracením půdy dostává na povrch. Při použití bezorebných technologií zpracování půdy dochází ke kumulování obsahu fosforu, draslíku a hořčíku v povrchových vrstvách půdy, nejvíce v povrchové vrstvě

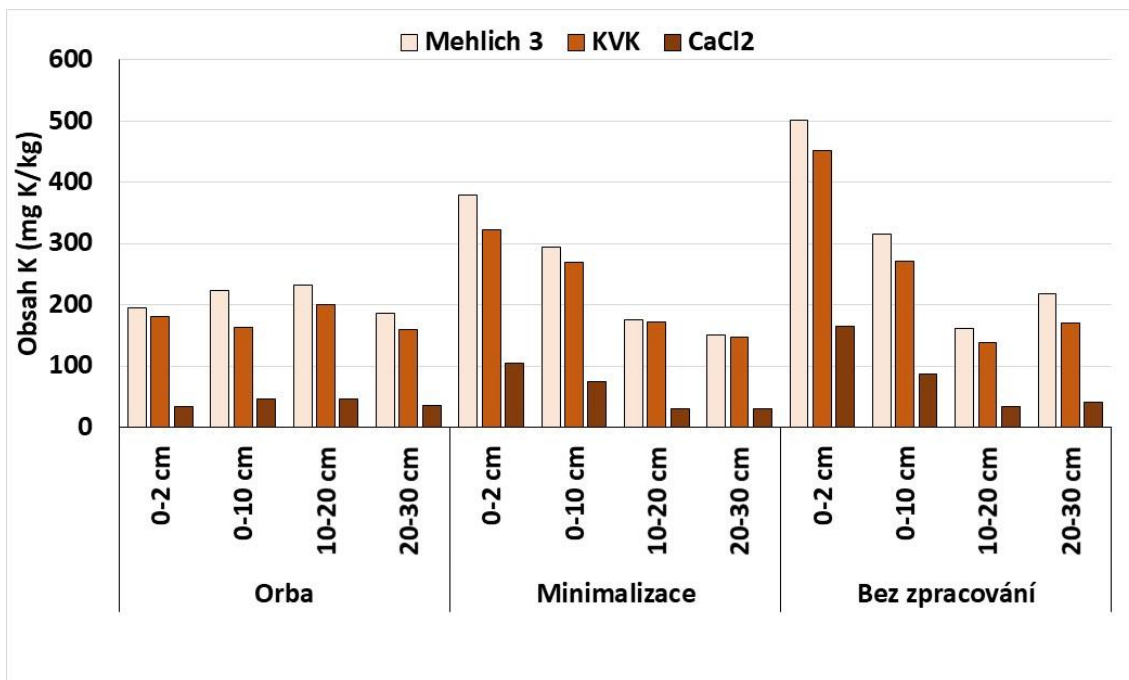
0–2 cm. Naopak, obsah živin v hlubších vrstvách půdy se snižuje (Obr. 13–20). Po dlouhodobém používání technologie bez zpracování půdy je ale zřejmé, že se živiny postupně dostávají do hlubších vrstev půdy vytvořenými makropóry. Opačný trend byl zaznamenán u vápníku, který se z povrchové vrstvy půdy postupně vymývá a koncentruje se v hlubších vrstvách půdního profilu. Tím se povrchová vrstva půdy postupně okyseluje, čemuž je nutné u minimalizačních technologií zpracování půdy věnovat zvláštní pozornost a v případě potřeby doplňovat zásobu vápníku v půdě dolomitickým vápencem (střední zrnitost), který se postupně uvolňuje. Vápník má nezastupitelnou úlohu v tvorbě půdní struktury a významně ovlivňuje retenční schopnost půdy. Této skutečnosti je třeba do budoucna věnovat pozornost a současně sledovat i hodnoty pH v povrchové vrstvě půdy.

Na půdách z dlouhodobého pokusu v Praze-Ruzyni se na základě zjištěných výsledků ukazuje, že každoročně aplikovaná dávka 50 kg K/ha je vzhledem k ponechání slámy po sklizni a na draslík méně náročnému osevnímu postupu (ozimá pšenice, ozimá řepka, ozimá pšenice, hrách) plně dostačující, následně byla z důvodu rozplavování půdy (bez zpracování) snížena na 33 kg K/ha. Naopak u fosforu došlo i při pravidelném každoročním hnojení 23 kg P/ha v amofosu k mírnému snížení obsahu P v půdě, což se zatím neprojevilo snížením výnosů pěstovaných plodin ani obsahu P ve sklizených produktech.

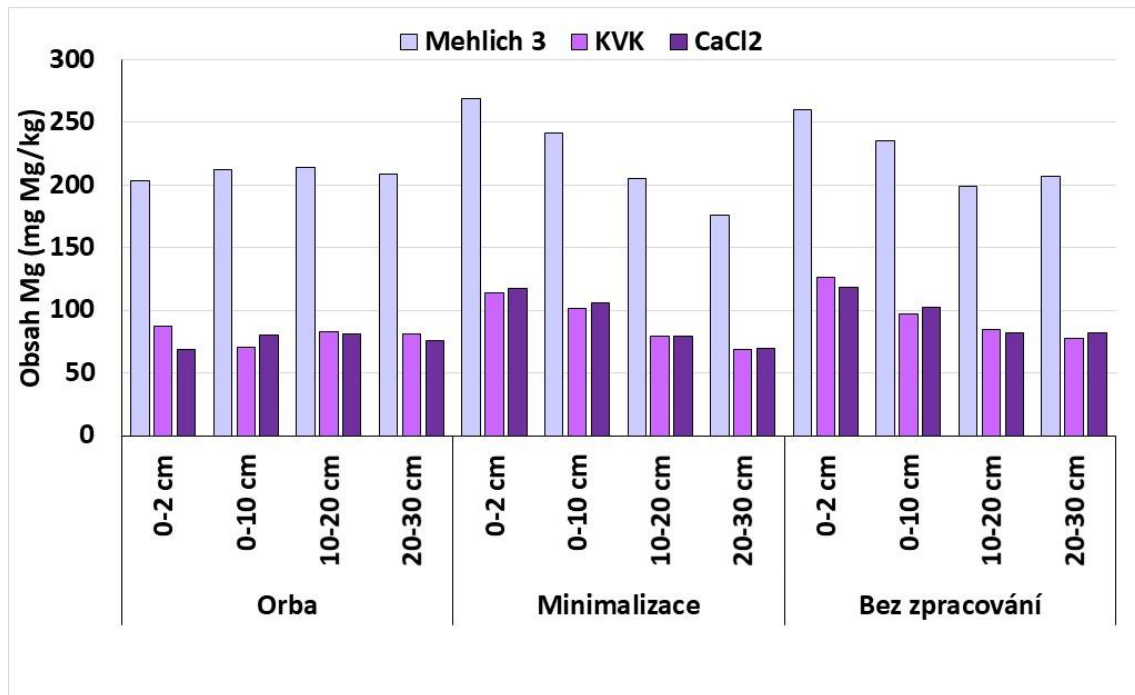
**Obr 13:** Obsah P stanovený metodami Mehlich 3, KVK-UF a CaCl<sub>2</sub> po různém zpracování půdy



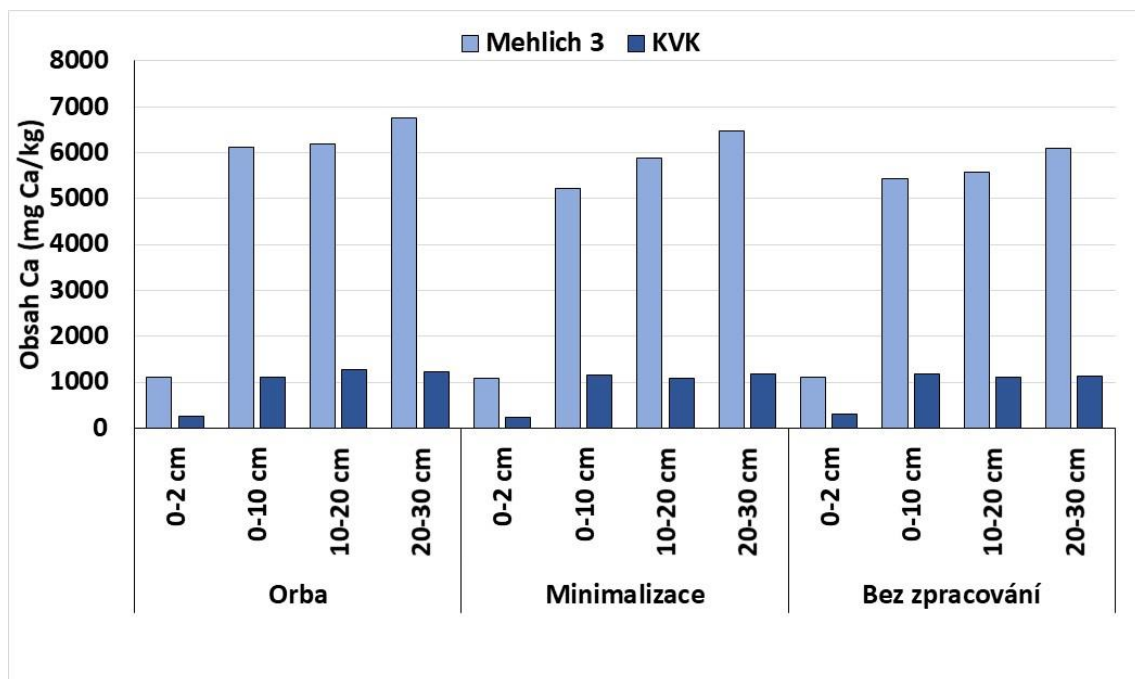
**Obr 14:** Obsah K stanovený metodami Mehlich 3, KVK-UF a CaCl<sub>2</sub> po různém zpracování půdy



**Obr 15:** Obsah Mg stanovený metodami Mehlich 3, KVK-UF a CaCl<sub>2</sub> po různém zpracování půdy

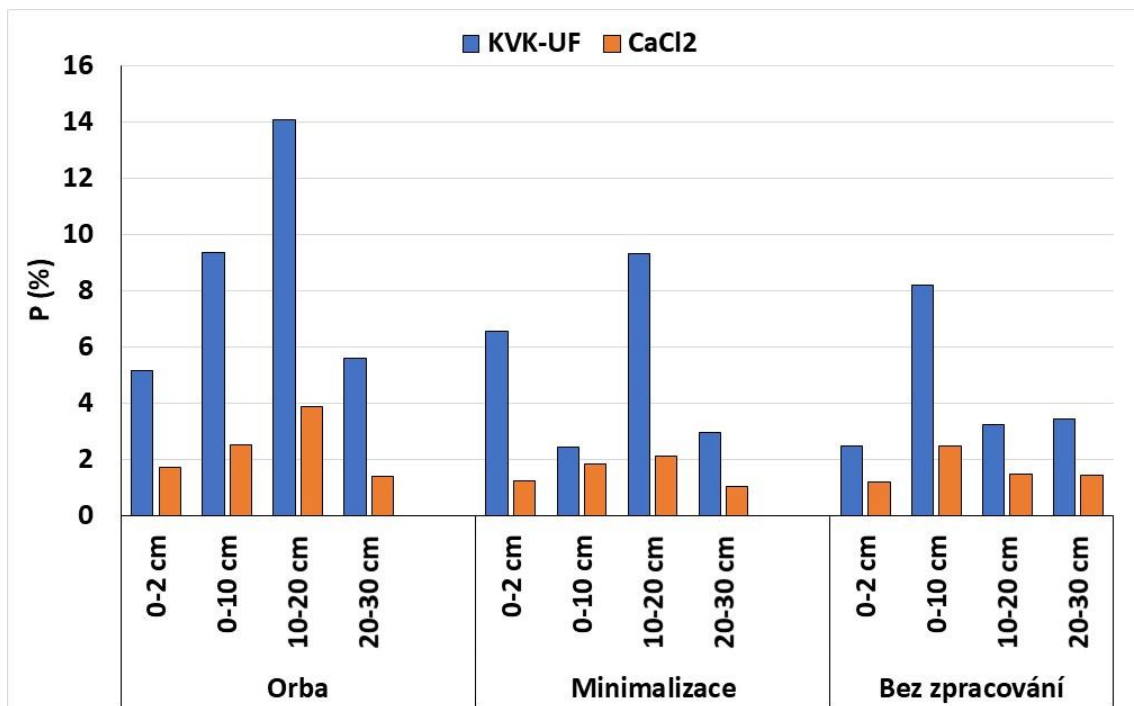


**Obr 16:** Obsah Ca stanovený metodami Mehlich 3 a KVK-UF po různém zpracování půdy

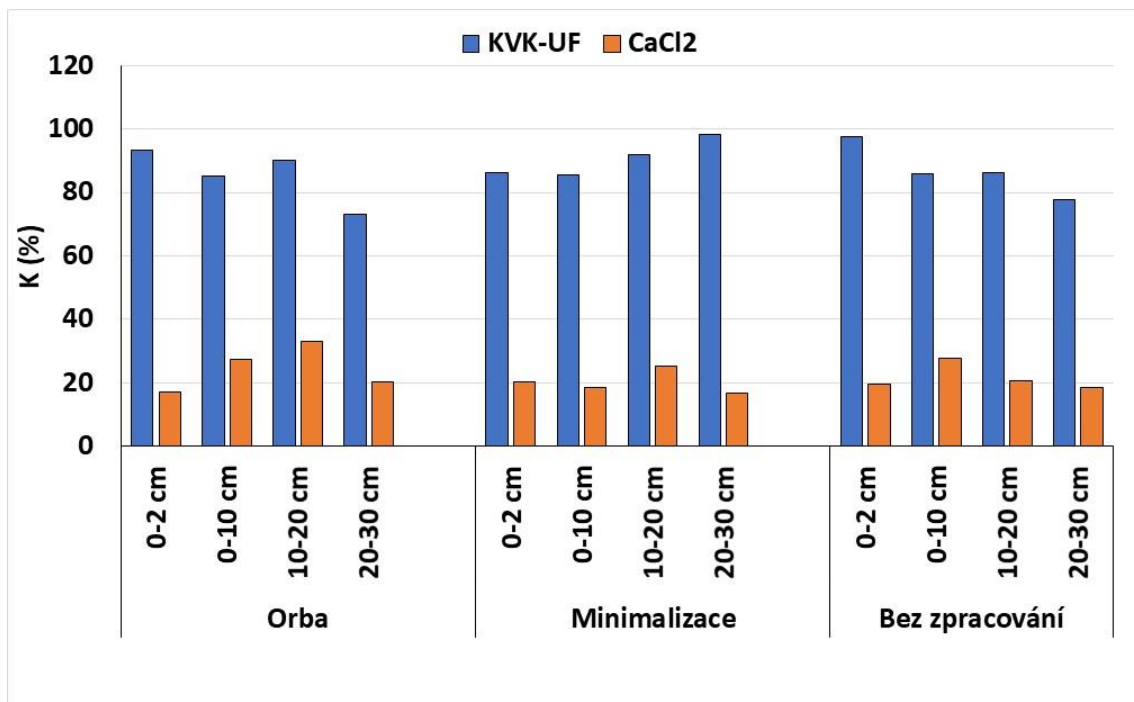




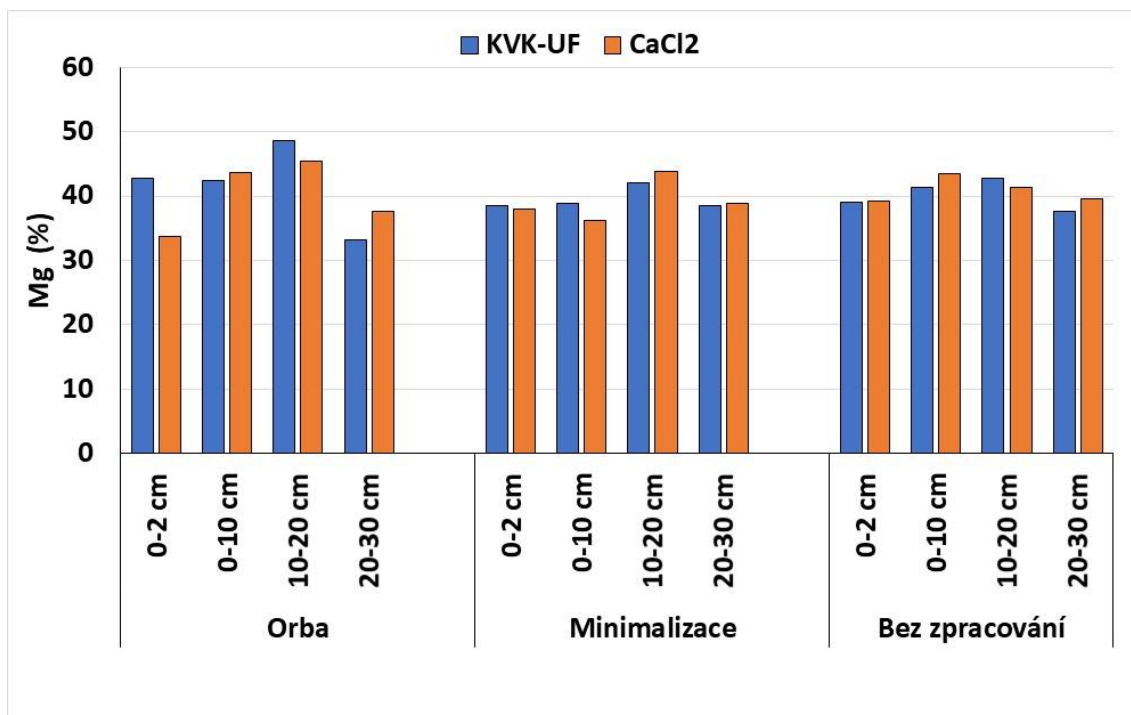
**Obr 17:** Poměr obsahu fosforu zjištěný metodou KVK-UF a CaCl<sub>2</sub> v porovnání s Mehlich 3



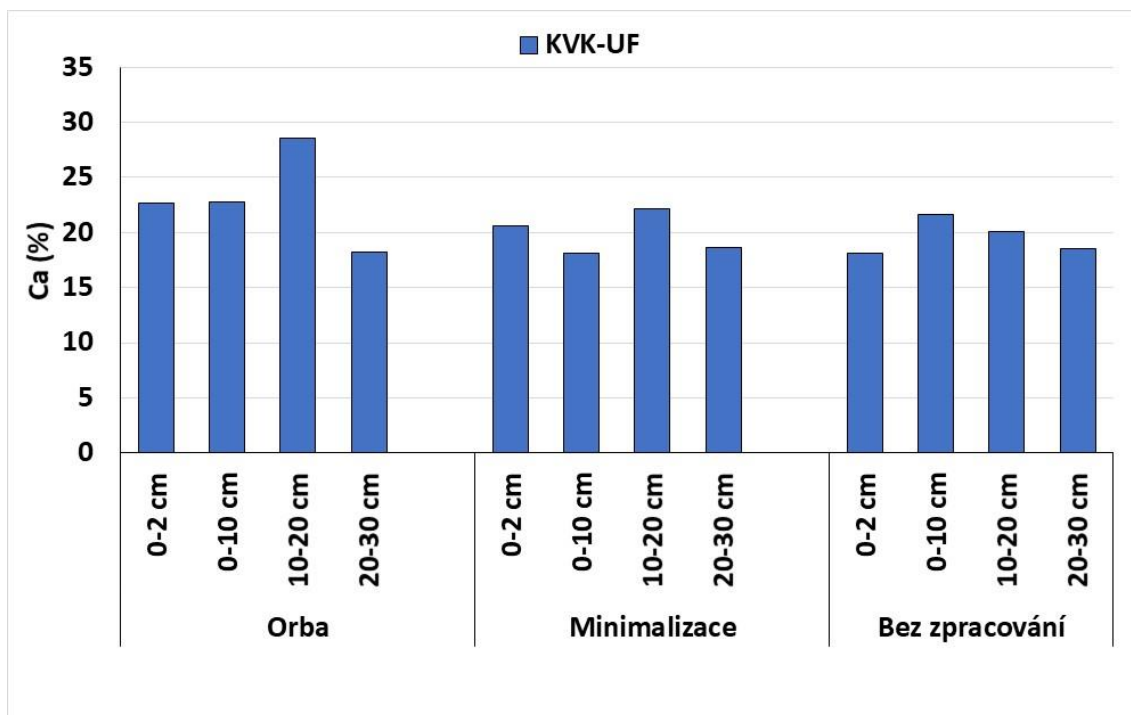
**Obr 18:** Poměr obsahu draslíku zjištěný metodou KVK-UF a CaCl<sub>2</sub> v porovnání s Mehlich 3 po různém zpracování půdy



**Obr 19:** Poměr obsahu hořčíku zjištěný metodou KVK-UF a CaCl<sub>2</sub> v porovnání s Mehlich 3 po různém zpracování půdy



**Obr 20:** Poměr obsahu vápníku zjištěný metodou KVK-UF v porovnání s Mehlich 3 po různém zpracování půdy



**Tabulka 6:** Průměrný obsah živin v půdní vrstvě 0–30 cm v kilogramech na hektar při různých způsobech zpracování půdy po stanovení různými metodami na základě objemové hmotnosti daných půd

Metoda	Zpracování půdy	P	K	Mg	Ca
		kg/ha			
Mehlich 3	Orba	166,0	856,4	846,4	19 069
	Minimalizace	198,1	827,0	830,1	17 570
	Bez zpracování	191,5	926,9	854,1	17 092
KVK-UF	Orba	8,6	697,5	312,0	3 613
	Minimalizace	11,6	786,1	332,4	3 420
	Bez zpracování	10,2	773,3	346,1	3 424
CaCl <sub>2</sub>	Orba	2,4	169,0	316,0	-
	Minimalizace	3,1	177,8	339,7	-
	Bez zpracování	3,6	215,1	355,5	-

**Tabulka 7:** Procento živin ve vrstvě 0–10 cm půdního profilu při různých způsobech zpracování půdy

Metoda	Zpracování půdy	P	K	Mg	Ca
		% ve vrstvě 0–10 cm			
Mehlich 3	Orba	37,2	34,8	33,4	32,1
	Minimalizace	47,7	47,4	38,8	29,7
	Bez zpracování	42,1	45,4	36,7	31,8
KVK-UF	Orba	40,0	31,2	30,2	31,0
	Minimalizace	75,6	45,8	40,7	33,7
	Bez zpracování	64,1	46,8	37,4	34,4
CaCl <sub>2</sub>	Orba	36,5	35,7	33,7	-
	Minimalizace	63,5	55,7	41,6	-
	Bez zpracování	55,3	54,2	38,4	-

Tabulka 8 ukazuje poměry živin na hnědozemi propočtené z ekvivalentů živin podle metod Mehlich 3 a KVK-UF. Ani podle jedné z metod není poměr Mg:K dobrý. V případě hodnocení podle Mehlich 3 by se poměr Mg:K měl snížit, což by v principu znamenalo zvýšit hnojení draslíkem a naopak snížit hnojení hořčíkem. Na hnědozemi byly v poslední době pozorovány známky rozplavení půdy, což naopak svědčí o přebytku monovalentního kationtu draslíku v povrchové vrstvě půdy (Růžek et al. 2023). Proto bylo v posledních letech hnojení draslíkem omezeno na úroveň 33 kg K/ha. Potřebě vyrovnat vzájemné poměry živin více odpovídá hodnocení poměrů podle KVK-UF, kde je naopak třeba obsah draslíku zvláště v povrchové vrstvě snížit, případně zvýšit obsah hořčíku. Navíc se v této povrchové vrstvě podstatně snižuje obsah vápníku, který má na strukturu půdy významný vliv.

U bezorebných technologií je nutné kromě výsledků AZZP získávat informace o obsahu živin a pH v povrchové vrstvě půdy (např. do hloubky 10 cm), a to zejména při tvorbě krusty po intenzivnějších srážkách.

**Tabulka 8:** Poměry Mg:K po různém zpracování půd na hnědozemi v různé hloubce půdy

Zpracování půdy	Hloubka (cm)	Mehlich 3	KVK-UF
<b>Orba</b>	0–10	3,1	1,6
	10–20	2,8	1,5
	20–30	3,0	1,6
<b>Minimalizace</b>	0–10	2,5	1,4
	10–20	3,2	1,7
	20–30	3,5	1,7
<b>Bez zpracování</b>	0–10	2,1	1,2
	10–20	3,3	1,8
	20–30	3,4	1,8

## II.4. Návrh interpretace stávajících kategorií výživy rostlin a nové kategorie podle metody KVK-UF

### Návrh kritérií hodnocení podle metody KVK-UF pro fosfor

Pro fosfor existují v současné době dva způsoby hodnocení metodou Mehlich 3 – pro nekarbonátové a karbonátové půdy (Tabulka 9) (Čermák et al. 2018), kde bylo pro jednotlivé kategorie hodnocení při kalkulaci hnojení doporučeno uvažovat nižší obsah fosforu. Nižší obsah P stanovený metodou Mehlich 3 při využití těchto kritérií není nutné přepočítávat na základě dosud platných přepočtových koeficientů.

Na základě výsledků polních pokusů byly ověřeny výsledky obsahu fosforu stanovené metodou KVK-UF. Navržená kritéria hodnocení zásoby fosforu v půdách na základě metody KVK-UF vycházejí z dlouhodobého sledování, kdy bylo zjištěno, že na mírně kyselých lehčích půdách se procento fosforu pohybuje okolo 20 % v porovnání s metodou Mehlich 3. Naopak u alkalických půd s vyšším obsahem vápníku se toto procento snižuje až na hodnoty okolo 10–13 %, v některých případech i nižší. Pokud se v půdách vyskytuje více vápníku, lze předpokládat, že část fosforu je navázána na hydrogenfosforečnanové vazby s vápníkem, které se v čase mohou uvolňovat a stávají se pro rostliny dostupné. V tomto případě i nižší množství fosforu extrahovatelné metodou KVK-UF může být dostatečné. U půd s nižším obsahem vápníku, jako je například u kambizemě, je extrakční schopnost metody KVK-UF v poměru k metodě Mehlich 3 vyšší a je třeba s tím počítat. Navržená kritéria hodnocení zásoby fosforu v půdách podle metody KVK-UF jsou uvedena v Tabulce 10.

**Tabulka 9:** Kritéria hodnocení obsahu fosforu na orné půdě, stanoveného metodou Mehlich 3 (analytická koncovka ICP-OES) s doporučenými limity pro karbonátové půdy (Čermák et al. 2018, Metodický pokyn ÚKZÚZ č. 9)

Obsah	Fosfor (mg P/kg)	
	ostatní (nekarbonátové) půdy	karbonátové půdy
Nízký	do 50	do 40
Vyhovující	51–80	41–70
Dobrý	81–115	71–105
Vysoký	116–185	106–150
Velmi vysoký	nad 185	nad 150

**Tabulka 10:** Návrh kritérií hodnocení obsahu fosforu podle metody KVK-UF

Obsah	Fosfor (mg P/kg)	
	lehká a střední	těžká
Nízký	do 10	do 6
Dobrý	11–23	7–14
Vysoký	23–37	14–21
Velmi vysoký	38 a více	22 a více

**Návrh kritérií hodnocení podle metody KVK-UF pro draslík a hořčík**

Dlouhodobé zjišťování obsahu živin v půdách metodou Mehlich 3 a KVK-UF ukazuje na rozdíly v obsahu živin stanovených oběma metodami. Metodou KVK-UF se stanoví výměnné podíly živin, které jsou zpravidla nižší než výsledky získané metodou Mehlich 3.

V případě draslíku se metodou KVK-UF extrahuje podíl, který se blíží jeho obsahu stanoveném v Mehlich 3. I zde lze pozorovat vliv pH a sorpční kapacity půdy, kde se na lehčích půdách s nižší hodnotou pH zpravidla extrahuje mírně vyšší procento draslíku než na těžkých půdách. Podobně lze charakterizovat obsah hořčíku, kde se na lehčích půdách stanoví až 75 % Mg, zatímco na těžkých jen okolo 60 % v porovnání s metodou Mehlich 3. V případě vápníku rozhoduje, zda je půda kyselejší a lehká, kde se stanoví až přibližně 60 % Ca v porovnání s metodou Mehlich 3, zatímco na těžších půdách s vyšší hodnotou pH se stanoví pouze okolo 30 %, v některých případech i méně (Tabulka 11).

**Tabulka 11:** Procenta extrahovatelnosti živin metodou KVK-UF v porovnání s Mehlich 3

Živina	Mehlich 3	KVK-UF
	(% )	
Fosfor	100	10–25
Draslík	100	85–95
Hořčík	100	60–75
Vápník	100	30–60

Ve výživě rostlin je třeba dbát na vyvážený poměr živin v půdě. Pokud v půdě není odpovídající poměr draslíku ( $K^+$ ), případně dalších monovalentních kationtů, a bivalentních kationtů ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ), může docházet k poškození půdní struktury a rozplavení půdy. Při nadbytku draslíku a současně nízkého obsahu hořčíku a vápníku nejsou účinné půdoochranné protierozní technologie, kde se živiny navíc kumulují na povrchu půdy.

Na základě výsledků různých půd na obsah draslíku a hořčíku a s ohledem na vhodné poměry živin mezi hořčíkem a draslíkem, který by měl být 2-3:1, pro metodu KVK-UF navrhujeme následující rozpětí vhodných obsahů draslíku a hořčíku pro kategorie „Nízký“, „Dobry“, „Vysoký“ a „Velmi vysoký“ (Tabulka 12).

**Tabulka 12:** Návrh kategorií obsahu K a Mg podle metody KVK-UF

Obsah živin	Draslík (mg/kg)			Hořčík (mg/kg)		
	půda			půda		
	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
<b>Nízký</b>	do 105	do 110	do 145	do 75	do 80	do 150
<b>Dobry</b>	106–200	111–225	146–270	76–150	81–180	151–230
<b>Vysoký</b>	201–285	226–315	271–380	151–230	181–270	231–330
<b>Velmi vysoký</b>	nad 285	nad 315	nad 380	nad 230	nad 270	nad 330

Při používání bezorebných technologií je třeba počítat i s faktem, že větší část draslíku zůstane v povrchové vrstvě půdy, což potvrzují nejen výsledky dlouhodobých pokusů, ale i výsledky z provozních honů. Do hlubší části půdního horizontu se dostává pozvolně makropóry, které se v půdách při bezorebném zpracování vytvářejí. Při vyšších koncentracích draslíku v půdě může docházet k proplavení vápníku a hořčíku a ke zhoršení povrchové struktury půdy. Při povrchové aplikaci draselných hnojiv nebo organických a statkových hnojiv s vyšším obsahem draslíku (digestát, fugát, kejda) je proto vždy třeba uvažovat vhodnou dávku hnojiva s ohledem na obsah živin ve vrchní vrstvě půdy a upravit poměr Mg:K tak, aby vzájemný poměr v ekvivalentech byl nejméně 2–3:1.

Pro plodiny, které v krátké době přijímají značné množství draslíku (např. brambory, cukrovka), je třeba aplikovat dostatečnou dávku K odpovídající plánovanému výnosu.

Pro půdy s vyšším obsahem draslíku, které se častěji vyskytují například v Ústeckém a Jihomoravském kraji, je třeba pro hodnocení obsahu K v půdě počítat s přirozeným obsahem draslíku, který v některých případech může překračovat daná doporučená rozmezí. V těchto případech je vhodné hnojit maximálně na plánovaný odběr draslíku a především udržovat vhodný poměr Mg:K.

Balík et al. (2022) navrhli, že pro hnojení draslíkem na plánovaný odběr živin, je podle platné vyhlášky č. 275/1998 Sb. dostačující kategorie „Vyhovující“. Pro kategorii „Nízký“ lze doporučit 1,5 násobek dávky fosforu a draslíku oproti dříve doporučované dvojnásobné dávce. Pro kategorii „Dobrý“ lze doporučit hnojení draslíkem na plánovaný výnos a současně i doplnění zásoby hořčíku tak, aby se vzájemný poměr co nejvíce přiblížil poměru výměnných kationtů Mg:K 2-3:1.

Na základě těchto skutečností, výsledků dlouhodobých pokusů a z provozních honů byla vypracována Tabulka 13, kde jsou na základě výsledků z dlouhodobých pokusů a provozních honů navrženy kategorie obsahu živin i s ohledem na výměnné podíly živin zjištěné metodou KVK-UF. Mírná úprava se týká i obsahu hořčíku, kde obsah Mg lépe odpovídá vhodnému poměru Mg:K.

**Tabulka 13:** Návrh úpravy kategorií obsahu K a Mg podle metody Mehlich 3

Obsah živin	Draslík (mg/kg)			Hořčík (mg/kg)		
	půda			půda		
	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
<b>Nízký</b>	do 110	do 125	do 170	do 100	do 120	do 180
<b>Dobrý</b>	111–210	126–260	171–320	101–200	121–275	181–350
<b>Vysoký</b>	211–300	261–390	321–450	201–310	276–370	351–450
<b>Velmi vysoký</b>	nad 300	nad 390	nad 450	nad 310	nad 370	nad 450



### **III. Srovnání novosti postupů a zdůvodnění (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.)**

Tato metodika reaguje na nové potřeby zemědělské výroby v oblasti výživy rostlin. Navrhuje novou interpretaci jednotlivých kategorií zásoby živin v půdě podle stávajících kritérií daných vyhláškou č. 275/1998 Sb. a úpravu stávajících kategorií pro výživu rostlin živinami. Současně jsou navržena nová kritéria pro metodu KVK-UF, která v této formě dosud chybí. Metodika upozorňuje i na vliv různých způsobů zpracování půdy na výživu rostlin a rizika spojená s rozdílnou úrovní obsahu živin v půdě, kdy může docházet k větší kumulaci živin na povrchu půdy. Současně interpretuje výsledky z různých polních pokusů s různým hnojením živinami a i technologiemi zpracování půdy.

### **IV. Popis uplatnění schválené metodiky**

Metodika je určena pro zemědělské laboratoře, poradce, širokou zemědělskou veřejnost, agronomy v zemědělských podnicích, kteří potřebují interpretaci obsahu živin v půdách pro rozhodování o dávkách hnojení. Současně je metodika určena orgánům státní správy, kterým může sloužit jako podklad pro odbornou argumentaci při aktualizaci kritérií hodnocení obsahu živin v půdě, při případné novelizaci vyhlášky č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků. V neposlední řadě je určena i pro studenty středních odborných zemědělských škol a také pro pracovníky a studenty zemědělských univerzit.

### **V. Ekonomické aspekty**

Spotřeba fosforečných hnojiv v České republice činila v roce 2022 celkem 40 834 tun v  $P_2O_5$ . Spotřeba draselných hnojiv činila 29 957 tun v  $K_2O$ . Fosforečná a draselná hnojiva jsou do půdy dodávána často také jako NPK hnojiva s různým obsahem P a K, stejně tak jsou aplikována i individuálně. Při průměrné ceně za 1 kg fosforu v  $P_2O_5$  28 Kč/kg (1 kg P = 65 Kč) stojí aplikovaná hnojiva přibližně 1 143 miliardy Kč/rok. V případě draslíku se cena za 1 kg  $K_2O$  pohybuje okolo 20 Kč (1 kg K = 25 Kč), což představuje 600 milionů Kč/rok.

Pokud by se cíleným hnojením ušetřilo přibližně 5 % fosforečných a draselných hnojiv, celková úspora by při zohlednění potřeb rostlin mohla činit přibližně 57 milionů Kč ve fosforečných hnojivech a 30 milionů Kč v draselných hnojivech. Největší úspora vznikne v podnicích, kde je uplatňováno organické hnojení. Na druhou stranu pro zlepšení vzájemných poměrů živin, půdy potřebují zlepšit hnojení hořčíkem a vápníkem, kde tato hnojiva, například ve formě dolomitického vápence stojí okolo 1 200–1 500 Kč/t. V roce 2022 bylo těchto hnojiv aplikováno v průměru 143 kg/ha. Při uvažované ploše orné půdy v ČR toto množství představuje zhruba 344 tis. tun vápenatých hnojiv. Zvýšení jejich

spotřeby zhruba o 5 % představuje zvýšení ceny a aplikovaná vápenatá hnojiva přibližně 22,3 milionů Kč. Nekvantifikovatelným faktorem je kromě finanční úspory v aplikaci hnojiv také omezení ztrát živin z půdy, zlepšení půdní struktury a snížení rizika vodní eroze a eutrofizace vod.

## VI. Seznam použité související literatury

- Balík J., Vaněk V., Pavlíková D. (2005): Úloha Ca v rostlině a půdě. In: Sborník z 11. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku vápnění: 14-21
- Balík J. Pavlíková D., Vaněk V. (2021): Příjem fosforu rostlinami – schopnosti rostlin k mobilizaci fosforu z půdy. In: Sborník z 27. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem: 15-22
- Balík J., Vaněk V., Suran P., Pavlíková D. (2022): Zásoba živin v půdě s akcentem na problematiku draslíku. In: Sborník z 28. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku hnojení rostlin v době hospodářské krize: 17-26
- Čermák P., Mühlbachová G., Káš M., Pechová M. Lošák, T., Hlušek J., Kulhánek, M., Sedlář O., Balík J (2018): Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových. Certifikovaná metodika pro praxi. VÚRV, ISBN 978-80-7427-294-3, 33 str.
- Körschens M., Albert E., Armbruster M., Barkusky D., Baumecker M., Behle-Schalk L., Bischoff R., Čergan Z., Ellmer F., Herbst F., Hoffmann S., Hofmann B., Kismanyoky T., Kubát J., Kunzová E., Lopez-Fando C., Merbach I., Merbach W., Pardor M.T., Rogasik J., Rühlmann J., Spiegel H., Schulz E., Tajnsek A., Toth Z., Wegener H, Zorn W.: (2013) Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century, Archives of Agronomy and Soil Science, 59:8, 1017-1040
- Kulhánek M., Černý J., Sedlář Balík J. (2021): Fosfor je ve výživě rostlin klíčovým prvkem. In: Sborník z 27. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem: 23-30.
- Macháček V., Kunzová E. (2023): Olsenova metoda pro stanovení přístupného fosforu na karbonátových půdách a následné hnojení. Agromanuál: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/olsenova-metoda-pro-stanoveni-pristupneho-fosforu-na-karbonatovych-pudach-a-nasledne-hnojeni>

- Matula J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Certifikovaná metodika pro praxi, VÚRV, 47 str.
- Mühlbachová G., Káš, M. (2023): Hodnocení obsahu živin v půdě u dlouhodobého polního pokusu s minerálním a organickým hnojením. Úroda, 70, 283-290
- Rasmussen P.E., Goulding K.W.T., Brown J.R., Grace P.R., Janzen H.H., Körschens M. (1998): Long-Term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. Science. 282:893-896
- Smatanová M., Florián M. (2022): Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2016 – 2021, UKZÚZ Brno, 29 str.
- Smatanová M. Florián M. (2022): Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2023 až 2028, 26 str.
- Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Tlustoš P., Valtera J. (2012): Výživa zahradních rostlin, ACADEMIA, 568 str., ISBN 978-80-200-2147-2
- Růžek P., Mühlbachová G., Kusá H., Vavera R. (2023). Rizika ztráty vody a uhlíku při zpracování půdy, web VÚRV, v.v.i. [Riziko-spatneho-vzchazeni-repky-po-intenzivnich-srazkach-30.-8.-2023.pdf](https://www.vurv.cz/risiko-spatneho-vzchazeni-repky-po-intenzivnich-srazkach-30.-8.-2023.pdf) (vurv.cz)
- Vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů.
- Zbírál J. (2017): Analytické možnosti pro agrochemické zkoušení půd. In: Sborník z 23. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na význam agrochemických rozborů půd, ČZU v Praze 30.11. 2017, ISBN 978-80-213-2793-1: 21-24

## VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Čermák P., Mühlbachová G., Káš M., Pechová M. Lošák, T., Hlušek J., Kulhánek, M., Sedlár O., Balík J (2018): Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových. Certifikovaná metodika pro praxi. VÚRV, ISBN 978-80-7427-294-3, 33 str.
- Matula J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Certifikovaná metodika pro praxi, VÚRV, 47 str.
- Káš M., Mühlbachová G., Kusá H. Pechová M. (2016): Soil phosphorus and potassium availability in long-term field experiments with organic and mineral fertilization. Plant, Soil and Environment, 62: 558-565
- Lošák T., Hlušek J., Lampartová I., Elbl J., Mühlbachová G., Čermák P., Antonkiewicz J. (2016): Changes in the Content of Soil Phosphorus after its Application into Chernozem and Haplic Luvisol and the Effect on Yields of Barley Biomass Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 64,5: 1603-1608

- Lošák T., Elbl J., Kintl A., Čermák P., Mühlbachová G., Neugschwandtner R., Torma S., Hlušek J. (2018): Soil Agrochemical Changes after Kieserite Application into Chernozem and its Effect on Yields of Barley Biomass Agriculture (Polnohospodárstvo), 64, 4, 183-188
- Mühlbachová G., Čermák P., Vavera R., Lošák T., Hlušek J. (2016): The effect of phosphorus applications on changes in the soil content of P and yields of barley biomass Agriculture & Food, 4: 564-570
- Mühlbachová, G., Kusá H., Růžek P. (2015): Soil characteristics and crop yields under different tillage techniques. Plant, Soil and Environment, 61: 566-572
- Mühlbachová G., Káš, M. (2023): Hodnocení obsahu živin v půdě u dlouhodobého polního pokusu s minerálním a organickým hnojením. Úroda, 70, 283-290
- Růžek P., Mühlbachová G., Kusá H., Vavera R. (2023): Rizika ztráty vody a uhlíku při zpracování půdy výzkumný tým Integrované výživy rostlin, VÚRV, v.v.i. Praha-Ruzyně, web VÚRV, v.v.i. [Riziko-spatneho-vzchazeni-repky-po-intenzivnich-srazkach-30.-8.-2023.pdf](https://www.vurv.cz/riziko-spatneho-vzchazeni-repky-po-intenzivnich-srazkach-30.-8.-2023.pdf) (vurv.cz)

**Název: Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě**

Osvědčení: ÚKZÚZ č. 219190/2023

Autoři: Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.

Ing. Helena Kusá, Ph.D.

Ing. Radek Vavera, Ph.D.

Ing. Martin Káš, Ph.D.

Pracoviště: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Fotografie: Ing. Pavel Růžek, CSc., Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.

Oponenti: prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D., MENDELU v Brně

Ing. Michaela Smatanová, Ph.D., ÚKZÚZ, Brno

Kontakty: [muehlbachova@vurv.cz](mailto:muehlbachova@vurv.cz)

[kusa@vurv.cz](mailto:kusa@vurv.cz)

[vavera@vurv.cz](mailto:vavera@vurv.cz)

[kas@vurv.cz](mailto:kas@vurv.cz)

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2023

ISBN 978-80-7427-425-1



© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2023

ISBN 978-80-7427-425-1