

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Dlouhodobý vliv hnojení na pH půdy

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

Autor práce: Alena Tomanová

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Dlouhodobý vliv hnojení na pH půdy" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.4.2015

Poděkování

Dovoluji si vyjádřit poděkování Ing. Jindřichovi Černému, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a za odbornou konzultaci Ing. Michaele Smatanové, Ph.D.

SOUHRN

Cílem této práce je hodnocení dlouhodobého vlivu hnojení vápenatých hnojiv na pH půdy v různě půdně klimatických podmínkách a oblastech pěstování dlouhodobých stacionárních pokusů. Porovnání souvislosti výměnné půdní reakce v půdě na kombinacích vápněných či jeho vynecháním.

Hodnocení výsledků vychází z dlouhodobé výživářské polní zkoušky „Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, na agrochemické vlastnosti půd a na bilanci živin“ na plochách výživářských bázích odrůdových zkušeben ÚKZÚZ. Byla vytvořena síť stanovišť rozdělené na výrobní oblast bramborářskou (BVO) a výrobní oblast řepářskou (ŘVO). Účinnost vápnění byla hodnocena v BVO na stanicích Horažďovice, Chrastava, Jaroměřice, Lípa, Staňkov, Hradec nad Svitavou a Vysoká. V ŘVO na stanicích Pusté Jakartice, Uherský Ostroh, Věrovany a Žatec. Sledování bylo zaměřeno na kombinace hnojení 0 (nehnojená), 2 (chlévký hnůj), 11 (N3P3K3) s vápněním a kombinace 12 (N3P3K3) bez vápnění, která je v porovnání s vápněnou kombinací na stejné úrovni hnojení. Provádělo se hodnocení pH půdy z odběru vzorků po sklizni plodin na začátku sledování (dle založení) pokusu a na konci sledování v roce 2012. Vycházelo se z hodnoty pH/KCl.

Při porovnání výsledku z pokusů nám vychází, že největší pokles půdní reakce je hlavně v horších půdních a klimatických podmínkách bramborářské výrobní oblasti, kdy pokles půdní reakce je způsoben vyplavováním zásaditých složek v těchto srážkově bohatších oblastech. V řepářských oblastech se vyskytují karbonátové (uhličitanové) půdy, kde obsah uhličitanů udržuje vyrovnanou půdní reakci.

V BVO se vlivem intenzivnějšího a pravidelného vápnění (dle výsledků rozborů) pH postupně zvyšuje pod hnojení hnojem. Mírné okyselení vlivem stupňovaných dávek živin je viditelné. Výraznější okyselení půdy je evidentní především u kombinace hnojení 12. (N3P3K3) bez vápnění, kde se pH nejvíce snížilo na stanicích (HOR) o 1,3 jednotky, (JAR) o 1,1 jednotky a v (HRA) o hodnotu pH 0,8. Vlivem vápnění se změnila hodnota pH u kombinace hnojení 2. Chlévký hnůj z 5,8 na pH 6,3. Nejvíce se zvýšilo pH v Chrastavě o hodnotu pH 1,1. U kombinace 11. (N3P3K3) pH pokleslo nejvíce na stanici (HRA) o 1,2 jednotky pH.

V ŘVO se vlivem vápnění hodnota pH u kombinace hnojení 2. Chlévký hnůj výrazně nezměnila, nejvíce pH kleslo v Uherském Ostrohu o 0,5 jednotky. U kombinace 11. (N3P3K3) se

pH zvýšilo v Pustých Jakartících a Věrovanech z kyselé půdní reakce na neutrální o 1,1 a 0,7 jednotky pH. Na ostatních stanicích pH kleslo o hodnotu 1,0 (UHO) a 0,7 (ŽAT). Kombinace 12. (N3P3K3) s nejvyšší intenzitou hnojení nevápněnou vykazovala klesající pH v (UHO) o 1,1 jednotky pH a Žatci o hodnotu pH 0,6.

Klíčová slova: hnojení, pH půdy, agrochemické vlastnosti půd

SUMMARY

The aim of this study is to evaluate the long-term effects of fertilization calcium fertilizers on soil pH in different soil and climatic conditions and growing areas of long-term stationary experiments. Comparison connection exchangeable soil reaction on combinations soil limed or its omission.

Evaluation results based on long-term field tests nutrition Facts "Monitoring the impact of escalating intensity of fertilization on crop yields, on agrochemical soil properties and nutrient balance" on surfaces Nutrition Facts bases cultivar testing. Establishing a network of habitats divided into potato production area (BVO) and sugar beet production area (ŘVO). Efficacy was evaluated in liming BVO at stations Horažďovice, Chrastava, Jaroměřice, Lípa, Staňkov, Hradec nad Svitavou and Vysoká. In ŘVO at stations Pusté Jakartice, Uherský Ostroh, Věrovany and Žatec. Monitoring was focused on the combination of fertilization 0 (unfertilized), 2 (manure), 11 (N3P3K3) with liming and 12 combinations (N3P3K3) without liming, which is compared with the combination of liming at the same level fertilization. Carried out the assessment of soil pH sampling after crop harvest in the beginning (according to the establishment) at the end of the experiment and monitoring in 2012. It was based on the value of pH / KCl.

When comparing results from the experiments would yield the largest decrease in soil reaction is mainly in poorer soil and climate conditions potato-growing region, where the decrease soil reaction is caused by leaching of alkaline components in these precipitation affluent areas. In ŘVO areas occur carbonate (carbonate) soil, wherein the content of carbonates maintains balanced soil reaction.

The BVO is due to intensive and regular liming (according to the results of analysis) pH gradually increases the fertilizing manure. The slight acidification due to graded doses of nutrients is visible. Increased soil acidification is evident especially in combination fertilization 12. (N3P3K3) without liming, wherein the pH is lowered to most workstations (HOR) by 1.3 units (JAR) by 1.1 units and (HRA) with a pH of 0, 8th Due liming changed the pH of the second combination fertilization farmyard manure from 5.8 to pH 6.3. Most increased pH Chrastava about pH 1.1. The combination of 11. (N3P3K3) pH decreased most on the station (HRA) of 1.2 pH units.

In ŘVO under the influence of liming at pH combination fertilization second Farmyard manure has not changed significantly, most pH dropped in Uherský Ostroh by 0.5 units. The combination of 11th N3P3K3 the pH increased in barren Jakartice and Věrovany of acidic to

neutral soil reaction 1.1 and 0.7 pH units. At other stations, the pH value dropped by 1.0 (UHO) and 0.7 (ZAT). The combination with the highest intensity 12. (N3P3K3) fertilization without liming showed decreasing pH (UHO) about 1.1 pH units and the pH Žatec 0.6.

Keywords: fertilization, soil pH, soil agrochemical properties

OBSAH:

1.	ÚVOD	10
2.	CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA	11
3.	LITERÁTNÍ REŠERŠE	12
3.1.	Výživa a hnojení	12
3.1.1.	Půda a půdní vlastnosti	12
3.1.2.	Půdní reakce – pH	12
3.1.2.1.	Složení půdy	17
3.1.2.2.	Hnojení	19
3.1.2.3.	Vápnění	22
3.1.2.4.	Kartogramy zásobenosti půd Ca	24
3.1.3.	Příjem vápníku rostlinami	26
3.1.3.1.	Požadavky rostlin na pH	27
3.1.4.	Metody stanovení obsahu přístupných živin v půdě	28
3.2.	Historie dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ	30
3.2.1.	Dlouhodobé pokusy ve světě	30
3.2.2.	Počátky zakládání dlouhodobých pokusů v ČR	31
3.2.3.	Současnost zakládání dlouhodobých pokusů v ČR	32
4.	MATERIÁL A METODY	35
4.1.	Klimatické podmínky	35
4.2.	Půdní podmínky a pH	35
4.3.	Dávky živin	37
4.4.	Osevní postupy	40
4.5.	Odběry půdních vzorků	41

5.	VÝSLEDKY	42
5.1.	pH půdy řepařských výrobních oblastí	42
5.2.	pH půdy oblasti bramborářské	46
6.	DISKUSE	52
7.	ZÁVĚR	54
8.	SEZNAM POUŽITÉ LETERATURY	55
9.	PŘÍLOHY	59
	Tab. 9.1: 12 kombinací při šestinásobném opakování (zkouška AZP stacionár)	59
	Tab. 9.2: Roční údaje o klimatických podmínkách	60
	Tab. 9.3.: Kombinace hnojení	61

1. ÚVOD

Půda je základním živným prostředím polních plodin, kde zásoba živin v půdě tvoří podstatu její úrodnosti. Výnos a kvalita rostlinné produkce je do značné míry závislá na výživném stavu půdy. To je schopnosti půdy zásobovat rostliny vodou a živinami v patřičné výši a vzájemných poměrech během celé vegetace, zvláště v kritických obdobích růstu a vývoje plodin. V rostlinné produkci má stále dominantní postavení „ročník“ – průběh povětrnosti. Rysem dobrého hospodáře vždy bylo, že s pokorou přijímal průběh povětrnosti ročníku, příliš si nestěžoval na nepřízeň osudu. Spíše se snažil najít rezervy sám u sebe, zdali udělal vše ze své strany, aby důsledky nepříznivé konstelace povětrnostních faktorů byly co nejmenší. V kategorii výživného stavu půd to znamená komplexní přístup. Nestačí mít pouze některé parametry v pořádku, ale všechny. Pořád platí zákon minima, že faktor v minimu znehodnocuje projev ostatních faktorů v dobré výši. Platí i zákon maxima, že faktor v nadbytku nepříznivě snižuje projev faktorů dobré úrovně. Dobrý výživný stav půdy je základem racionální výživy porostu na pozemku. Dobře živěný porost je vitálnější – zdravější, lépe se vyrovnává se stresovými situacemi (Matula, 2007).

2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA

Cílem této práce je hodnocení dlouhodobého vlivu hnojení vápenatých hnojiv na pH půdy v různě půdně klimatických podmínkách a oblastech pěstování. Porovnání souvislosti výměnné půdní reakce v půdě na kombinacích vápněných či jeho vynecháním.

Dlouhodobé polní pokusy mají svoji nezastupitelnou roli v zemědělských vědách a v zemědělském pokusnictví. Z těchto pokusů pocházejí naše poznatky o transformaci organických látek a rostlinných živin v půdě, o působení organických a minerálních hnojiv na pěstované plodiny a osevních postupů a zpracování půdy na pěstované plodiny a na kvalitu půdy. I při pečlivém hospodaření dochází v koloběhu látek a živin k jejich určitým ztrátám a připočteme-li k nim živiny obsažené v prodaných výrobcích, je koloběh živin ochuzován a u většiny živin zaznamenáváme negativní bilanci. To má za následek nejen snížení úrodnosti pěstovaných plodin, ale i postupné odčerpávání živin z půdy. Z hlediska posuzování efektivity využití zemědělských půd je důležité hodnotit proces dlouhodobého hnojení a jeho vliv na pH půdy. Z tohoto hlediska bychom mohli považovat výsledky dlouhodobých polních pokusů, které poskytují dostatečně dlouhou dobu pozorování za přínosné jak v rostlinné výrobě, tak i v životním prostředí.

3. LITERÁTNÍ REŠERŠE

3.1. Výživa a hnojení

3.1.1. Půda a půdní vlastnosti

Při sledování celkového obsahu uhlíku C (jako Cox), C huminových kyselin a kationtové výměnné kapacity (KVK) bylo zjištěno, že velký vliv má například nadmožská výška. S rostoucí nadmožskou výškou klesá hodnota pH prostředí, snižuje se teplota a celkově jsou horší podmínky pro mikroorganismy, tedy pro mineralizaci primární organické hmoty i její transformaci na humus (Kolář et al., 1999).

V systému půda rostlina má výrazné postavení při ustalování rovnováh mezi půdním roztokem a pevnou fází půdy hodnota kationtové výměnné kapacity půdy (KVK). Hodnota KVK má důležitou integrační pozici v celém systému půda – rostlina, umožňuje tím sofistikovanější přístup v prvních krocích kalibračního procesu agronomické interpretace půdních testů pro potřeby racionalizace hnojení (Matula, 2007).

Podíl výměnného Ca v sorpčním komplexu by měl být na úrovni 65-80% kationtové výměnné kapacity (KVK). Toto zastoupení vápníku je nutné především pro udržení půdní struktury. Ve srovnání s dalšími kationty, které jsou více zastoupeny v sorpčním komplexu, je vápník mnohem pevněji poután a zvyšuje stabilitu půdních agregátů (Černý et al., 2013).

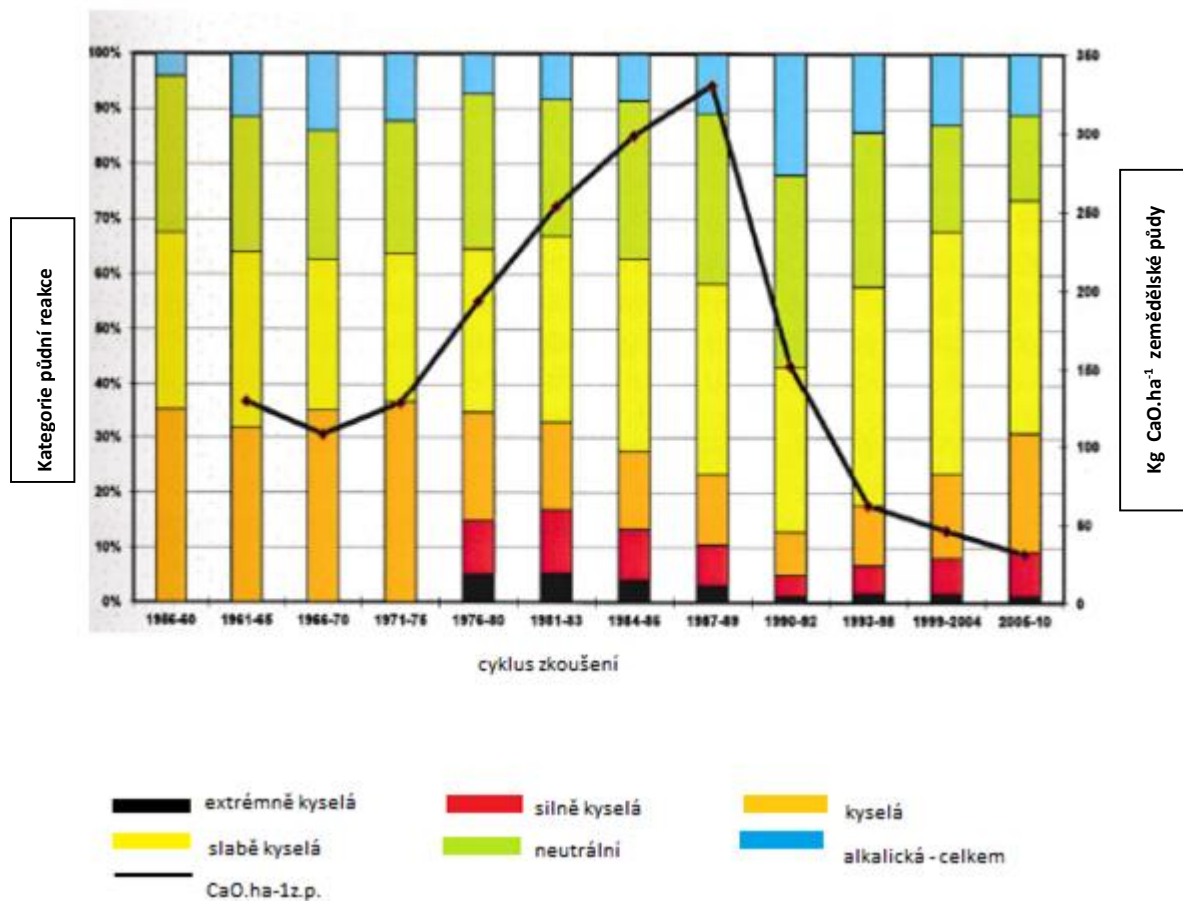
Oxidačně – redukční a acidobazické reakce jsou nezbytné pro zachování všech živých organismů. Nicméně, oxidačně-redukční potenciál (Eh) získal malou pozornost v agronomii, na rozdíl od pH, který je považován za hlavní proměnnou. Agronomové se pravděpodobně zbavují klíčového faktoru plodin a pedologie, které by mohlo být užitečným integračním nástrojem. (Husson, 2013)

3.1.2. Půdní reakce – pH

Do poloviny 70. let nepokrývala spotřeba vápenatých hnojiv potřebu vápnění odvozenou z půdních rozborů. Podíl kyselých zemědělských půd vzrostl v tomto období na téměř 37 % výměry republiky. V následujícím období, charakteristickém intenzivní vápněním pozemků (330 kg CaO. ha⁻¹ v roce 1989), je naopak patrný výrazný pokles podílu kyselých půd až na hodnotu 13 %. Ani prudké snížení spotřeby vápenatých hnojiv po roce 1989 se zpočátku neprojevalo na půdní reakci negativně. Tuto příznivou stagnaci možno spatřovat v pomalém uvolňování vápníku z dříve aplikovaných, často i hruběji mletých vápenatých hnojiv. Rovněž

nižší působení okyselujících faktorů, nízká intenzita hnojení a nižší podíl kyselých spadů, byl pro vývoj půdní reakce pozitivní. Příčinou je již výše uvedené snižování spotřeby vápenatých hmot, jejichž množství používané v zemědělství k vápnění kleslo zhruba na 9 % stavu používaného před rokem 1990 (graf 1).

Graf 1: Změny půdní reakce v zemědělských půdách ČR a spotřeba vápenatých hmot (Klement, 2012)



Půdní reakce (kyselost) je základní chemickou vlastností půdy, na níž do značné míry závisí využití zásoby živin v půdě rostlinami a schopnost hlízkových bakterií poutat vzdušný dusík (jeteloviny a luskoviny).

Typy půdní kyselosti

U půdy rozeznáváme dvě základní formy kyselosti:

Aktivní kyselost je dána koncentrací iontů H^+ v půdním roztoku. Je tvořena minerálními a organickými kyselinami půdního roztoku, hydrolyticky kyselými hnojivy a kyselými spady. Má bezprostřední vliv na příjem živin rostlinami. Stanovuje se ve výluhu půdy vodou. Výměnná kyselost je způsobená adsorbovanými H^+ a Al^{3+} (příp. Fe) ionty, které se vyměňují za bazické ionty roztokem neutrální soli KCl ($CaCl_2$). Výměnné kyselosti se využívá ke stanovení potřeby vápnění (Klement, 2012).

Metody stanovení

Stanovení pH patří k základním požadavkům pro zjištění kvality půdy, protože hodnota pH má vliv na většinu chemických a biologických procesů v půdě.

Stanovení je ovlivněno především:

- poměrem půdy a extrakčního činidla
- složením extrakčního činidla (koncentrací elektrolytů)
- typem měřících elektrod a jejich umístěním v suspenzi resp. v supernatantu
- mícháním a driftem pH metru

Při stanovení pH v půdní suspenzi se mimo obvyklé problémy spojené s měřením pH skleněnou elektrodou vyskytuje ještě problém změn při delším stání suspenze, dále problém míchání v průběhu měření a zvláště míchání proudem stlačeného vzduchu, které může hodnotu pH významně ovlivnit (Zbíral, 2002).

Vlastní měření pH skleněnou elektrodou v oblasti pH 3-9 je ovlivňováno nejen aktivitou H^+ iontů, které jsou ve styku s vnější membránou elektrody, ale i difuzním potenciálem, parciálním tlakem oxidu uhličitého a v půdních suspenzích např. i sorpcí vysokomolekulárních látek na skleněnou membránu (Meier et al., 1989). Pro potlačení difuzního potenciálu a vlivu různé koncentrace solí byly pro stanovení pH půdních suspenzí dávána přednost roztokům solí, především KCl o koncentraci 0,1 – 1 mol.l⁻¹ případně 0,01 M roztoku chloridu vápenatého. Ponnamperuna et al. (1966) podrobně prozkoumal vliv redoxního potenciálu půdy a parciálního tlaku oxidu uhličitého na hodnoty pH u zaplavovaných půd. Zjistil, že za uvedených podmínek pH alkalických a karbonátových půd postupně klesalo, zatímco pH půd kyselých stoupalo.

Půdní reakce má výrazný vliv na úrodnost půdy. V silně kyselých půdách se nedaří některým užitečným bakteriím velmi důležitým pro optimální průběh biochemických reakcí v půdě. Dochází ke vzniku příznivých podmínek pro činnost plísní, hub apod., které jsou pro úrodnost půdy méně vhodné. Mineralizační procesy jsou v kyselých podmínkách vesměs zpomaleny a syntetické procesy vedou ke tvorbě méně kvalitních humusových látek (fulvokyselin) (Klement, 2012).

Optimum pH (jak uvádí tab. 1) je v neutrální oblasti; na orné půdě se nesmí dopustit pokles pH pod 5,5, kdy již dochází k poruchám výživy rostlin a podstatně se snižuje fixace dusíku hlízkovými bakteriemi. Pokud není pH upraveno do oblasti slabě kyselé nebo neutrální, nemá smysl hnojení minerálními hnojivy, protože účinnost aplikovaných hnojiv je nízká (Čermák et al., 2007).

Tab. 1: Kritéria pro hodnocení půdní reakce (příloha č.5 Vyhlášky o agrochemickém zkoušení zemědělských půd)

Hodnota pH	Půdní reakce
< 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 – 5,5	kyselá
5,6 – 6,5	slabě kyselá
6,6 – 7,2	neutrální
7,3 – 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

Vápník se v půdách nachází jako dvojmocný kationt půdního roztoku anebo jako výměnný iont sorpčního komplexu. Kromě toho jsou v půdě četné primární a sekundární minerály obsahující vápník. Celkový obsah vápníku v půdách se pohybuje ve značném rozpětí od 0,15 do 6% (Fecenko et al., 2000). Podle Vaňka et al. (2007) se celkový obsah vápníku v půdách nejčastěji pohybuje v intervalu 0,1 až 1,2 % a na půdách se zvýšeným obsahem uhličitánů (vápence, dolomity) dosahuje zřetelně vyšších hodnot, kdy se jeho celkový obsah může pohybovat v širokém rozmezí od 0,15 % (na kyselých písčitých půdách v humidních oblastech) až do 10 % i více na půdách karbonátových a převážná část vápníku se nachází v těžko rozpustných sloučeninách, hlavně uhličitanech, křemičitanech, hlinitokřemičitanech a síranech.

Uhličitany přítomné v půdě (kalcit, aragonit, dolomit a siderit) vznikly v důsledku litogenních nebo půdotvorných procesů a jejich kombinací (Monger et al., 2002). Rychlost uvolňování Ca z uhličitánů je ovlivněna jejich rozpustností. Vliv na rozpustnost má především obsah CO₂ v půdním vzduchu, resp. půdním roztoku, což je ovlivněno zejména biologickou aktivitou v půdě (Černý et al., 2013).

Rozpustnost uhličitánů je závislá na pH půdy (větší je v kyselejší oblasti) a značný vliv na rozpustnost uhličitánů má obsah CO₂, jehož produkce v půdě je závislá na biologické činnosti půdy (Čermák, 1997). Černý et al. (2013) uvádějí, že rozpustnost uhličitánů se mění i se změnami teploty. Paradoxem je, že se snižující se teplotou se CO₂ snadněji rozpouští, avšak když teplota roste, rozpouštění se urychluje. Dalším faktorem, který ovlivňuje rozpustnost uhličitánů, je pH. Větší rozpustnost je při nižších hodnotách pH. Hodnota pH půdního roztoku

je dána jednak rovnováhou mezi volným CO_2 a HCO_3^- , ale výrazně je také ovlivňována pufrací schopností půdy podle zastoupení jednotlivých složek se schopností pufrace (humusové kyseliny, fosforečnany, křemičitany, organické kyseliny, jílové minerály apod.) a také intenzitou biologických procesů (např. nitrifikace, denitrifikace). Výše uvedené skutečnosti se nevztahují jen na karbonáty, které jsou přirozenou součástí minerálního podílu půdy, ale také na případy, že jsou uhličitany doplňovány aplikací hnojiv, tj. vápněním (vápence, dolomity).

Dalším minerálem, který ovlivňuje obsah vápníku v půdě je sádrovec (hydratovaný síran vápenatý). Sádrovec se nejčastěji vyskytuje v aridních půdách s obsahem síranů v půdním roztoku vyšším než 0,01 mol/l. Ve srovnání s uhličitany je rozpustnost sádrovce v běžných podmínkách výrazně vyšší (200-300 mg/l) (Černý et al., 2013).

Půda má schopnost po určité období bránit změnám pH. Tato tzv. pufrovací (tlumivá, ústojčivá) schopnost půd je závislá na jejím složení. Vysokou pufrací schopnost mají půdy s vysokým obsahem uhličitánů (CaCO_3 , MgCO_3), půdy s vysokým obsahem humusu, zrnitostně těžší půdy. Na takových půdách může být často problém s vyšší hodnotou pH (nad 7,5) a pokles nelze očekávat v desetiletích. Naopak na lehkých půdách s nedostatkem kvalitní organické hmoty může docházet k výraznému poklesu pH během období několika let (Černý, 2013).

Vápník je převažující prvek mezi kationty poutanými na půdní sorpční komplex. Pouze na alkalických půdách je zastoupen vysoký podíl sodíku, na kyselých půdách převažuje hliník a vodík a na půdách utvářených na serpentinitech (hadcích) je výrazněji zastoupen hořčík. Výměnný Ca je v rovnováze s vápníkem v půdním roztoku. Síla vazby výměnného Ca je závislá na povaze vazebných míst (organické, minerální), poměru Ca k ostatním kationtům (tzn. stupeň saturace Ca), zastoupení ostatních kationtů a jejich mocností, ale také například na obsahu aniontů v půdním roztoku. Více jsou poutány kationty s vyšším oxidačním číslem – jsou přitahovány více vazebnými místy ($\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$). Pevněji jsou poutány kationty méně hydratované. Méně jsou hydratovány větší a těžší ionty, jsou proto silněji poutány ionty s vyšší atomovou hmotností. Větší sorpce je u kationtů více zastoupených (Černý et al., 2013).

Pro vytvoření a udržení vhodné půdní struktury (drobtovité) je zapotřebí dostatečné nasycení koloidů dvojmocnými kationty, tj. vápníkem a hořčíkem.

Koloidy mohou být v půdě rozptýlené ve formě koloidního roztoku (solu), nebo mohou být vyvločkovány (ve stavu gelu). Vyvločkování či vysrážení (flokulaci/koagulaci) většiny půdních koloidů působí kationty, jelikož mají opačný náboj než koloidy. Výraznou koagulační schopnost mají dvojmocné kationty (především Ca^{2+} , případně Mg^{2+}). Tato schopnost je dvacetkrát až třicetkrát vyšší než u jednomocných kationtů (např. K^+ , Na^+) (Haynes et al., 1998).

Bowman (2008) uvádí, že antropogenní depozice dusíku v uplynulém půlstoletí má negativní dopad na mírné ekosystémy v Evropě a Severní Americe, což vede k okyselování půdy a snížení biologické rozmanitosti u rostlin. Během procesu acidifikace, půda uvolňuje základní kationty, jako je vápník a hořčík a neutralizací dochází ke zvýšení kyselosti. Poté co byly vyčerpány tyto základní kationty, hliník je uvolněn z půdy a často dosahuje toxických hladin.

Všechny vlastnosti půdy a hodnoty pH půdy se mohou značně lišit s odvoláním na typ půdy, topografii, klima, vegetaci a antropogenní činnost, protože se všechny tyto faktory ovlivňují prostorovou variabilitou sledovaných půdních typů (Shi et al., 2009).

Kromě toho zvýšená kyselost půdy může přímo působit na fungování samotné mikrobiální komunity (Kemitt, 2006).

Okyselován půd je často spojováno s antropogenním znečištěním atmosféry a následně působením „kyselých“ spadů. Toto působení bylo významné především vlivem vysokých spadů síranů. Síraný mobilizovaly Ca ze sorpčního komplexu a docházelo k jeho transportu do nižších vrstev půdy, případně vyplavování. S ohledem na odsíření hnědouhelných elektráren je tak tento vliv poměrně malý. Rozklad posklizňových zbytků v půdě, opadu rostlinného materiálu, kořenů, ale také aplikovaných hnojiv vede k tvorbě celé řady meziproductů. Mnohé tyto sloučeniny působí v půdním prostředí okyselujícím efektem. Samotný proces rozkladu organické hmoty (mineralizace) vede ke vzniku oxidu uhličitého, který v půdě částečně reaguje a vytváří kyselinu uhličitou. Její disociací pak dochází k uvolňování H^+ a poklesu pH půdy. Také další následné procesy přeměn látek v půdě vedou k okyselování. Typickým příkladem je přeměna amonného dusíku na nitrátový proces nitrifikace (Černý, 2013).

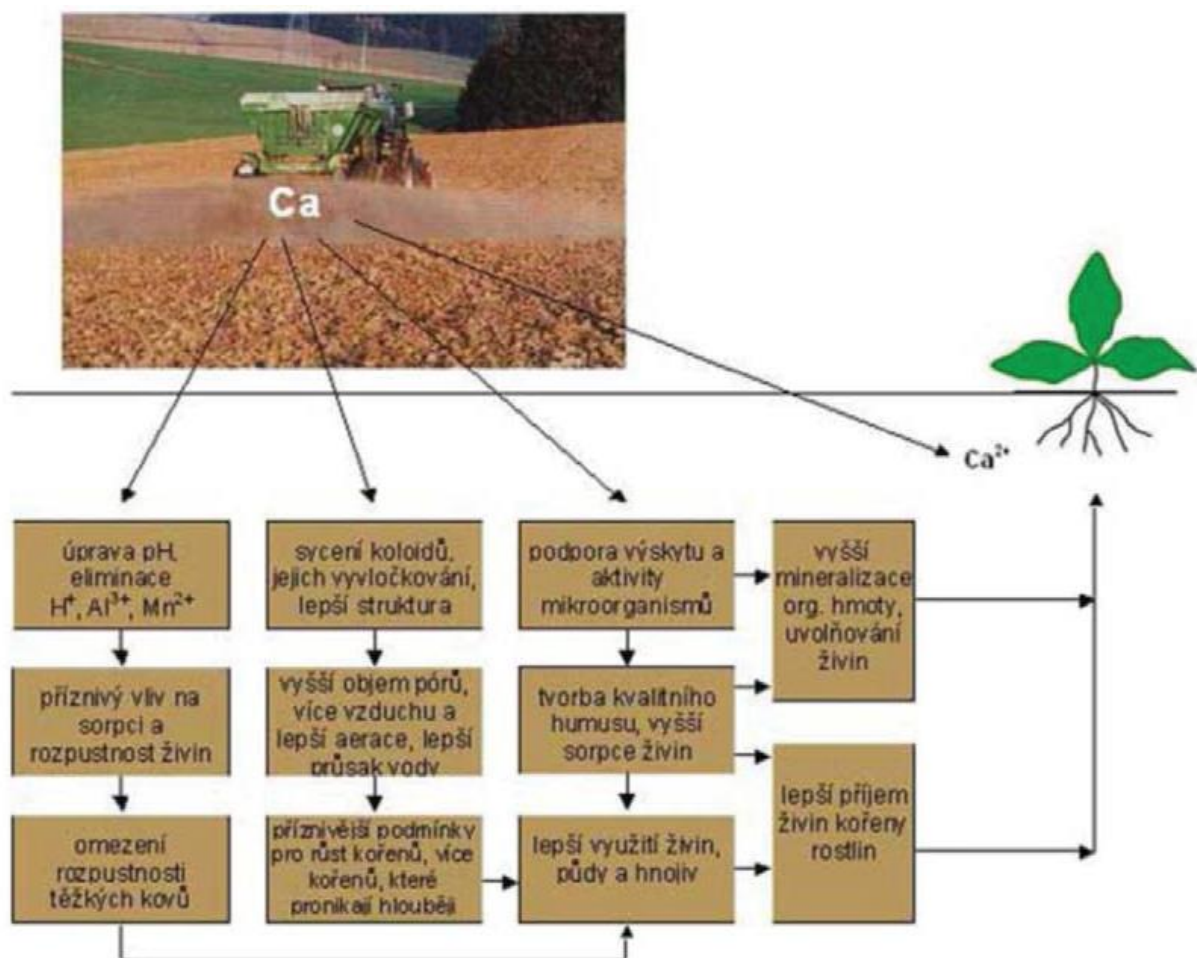
3.1.2.1. Složení půdy

Vápník (Ca) je pátý nejčastěji zastoupený prvek a třetí nejhojnější kov (po Fe a Al) v zemské kůře Průměrný obsah Ca v litosféře je asi 3,6 %. V půdách obsah Ca výrazně kolísá, především s ohledem na složení minerálního podílu půdy – matečného substrátu, probíhající půdní procesy, stupeň zvětrávání, podmínky stanoviště a další vlivy. Celkový obsah vápníku v půdě se tak může pohybovat od obsahu 0,1% na nekarbonátových, výrazně zvětralých substrátech až do 10% (i více) na karbonátových půdách (Černý et al., 2013).

Pro vytvoření a udržení vhodné půdní struktury (drobtovité) je zapotřebí dostatečné nasycení koloidů dvojmocnými kationty, tj. vápníkem a hořčíkem.

Vliv na půdní strukturu má také složení půdních koloidů (obr. 1). Půdní koloidy jsou tvořeny jílovými částicemi a humusovými látkami. Přitom jednotlivé jílové minerály i humusové látky mají rozdílné schopnosti oddisociovat vodík. Humusové látky disociují H^+ při vyšších hodnotách pH. Jílové minerály mají větší „acidoidní“ charakter, zvláště u minerálů typu montmorillonitu. Proto je nezbytné, aby půdy s vyšším obsahem jílovitých částic měly vyšší zastoupení vápníku v sorpčním komplexu. U těžkých půd je zapotřebí nasycení až na 80% KVK, kdežto na lehkých půdách je dostačující přes 60% KVK (Černý et al., 2013).

Obrázek 1: Působení vápníku v půdě (Vaněk et al., 1998)



Zvýšenými vstupy organické látky do půdy je dáno zvýšenými výstupy CO_2 . To je podporováno pozitivní korelací mezi produktivitou rostlin a vnitřní mikrobiální respirací s pH půdy. Kromě toho, půdní mikrobiální biomasy C a N a nitrifikace také významně korelují s pH půdy (Kemitt, 2006).

3.1.2.2. Hnojení

Na základě 20 letých polních pokusů (Škarda, 1982) byly odvozeny normativy přísunu sušiny organických látek (OL) do půdy v závislosti na struktuře pěstovaných plodin (zrniny, jednoleté píce, okopaniny, jeteloviny) a druhu půdy.

Zjištěné normativy je vhodné korigovat s údaji existujícího stavu zásobenosti půd organickou hmotou (nedostatečný, přiměřený, optimální, luxusní) podle metody udržování vyrovnané bilance organické hmoty v půdě (Kubát, 1999). Podle druhu půdy a struktury plodin je třeba, aby roční přísun organických látek v průměru osevního postupu činil 1,8–2,2 t na 1 ha.

Tyto normativy přísunu OL do půdy lze považovat za základní agroekologický limit, který je určující především pro udržování půdní úrodnosti. Přísun OL zajišťují v současné době převážně stájová hnojiva, především hnůj a kejda skotu či prasat. V zemědělských podnicích bez živočišné výroby, kde produkce stájových hnojiv nezajišťuje požadované normativy je nutno chybějící stájová hnojiva nahradit hnojivy statkovými. Jedná se o zaorávku slámy obilnin, nejlépe jařin, ale i slámy řepkové a luskovin, případně kukuřičné i slunečnicové. Při zaorávkách těchto organických látek je nutno upravit poměr C:N přidávkem dusíku, v průměru 1 kg N na 100 kg slámy (nejlépe kapalnými hnojivy) a pro zkvalitnění rozkladu slámy aplikovat kapalná organominerální hnojiva. Výhodné je použití také kejdy prasat v dávce 30–40 t/ha. Podrobnější údaje o hnojení při hospodaření bez živočišné výroby uvádí Zemědělská informace ÚZPI Praha (Procházková et al., 2001). Aplikace hnoje zvyšuje i pH půdy (Ondrášek, 2008). Zvýšení pH závisí na dávkování a načasování aplikace chlévského hnoje (Vašák et al., 2015).

Při stanovení potřeby hnojení je nutno přihlížet nejen k požadavkům plodiny, ale i k využitelnosti živin z půdy a dodaných hnojiv. Limitujícími faktory jsou půdní typ a druh, obsah humusu, vlastnosti podloží a spodiny, pH půdy, mikrobiální činnost, obsah a vzájemný poměr živin, vodní režim a sorpční kapacita (při vysoké sorpční kapacitě je nižší účinnost hnojiv). Metodicky je stanovení dávek P a K hnojiv diferencováno podle jednotlivých výrobních oblastí, plodin, skupin předplodin a zásobenosti půd. Při aplikaci předzásobního hnojení se dávky P a K k jednotlivým plodinám sčítají. Cílem tohoto postupu stejně jako další metody hnojení, založené na principu zásobení půd živinami bez specifikace plodiny, je dosažení tzv. efektivní hladin živin v půdě (Šroller, 1982).

Hnojiva jsou převážně technické anorganické soli, je ve vodném prostředí disociují, případně hydrolyzují, a ovlivňují tak pH prostředí. Mohou působit neutrálně, alkalicky i kyselě podle složek, které je tvoří. Takto působí účinné složky hnojiva i ostatní sloučeniny přítomné v

hnojivu. Dusíkaté vápno např. působí silně alkalicky, protože obsahuje kromě účinné složky CaCN_2 ještě CaO . Kromě tohoto aktuálního pH (neutrálně působí soli silných kyselin a zásad, soli slabých kyselin a silných zásad působí alkalicky, a naopak soli silných kyselin a slabých zásad působí kyselé) zasahuje do pH prostředí i výměna iontů při příjmu živin, a také výdej látek rostlinami do prostředí. Výsledný vliv hnojiv na pH prostředí je součet aktuálního působení i fyziologického vlivu, což se však obtížně hodnotí. U některých hnojiv dochází k postupným přeměnám účinných složek a může nastat změna pH v různých směrech. Močovina sama např. neovlivňuje pH prostředí, po její amonifikaci se prostředí mírně alkalizuje a po následné nitrifikaci okyseluje. Musí se tedy brát výsledné působení, které je i u močoviny kyselé. Podobně je tomu např. při příjmu aniontu NO_3^- , který ve fázi výměny iontů působí mírně alkalicky, ale v důsledku jeho využití v rostlině (redukce na NH_3) se produkuje velké množství organických kyselin (H^+ iontů), které působí okyselení prostředí (Vaněk et al., 2012).

Aplikace hnojiv je jedna z příčin acidifikace půdy (Hoyt, 1982). Odlišné na změny pH působí jednotlivá organická hnojiva. Také minerální hnojiva je nezbytné posuzovat s ohledem na jejich vliv na pH. Působení hnojiv je však nezbytné chápat nejen jako přímý vliv hnojiva (ve vztahu k pH dané látky – soli), ale také s ohledem na vliv rostlin, které odčerpávají ionty dodané v hnojivu (tzv. fyziologické působení) (Černý, 2013).

Dusíkaté vápno např. působí silně alkalicky, protože obsahuje kromě účinné složky CaCN_2 ještě CaO . Kromě tohoto aktuálního pH (neutrálně působící soli silných kyselin a zásad, soli slabých kyselin a silných zásad působí alkalicky, a naopak soli silných kyselin a slabých zásad působí kyselé) zasahuje do pH prostředí i výměna iontů při příjmu živin, a také výdej látek rostlinami do prostředí. Výsledný vliv hnojiv na pH prostředí je součet aktuálního působení i fyziologického vlivu, což se však obtížně hodnotí. U některých hnojiv dochází k postupným přeměnám účinných složek a může nastat změna pH v různých směrech. Močovina sama např. neovlivňuje pH prostředí, po její amonifikaci se prostředí mírně alkalizuje a po následné nitrifikaci okyseluje. Musí se tedy brát výsledné působení, které je i u močoviny kyselé (Vaněk et al., 2012).

Sluijsmans (1970) navrhl vyjadřovat a počítat tzv. Ekvivalent kyselosti či alkality hnojiva. Předpokládá se, že kationty obsažené v hnojivu působí alkalicky, a naopak anionty působí okyselení. Pouze u dusíku se počítá, že výsledně působí vždy kyselé bez ohledu na formu dusíku (bere se však do výpočtu jen polovina hodnoty – jeho 50 % využití, přičemž je rozdílný výpočet pro ornou půdu a travní porost). Příjem amonného N plodinami také přispívá k půdnímu okyselení (Malhi et al., 1998).

Škodlivost kyselých půd a z ní odvozená nutnost její korekce vápněním nespočívá v samotné výši koncentrace iontů (H_3O^+), ale v první řadě v možnosti aktivace hliníku až do toxické koncentrace kationtů hliníku v půdním roztoku. Popřípadě ve zvýšené koncentraci, toxicitě Mn^{2+} . Dále může přicházet v úvahu spojení s deficitem hořčíku a méně již vápníku. Teprve u půd extrémně kyselých pod hodnotu pH 4,2 by vysoká koncentrace [H_3O^+] mohla významněji konkurovat v příjmu živin – kationtů rostlinou (Matula, 2007).

Ekvivalent kyselosti se vyjadřuje v množství Ca (původně CaO), které je zapotřebí k eliminaci vznikající kyselosti, resp. kolik alkalicky působícího Ca poskytuje a to na 100 kg hnojiva, případně na 1 kg N.

Vypočtené hodnoty u nejběžnějších hnojiv jsou uvedeny v tab. 2. Je zřejmé, že okyselování prostředí působí dusíkatá hnojiva, nejvýrazněji síran amonný. V porovnání s běžnými dusíkatými hnojivy (MO, DA a DAM) v přepočtu na 1 kg N je jeho okyselovací efekt třikrát vyšší. Prakticky bez výraznějšího vlivu na pH jsou draselná hnojiva, síran vápenatý a chlorid vápenatý. Pochopitelně alkalicky působí vápenatá (hořečnatá) hnojiva v oxidové, uhličitanové i křemičitanové formě (Vaněk et al., 2012).

Tab. 2 Ekvivalenty kyselosti (-) a zásaditosti (+) hnojiv (Vaněk et al. 2012)

Hnojivo	Ekvivalenty v kg na 100 kg hnojiva		Na 1 kg N připadá kg Ca
	CaO	CaCO ₃	
Dusíkaté vápno	45	112	2,1
Ledek vápenatý	9	+ 22	0,6
NPK (12-19-19)	-9	-22	-0,7
LAV (27)	-11	- 27	-0,4
Dam-390	-21	- 52	-0,7
Amofos	-25	-62	-2
Močovina	-33	- 82	-0,7
DASA(26-135)	-34	-85	-1,3
Síran amonný	-45	-112	-2,1

3.1.2.3. Vápnění

Vápněním ovlivňujeme téměř všechny procesy v půdách (chemické, fyzikálně-chemické a biologické), a tím vytváříme lepší podmínky pro rostliny a příjem ostatních živin. Toto působení se týká především úpravy půdní reakce a eliminace škodlivého působení H^+ a Al^{3+} iontů, rozpustnosti sloučenin, sycení koloidů, a tím utváření, případně udržení struktury půdy a zlepšení pórovitosti (Vaněk et al., 2012).

Vápnění upravuje nepříznivou půdní reakci na požadované rozmezí pH a celkově upravuje aciditní poměry v půdě. Spolurozhoduje o dostupnosti a úrovni využití dalších živin rostlinami, zejména zvyšuje přijatelnost fosforu z půdy i dodaných hnojiv. Vápnění dále zlepšuje půdní strukturu, fyzikální vlastnosti půdy – zakořeňování rostlin, podporuje tvorbu účinného humusu, zlepšuje biologickou aktivitu a podporuje biologickou fixaci dusíku hlízkovými bakteriemi. Vápnění a alkalizace prostředí posilují hygienickou a ekotoxikologickou funkci půdy, imobilizaci kadmia, popřípadě dalších toxických prvků, a ztěžuje jejich přijatelnost rostlinami (Bauma, 2005).

V současné době se pH (KCl) našich půd pohybuje asi na 73 % z celkové výměry v rozmezí 5,6 – 7,2. Při aplikaci vápenatých hnojiv se prakticky nemusí zohledňovat druh plodiny v osevním postupu (výjimku tvoří brambory – strupovitost hlíz), vápní se většinou co nejdříve po sklizni obilnin nejlépe na strniště a za bezvětří. Jednoznačně je prokázáno, že úprava půdní reakce a aplikace vápenatých hnojiv je jedním ze základních principů ekologického přístupu a to nejen v hnojení plodin, ale i v celé soustavě hospodaření na půdě (Neuberg et al., 1995).

Vápnění se provádí periodicky přibližně 2x za osevní postup. Nejvhodnější dobou je pozdní léto a podzim – před podmínkou nebo hlubokou orbou, aby došlo k dobrému promísení s půdou. Louky a pastviny se vápní na podzim po poslední seči nebo spasení.

Potřeba vápnění se udává ve formě páleného vápna – CaO. Při přepočtu na $CaCO_3$, tj. z poměru mol. Hmotnosti 56:100, proto dávky $CaCO_3$ jsou asi 1,8x vyšší.

Podle stupně kyselosti a potřeby vápnění rozlišujeme:

Vápnění udržovací – vápnění (periodické) takovými dávkami vápenatých hnojiv, které jsou potřebné pro udržení pH půdy na požadované úrovni. Vápnění nevyžadují pouze půdy s vyšším obsahem uhličitánů (nad 0,3 %). Udržovací vápnění se začleňuje tak, aby se náročné plodiny na pH dostávaly do půd bezprostředně vyvápněných – např. vojtěška, jetel. Dávka má

odpovídat množství vápníku odčerpaného rostlinami vč. ztrát vymýváním, kyselostí hnojiv a kyselého spadu. Toto množství je různé, ale v průměru se pohybuje kolem 220 kg CaO na hektar ročně, to je přibližně 400 kg vápence. Udržování vápnění je vhodné provádět na pozemcích s nízkým obsahem uhličitánů.

Dávky: těžké půdy až 2 t CaO.ha⁻¹, střední 1,5 t CaO a lehké půdy do 1 t.ha⁻¹. Na těžkých půdách volíme pálené vápno, na středních a zejména lehkých mletý vápenec a strusky (s minimem těžkých kovů).

Vápnění meliorační (ozdravovací) – vápnění velmi kyselých půd, které nedosahují optimálních hodnot pH. U takovýchto půd je toto opatření prvořadou podmínkou zvýšení půdní úrodnosti. Tímto se upraví rovněž chemické a fyzikální vlastnosti, jako důsledek nepříznivého pH. Dávky ani zde nemají překročit 5 – 6 t CaCO₃ a 1,2 – 2,0 t CaO.ha⁻¹. Na středních a těžkých půdách se používá pálené vápno. Meliorační vápnění se dělá často na půdách po odvodnění (půdy kyselé). Používá se také při předvysadbové přípravě vinogradů, sadů a chmelnic. Přitom dávka se přepočítává na hloubku, na kterou se provádí předvysadbová příprava (Hlušek, 2004).

Vápnění půd a úprava půdní reakce (pH půdy) sehrávají z ekologického hlediska ve výživě a hnojení zemědělských plodin mimořádnou úlohu. Vápnění, jako agromeliorační opatření, má mnohostranné působení na půdní prostředí. Kromě úpravy reakce půdy (viz tab. 3) zlepšuje fyzikální i biologické vlastnosti, vytváří předpoklady pro zvýšení účinnosti živin uvolňovaných z organických i minerálních hnojiv, zpřístupňuje fosfor, molybden aj. Vápnění také snižuje riziko jejich vyplavování do vodních zdrojů, zmírňuje škodlivé účinky těžkých kovů (Cd, Ni, Sr, Co, Hg) a omezuje jejich pohyblivost v půdě a příjem rostlinami (Vach et al., 2009).

Tab. 3 Optimální hodnoty pH na zemědělských půdách Druh půdy	Orná půda		Trvalé travní porosty	
	optimální	možné rozmezí	optimální	možné rozmezí
Písčítá	5,5	5,3 – 5,7	-	-
Hlinitopísčítá	6,0	5,8 – 6,2	5,0	4,8 – 5,2
Písčitohlinitá	6,5	6,3 – 6,7	5,0	4,8 – 5,2
Hlinitá až jílovitá	7,0	6,5 – 7,5 _x)	5,0	4,8 – 6,5 _x)

Zdroj: Smatanová, 2014

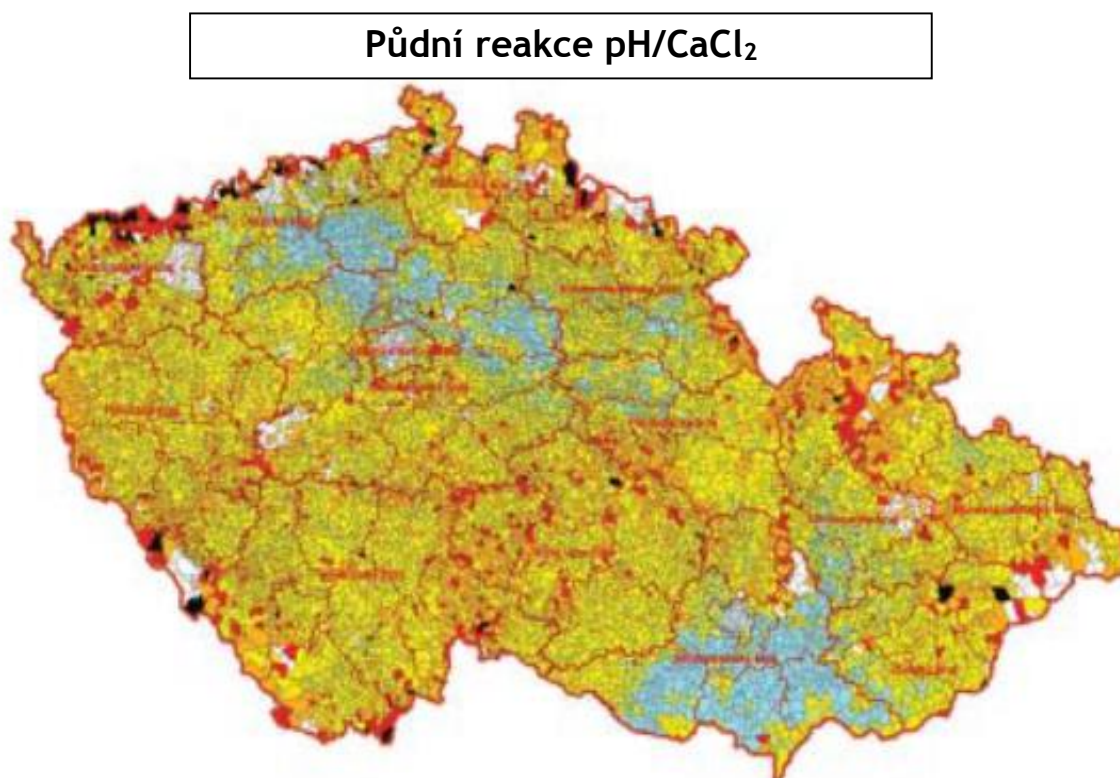
Vápenatá hnojiva se aplikují zásadně odděleně od statkových hnojiv, alespoň s měsíčním odstupem (lépe v jiném roce). Nejlépe je vápnit před jetelovinami a luskovinami. Vápnění se neprovádí k bramborám (riziko strupovitosti) a k většině druhů zeleniny. K odstranění akutního nedostatku vápníku u ovocných druhů (např. hořká pihovitost jabloní) se používá vápenné mléko nebo chlorid vápenatý (Čermák et al., 2007).

3.1.2.4. Kartogramy zásobenosti půd Ca

Pro potřeby celostátní či regionální agrární politiky jsou výsledky AZZP zpracovávány do sumárních statistických přehledů. Tabulky sumářů jsou členěny podle územních celků: ČR, krajů a okresů. Pro každý územně správní celek jsou vypočítány vážené průměry analyticky stanovených hodnot živin, základní statistické zpracování za průběžné šestileté období a vyhodnocení dat podle kritérií zásobenosti. Data jsou členěna podle druhů pozemků (orná půda, chmelnice, vinice, ovocné sady, trvalé travní porosty) a za zemědělskou půdu (Klement, 2012).

Hodnoty agrochemických vlastností zemědělských půd jsou vyjádřeny jako nejčtetnější kategorie zastoupené na katastrálním území. Příklad kartogramů zásoby živin (úroveň pH) podle územně správních celků (obrázek 2) a obsahu Ca na území ČR (obrázek 3) (Klement, 2012).

Obrázek 2: Kartogram pH

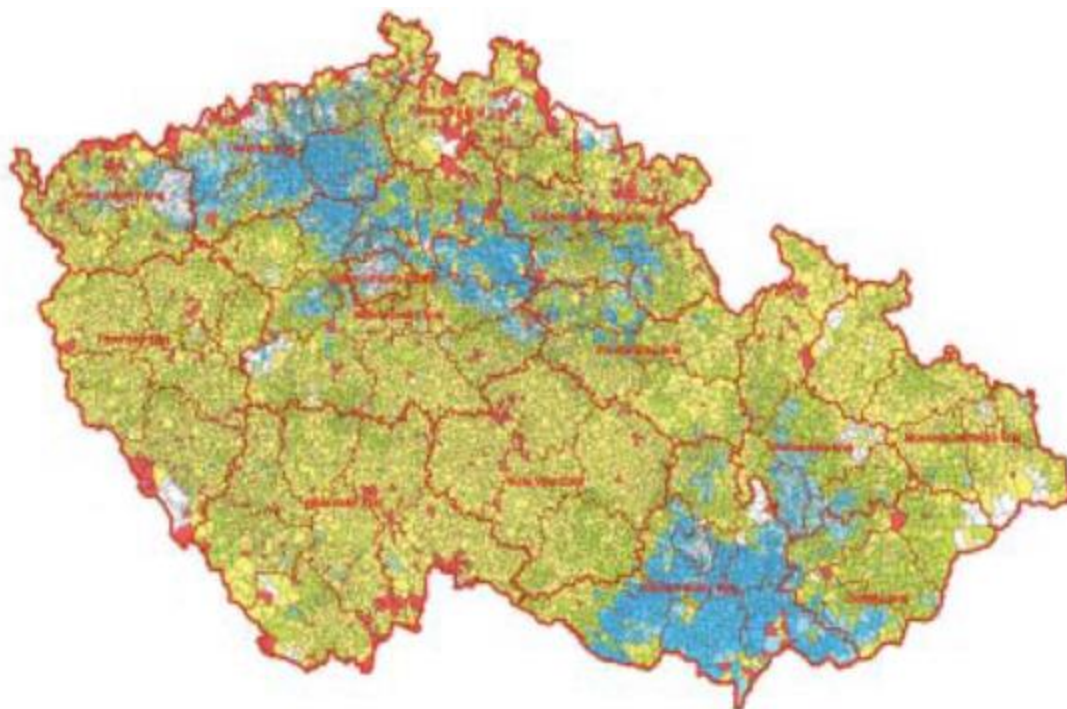


Kategorie půdní reakce

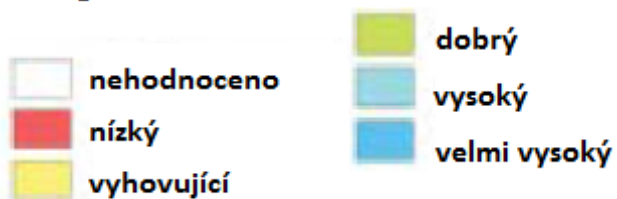


Obrázek 3: Kartogram vápníku

Vápník (Mehlich III)



Kategorie obsahu Ca



3.1.3. Příjem vápníku rostlinami

S ohledem na rozhodující význam Ca pro půdu je mnohdy opomíjena funkce vápníku jako živiny pro rostlinu. Sám Ca působí příznivě na příjem většiny iontů. Proto je přítomnost dostatečného množství Ca v živném prostředí považována za nutnou podmínku harmonické výživy rostlin (Čermák, 1998).

Vápník je nezbytný pro růst, vývoj a dobrý zdravotní stav rostlin. V suchozemských rostlinách se udává obsah vápníku v rozmezí 0,5 – 5 % sušiny při průměru 1 % v sušině. Listy mají vyšší obsah vápníku než kořeny a starší listy obsahují většinou více vápníku než mladší. V rostlině se vyskytuje ve dvou chemických formách, a to ve formě volné a vázané. Volné formy vápníku představují jeho labilní sloučeniny, které jsou schopné reutilizace a aktivně působí v metabolických a růstových procesech rostlin. Vázané formy vápníku jsou převážně imobilní, ve vodě málo rozpustné nebo vůbec nerozpustné. Vodone rozpustné sloučeniny vápníku se ukládají v ontogenicky starších částech rostlin a orgánech v podobě anorganických solí.

Z fyziologického hlediska je vápník významnou stavební složkou pektinových látek buněčných stěn, kde se váže na jejich karboxylové skupiny ve formě pektátů nebo Ca-oxalátu. Vápník je dále obsažen v buněčném jádře, plastidech, mitochondriích a ribosomech. Nedostatek vápníku v rostlině lze charakterizovat jako poruchy růstu, porušení permeability membrány, její destrukci a ztrátu životaschopnosti rostlinných systémů. Při nedostatku vápníku kořeny slabě rostou, stávají se průsvitnými, jsou zploštělé, nevětví se, tvoří kořenové vlášení a v krajních případech zeslizovatí, zčernají a zahnívají (Bauma, 2005).

Příjem Ca rostlinami je závislý i na vnějších podmínkách. Při nižší vlhkosti přijímají rostliny více Ca na jednotku sušiny. Vyšší obsah Ca v pletivech zřejmě souvisí s omezeným růstem (nedochází k výraznějšímu zředovacímu efektu při nárůstu sušiny). Podobně je obsah Ca vyšší i při nižší teplotě. Vnější podmínky proto mohou zasáhnout významně do příjmu Ca a působit s ostatními faktory na výrazně vyšší příjem K než Ca, a tak zapříčinit jeho relativní nedostatek v rostlinách (Vaněk et al., 2012). Obsah vápníku v rostlinách se pohybuje v intervalu 0,1-0,5 % v sušině v závislosti na rostlině (části rostliny, či orgánu) a na půdně – klimatických podmínkách pro pěstování. Přitom požadované množství je u jednoděložných rostlin výrazně nižší než u dvouděložných (Pavlíková et al., 2013).

Významný je vliv Ca na stabilizaci struktur a prostorové uspořádání membrán, jsou tím zajištěny předpoklady pro jejich semipermeabilitu. Důležitá je reakce Ca s plazmalemou, kde je vázán labilně a během ATP ázové reakce reverzibilně poután a uvolňován. Uvolněný Ca je

vázán na organické kyseliny, hlavně šťavelovou, a ukládán ve vakuole. Jeho vyšší obsah v cytosolu není žádoucí, aby nepůsobil nepříznivě na vazbu fosforečnanů, ale též inhibici např. fosforylace apod. Touto cestou iont Ca z membrán unikají, a proto je nutný pravidelný přísun nových iontů Ca, aby byla zachována normální funkce membrán. Vzhledem k tomu, že Ca je ukládán do vakuoly ve formě nerozpustného šťavelanu a také transport Ca je v rostlině značně omezen, není možné jeho opětovné využití (reutilizace). Rostlina tak v podstatě nemá větší množství pohotového Ca a je odkázána na pravidelný přísun nově přijímaného kationtu (Vaněk et al., 2012).

Kopitte et al. (2007) se domnívají, že maximálního růstu rostlin lze dosáhnout pouze tehdy, pokud je v půdě výměnný Ca, koncentrace Mg, K jsou přibližně 65% Ca, 10 % Mg a 5 % K (nazývané ideální půdou).

3.1.3.1. Požadavky rostlin na pH

Obilniny např. potřebují málo Ca, ale odlišují se v nárocích na půdní reakci – ječmen a pšenice nesnášejí nízké hodnoty pH, zatímco žito a oves je vyžadují. Bramborám a lupině se dobře daří na kyselých stanovištích, ale spotřebují velké množství Ca. Spotřeba a odběr Ca rostlinami se proto pohybuje v širokém rozmezí, ale většinou je nižší než u K. Obilniny odčerpávají okolo 20 kg Ca/ha/rok. Více Ca odčerpávají okopaniny a krmné plodiny a velkou spotřebu vykazují víceleté pícniny (vojtěška odčerpá okolo 150 kg Ca/ha/rok) a některé zeleniny, hlavně košťáloviny (Vaněk et al., 2012). Vápník je přijímán rostlinami pasivně kořenovými špičkami jako dvoumocný kationt Ca^{2+} z půdního roztoku, kde je většinou převažujícím kationtem. Jeho pohyblivost rostlinou je nízká. Směrem vzhůru jeho koncentrace v xylému klesá v závislosti na rychlosti transpirace – apikální části (především meristémy, které netranspirují, a proto nemají dostatečnou hnací sílu pro pohyb xylémového toku) jsou pak také prvním místem, kde se projevuje nedostatek Ca (Pavlíková, 2013).

Vápník má mnohostranný význam v procesu metabolismu rostlin. Nedostatek se především projevuje na kořenech; netvoří se kořenové vlásky, kořeny začínají zahnívat. Kořeny trpí nedostatkem tohoto prvku dříve než nadzemní orgány. Vápník přijímá rostlina během celého svého vývoje. Nároky na vápník neodpovídají vždy vztahu k půdní reakci. Například obiloviny potřebují málo vápníku, ale odlišují se v nárocích na pH - ječmen a pšenice nesnášejí nízké hodnoty pH, zatímco oves a žito jsou k nim tolerantní. Naopak bramborám, vřesovi a lupině se daří na kyselejších stanovištích, ale požadují velké množství vápníku (Klement, 2012).

Vápník má dvě základní funkce – stavební a signální, tzv. funkci druhého posla (Maathuis, 2009). Tvoří relativně stabilní, ale reverzibilní propojení makromolekul – tzv. vápníkové můstky, které významně zvyšují pevnost buněčné stěny. Tyto můstky spojují především molekuly pektinů v buněčné stěně či střední lamele. Vápník je vázán na R-COO⁻ skupinu polygalakturonových kyselin (pektinových kyselin) ve více či méně výměnné formě. Vzhledem k tomu, že jsou pektiny z velké části zodpovědné za velikosti pórů v buněčné stěně, a tím ovlivňují také průchod látek prostorem buněčné stěny, je vznik vápenatých můstků velmi důležitý. Současně také ovlivňují pevnost a stabilitu buněčných pletiv (Pavlíková, 2013). Dostatek Ca zajišťuje dobrou elasticitu buněčné blány. Vápník významně ovlivňuje tvorbu a růst kořenů, zvláště kořenového vlášení. Dostatek Ca v pletivech zvyšuje jejich odolnost vůči nepříznivým vlivům, nízkým teplotám při střídání teplot a současně zvyšuje odolnost proti napadení chorobami a škůdci. Nedostatek vápníku v prostředí se projevuje hlavně nepřímo ovlivněním půdních vlastností. Je-li nižší zastoupení Ca v sorpčním komplexu (měl by tvořit 60-80 % celkové sorpční kapacity), sníží se hodnota pH a poklesne obsah Ca v půdním roztoku, čímž se všeobecně zhorší podmínky pro růst rostlin (Vaněk et al., 2007). Projevem nedostatku vápníku v buněčných stěnách je lámání stonku v jejich horních partiích (Pavlíková, 2013). Jak uvádí Marschner (1995), dochází při nedostatku vápníku ke zvýšené respiraci. Jednou z příčin může být transport nízkomolekulárních sloučenin z vakuoly k enzymům v cytoplasmě. Při ošetření pletiv s nedostatkem Ca vápenatými solemi se sníží v následujícím období respirace a zvýší se syntéza proteinů.

3.1.4. Metody stanovení obsahu přístupných živin v půdě

Přes vcelku dlouhou dobu historie agrochemického zkoušení půd (AZP) nebyly ještě plně naplněny počáteční předpoklady přínosu testování půd. Většina současných metod půdních testů má své kořeny v období po první světové válce, tj. v počátcích intenzivnějšího používání průmyslových hnojiv, kdy rovněž citlivost analytických metod byla nižší. Tento nedostatek byl vyrovnáván větší razantností extrakce živin z půdy, která se traduje až dodnes, např. i u nás používaného postupu extrakce Mehlich 3. Významnou chybou v počátcích vzniku testování půd bylo, že vytyčený cíl detekce zásoby „přijatelných živin“ pro rostliny se stal v předstihu termínem, aniž toto „přání“ bylo půdními testy plně realizováno. Pozapomnělo se na podstatnou podmínku, že funkční agronomická interpretace není možná, když laboratorní výsledek rozboru půdy není v dobrém souladu se skutečnou biologickou osvojitelností živin. Jinými slovy, ne každý půdní test může poskytovat objektivní informace o skutečné

přijatelnosti živin pro rostliny. Dobrý soulad mezi hodnotami půdního testu a biologickou dostupností živin je základním předpokladem smysluplnosti dalšího kalibračního výzkumu agronomické interpretace půdního testu pro potřeby racionálního hnojení. Předpokladem správného rozhodování jsou objektivní informace, pokud možno v předstihu před vlastním výrobním procesem. V oblasti výživy rostlin se jedná o diagnostiku. Preventivní informace pro případné korekce hnojení půdy před vlastní vegetací plodiny mohou poskytovat vlastně jen půdní testy (agrochemické rozbory půd) (Matula, 2007). Raj (1998) považuje testování půd za pozoruhodnou a jedinečnou aktivitu, která syntetizuje rozsáhlé množství výzkumných informací a vědeckých poznatků pro praktické potřeby identifikace a předcházení většiny disproporcí ve výživě plodin na konkrétním pozemku. Testování půd poskytuje zemědělcům nejvíce prakticky využitelných informací (Matula, 2007).

Výzvou dneška je (Peck, Soltanpour 1990; Houbá et al 1994; Jones 1998) vybrat z kolekce půdních extrakčních testů metody, které umožňují současnou extrakci více živin, aby mohly být plně využívány předností mnoha prvkových analyzátorů, například ICP. Důležitou podmínkou však je, aby půdní test podchycoval obdobný zdroj živin, který je v dobré shodě s reálnou dostupností pro rostliny. V roce 1987–1988 proběhla výrazná změna původní perkolační extrakce půdního vzorku 1M octanem amonným na rovnovážný postup extrakce půdního vzorku 0,5M octanem amonným s přidávkou fluoridu amonného. Byla doplněna diagnostika fosforu a upraven přístup ke stanovení potřeby vápnění. Ve zkratce je tento postup nyní označován KVK-UF z důvodu návaznosti na předchozí živelně vzniklý termín. Ve standardní podobě půdního testu KVK-UF se v laboratoři v půdním vzorku stanoví: pH (0,2M KCl), hodnota KVK a živiny: K, Mg, Ca, Mn a P; existuje možnost rozšíření o síru a bór. U půdního testu KVK-UF je předně kladen důraz na užitnou hodnotu informace pro pěstitele před snadností, výhodností pro laboratoř (Matula, 2007).

Prokázání přednosti jednotlivého půdního testu v polních podmínkách je zdoluhavý a nákladný proces z důvodu dopadu proměnlivých a těžko kontrolovatelných faktorů stanoviště a jednotlivých ročníků. Nejrychlejší metodou korelačního výzkumu jsou vegetační testy s větším souborem rozdílných půd za kontrolovaných vegetačních podmínek kultivace testovací rostliny, kde dopad nekontrolovatelných, proměnných faktorů může být eliminován (Dahnke et al., 1990).

Mehlich v roce 1978 prezentoval k hodnocení zásoby fosforu, draslíku, hořčíku, vápníku, sodíku, manganu a zinku extrakční půdní test, který je známý pod termínem Mehlich 2. V roce 1984 byla prezentována jeho modifikace pod termínem Mehlich 3, která vedle snížení korozivnosti činidla (záměnou HCl za HNO₃) (Matula, 2007).

3.2. Historie dlouhodobých výživářských pokusů

3.2.1. Dlouhodobé pokusy ve světě

Podrobný výčet DLP ve světě by byl velmi obsáhlý, jedná se o nejrůznější typy pokusů a s pokusy jsou zastoupeny všechny světadíly (kromě Antarktidy). Vyskytují se ve všech zemích s minulostí anglických kolonií. V Africe je 30 DLP (nejstarší založen 1912), v Asii 41, nejstarší v Indii (1909), Japonsku (1930), Číně (1974). V Austrálii a na Novém Zélandě je to 30 DLP, nejstarší 1914. V Kanadě a USA to je 56 DLP, nejstarší jsou Morrow Plots (1876) a známý Sanborn fields od roku 1888, 29 DLP je starších 50 ti let, 6 starších více než 100 let. Ve střední a jižní Americe je 17 DLP, nejstarší v Argentině z roku 1941. Nelze vynechat nejznámější DLP v Rothamstedu (Broadbalk - 1843). Ve Velké Británii je ještě dalších 8 DLP (5 starších 100 let). Další významnou zemí je Německo, 23 DLP, 5 starších 100 let (Halle, Bad Lauchstadt, Gottingen, Bonn), 9 starších 50 let. V Evropě je dále 37 DLP. Vybrané nejstarší pokusy v evropských zemích uvádí (tab. 4). Nejstarší DLP je ve Francii 1875. Zvláštní zemí je Rusko, zde bylo 25 DLP, 22 by bylo starších 50 let a 2 starší 100 let. Nyní již nepokračují (Čermák, 2012).

Tab. 4: Nejstarší pokusy evropských zemí

Austrálie	Vídeň IOSDV	1986
Belgie	Dlouhodobé oblasti monitorování půdy:	1982
Česká republika	Praha - Ruzyně	1955
Estonsko	IOSDV Tartu	1989
Finsko	Straw hnojení pole experiment, Jokioinen	1979
Francie	Essai Deherain, Versailles, Grignon	1875
Německo	Halle / S. Eternal Rye	1878
Maďarsko	Pět kurzů střídání plodin na poli experiment Keszthely	1963
Island	Zbytkové účinky P hnojiva Akureyri	1938
Italy	DAAPV dlouhodobá rotace, Padova	1962
Norsko	Dlouhodobé hnojivo exper. Møystad	1922
Polsko	Dlouhodobé statické hnojivo experiment 1, Skierniewice	1921
Rep. Srbská	IOSDV Novi Sad	1984
Rumunsko	Dlouhodobá vápnění experiment, Livada	1961
Slovinsko	IOSDV Rakičan	1992
Španělsko	IOSDV Madrid	1985
Švédsko	Ultuna půdní organické látky rám. experiment	1956
Švýcarsko	P11 – systémy organického hnojení, Nyon	1963
Turecko	Organický experiment Çukurova	1996
Velká Británie	Broadbalk, Rothamsted	1843

Zdroj: http://eagri.cz/public/web/file/216018/_07_Cermak__VURV.pdf

3.2.2. Počátky zakládání dlouhodobých výživářských pokusů v ČR

V současném globalizovaném modelu zemědělské výroby, ve kterém se vytrácí vazby na původ výrobku, jeho sezónní dostupnost a charakteristické regionální znaky kvality, se také podceňuje smysl všestranného zemědělského zkušebnictví jako metody neustálého zlepšování místně orientované produkce. A přece to byl právě rozvoj zemědělského zkušebnictví v průběhu devatenáctého století, který otevřel cestu technologiím podmiňujícím bezpečnost potravinářské produkce dnešní doby. Základy zemědělského zkušebnictví jsou dávné: velkostatky šlechtické i církevní, obzvláště pak kláštery a také svobodní sedláci získávali a předávali řadu praktických zkušeností s pěstováním rostlin, vyhledáváním a množením přirozeně vznikajících odrůd, hnojením půdy i výživou hospodářských zvířat. Vědecké základy a používání exaktních metod byly pak položeny velkými osobnostmi přírodovědy devatenáctého století (Justus von Liebig:1803-1873, Johann Gregor Mendel: 1822:1884) a zemědělské zkušebnictví se tak stalo základnou vznikajícího aplikovaného výzkumu. Státní a zemské struktury, které se organizačně podílely na vzniku výzkumných a zkušebních stanic využívaly tyto kapacity ke kontrole falšování tak významných a nákladných vstupů jako jsou osiva, krmiva a hnojiva a tím byl postupně založen také základ státní odborné zemědělské kontroly (Beránková, 2012).

Do poloviny šedesátých let se zakládaly přesné polní výživářské pokusy na provozních plochách zemědělských podniků. Za účelem zpřesnění hodnocení výsledků agrochemického zkoušení půd byly v letech 1964 založeny polní pokusy se stupňovanými dávkami fosforu a draslíku. V průběhu čtyřletého období byl na 25 lokalitách v řepařské a bramborářské oblasti sledován vliv hnojení na výnosy pokusných plodin a na vývoj zásobenosti půdy přístupným fosforem a draslíkem. Zásadní byla dohoda a spolupráce se zemědělskými podniky a vytipování vhodného umístění pozemku a půdních vlastností odpovídající účelu zkoušení. Poloha byla fixována alespoň dvěma odměrnými body v terénu, (10 x 10 m), rozměr sklizňové parcely 7 x 7 m. Zemědělský podnik zajišťoval i na pokusné ploše běžné agrotechnické zásahy, které propouštěla metodika pokusu. Pokusnické práce prováděli pracovníci Referátu výživy rostlin (RVR) ve většině případů sami, při pracnějších zásazích (hnojení parcel, sklizeň) byli pod jejich vedením využíváni zaměstnanci zemědělského podniku. Například sklizeň obilnin probíhala ručním pokosením parcel a po vyschnutí obilí v panácích následoval výmlat parcelní mlátičkou, která byla převážena na nákladním automobilu na jednotlivá pokusná místa. Tento systém vedení pokusů byl velmi pracný. Hlavní nevýhodou tohoto systému však byly chyby vznikající

při agrotechnických úkonech na pozemku, při nichž nebylo pokusné místo vynecháno. Například docházelo k jednotnému vyhnojení pokusu, nebo přihnojení za vegetace, provozní dávkou stanovenou pro pozemek. Při smykování pozemku, bez vynechání pokusné plochy, byla přesouvána zemina mezi různě vyhnojenými parcelami apod. Podle závažnosti těchto zásahů musel být pokus na dané vegetační období z hodnocení vyloučen nebo zrušen úplně (Trávník, 2012).

Historie aktivit výživářských pokusů v ÚKZÚZ sahá do poválečného období, kdy snaha o zvýšení produktivity zemědělství vedla k rozvoji zkušebnictví, zejména v oblasti různých způsobů obdělávání půdy a hnojení. V roce 1972 ÚKZÚZ započal se zakládáním a prováděním dlouhodobého (stacionárního) přesného polního pokusu na zkušebních stanicích, jehož výstupem jsou poznatky o stupňovaných hladinách hnojení, vlivu organických a minerálních hnojiv na výnosy, kvalitu produkce a půdní vlastnosti, bilancování dodaných a odčerpaných živin v dlouhodobém časovém horizontu 40 let (Beránková, 2012).

V roce 1972 bylo tedy založeno prvních sedm dlouhodobých pokusů na stanicích Otice, Sedlec, Uherský Ostroh, Žatec, Trutnov, Horažďovice a Ždánice. Postupně od roku 1974 do roku 1981 přibýlo deset dalších, na stanicích Pustě Jakartice Chrastava, Jaroměřice, Krásné Údolí, Lípa, Libějovice, Měšice, Staňkov, Svitavy a Vysoká. V průběhu tohoto období však musely být tři pokusy zrušeny (Otice, Trutnov, Ždánice) a pokus v Horažďovicích přemístěn na jiný pozemek. V roce 1990 nově založen pokus na stanici ve Věrovanech a zrušen pokus v Měšicích. V roce 2008 byl zrušen pokus v Sedleci z důvodu navrácení pozemků původnímu majiteli. V roce 2010 byla zrušena zkušební stanice v Libějovicích a tím zde zanikly i dlouhodobé pokusy (Trávník, 2012).

3.2.3. Současnost zakládání dlouhodobých pokusů

Výsledky stacionárních pokusů nabývají na významu zvláště v současné době, kdy se nízká intenzita hnojení a vápnění markantně projevuje zhoršováním zásoby přístupných živin v půdě a zvyšováním podílu kyselých půd. Proto je třeba zhodnotit všechny výsledky a poznatky, prokazující účelnou potřebu hnojení a předejít tak negativním změnám, které by mohly dlouhodobě poznamenat půdní úrodnost (Beránková, 2012).

Stanoviště reprezentují rozdílné půdně klimatické podmínky České republiky (viz tab. 5). Pokusy jsou v současné době vedeny v řepařské oblasti v Žatci, Pustých Jakarticích, ve Věrovanech a Uherském Ostrohu (tab. 6), bramborářskou oblast zastupuje pokus na Vysoké u

Příbramě, Horažďovicích, Staňkově, Chrastavě, Hradci u Svitav, Lípě, Jaroměřicích na Rokytou (tab. 7).

Tab. 6: Pokusná místa ve výrobní oblasti řepařské

stanoviště	rok založení	nadmoř. výška (m)	průměrné roční		půdní typ	půdní druh
			srážky (mm)	teploty (°C)		
P. Jakartice (PJA)	1979	290	650	8,0	luzizem	h
Uh. Ostroh (UHO)	1972	196	551	9,2	luzizem	h
Věrovany (VER)	1990	207	563	8,5	černozem	h
Žatec (ZAT)	1972	247	451	8,3	černozem	hj

Tab. 7: Pokusná místa ve výrobní oblasti bramborářské

stanoviště	rok založení	nadmoř. výška (m)	průměrné roční		půdní typ	půdní druh
			srážky (mm)	teplota (°C)		
Horažďovice (HOR)	1978	472	573	7,4	kambizem	hp
Chrastava (CHT)	1977	345	798	7,1	luzizem	hp
Jaroměřice (JAR)	1975	425	535	7,5	luzizem	h
Lípa (LIP)	1974	505	632	7,7	kambizem	ph
Staňkov (STV)	1981	370	511	7,8	luzizem	h
Svitavy (HRA)	1981	460	624	6,5	luzizem	ph
Vysoká (VYS)	1983	595	655	7,4	pseudoglej	h

Pokus je uspořádán do 12 kombinací, přičemž každá má šest opakování (tab. 8), což je výhodné z pohledu vyloučení variability a při hodnocení výsledků. Stacionární pokus má osmihonný sled s 50 % zastoupením obilnin, 25 % okopanin a 25 % jetelovin (Beránková, 2012). Dlouhodobá polní zkouška postupuje závislost mezi stupňovanou intenzitou hnojení, dosahovanou výrobností osevního postupu a změnami základních agrochemických vlastností půd. Na základě dodaných a odčerpaných živin je vypočítána bilance živin, hodnocen vliv použitých hnojiv na kvalitu produkce a obsah organické hmoty v půdě.

Stacionární zkoušky byly na jednotlivých stanicích zakládány postupně. V roce 2012 se výživářské pokusy prováděly na 12 lokalitách (obr. 3). První sledování započalo v roce 1972 v Uherském Ostrohu a Žatci, nejmladší zkouška byla založena v roce 1990 ve Věrovanech. První dva osevní sledy byly devítihonné, další osmihonné (Smatanová, 2014).

Díky 40letému období sběru dat výsledků analýz půd a rostlin je možné v různých intervalech hodnotit změny v zásobenosti půdy kombinací po celé období absolutně nehnojených, hnojených výhradně hnojem či kombinací se stupňovanou hladinou živin a od nízké přes střední až po vysokou intenzitu hnojení. Organicky se hnojí hnojem k okopaninám,

vápní se podle potřeby, na základě rozboru půdy. V řepařské oblasti jsou dosahovány vlivem výrazně lepších půdních podmínek vyšší výnosy, z hlediska výrobnosti je postačující nízká až střední hladina hnojení. V bramborářské oblasti obecně na méně úrodných půdách je pozorována podstatně vyšší účinnost dodaných živin, přičemž optimální je střední, případně vysoká hladina hnojení (Beránková, 2012).

Obrázek 3: Stanoviště ÚKZÚZ



Zdroj : ÚKZÚZ, 2012

4. MATERIÁL A METODY

4.1. Klimatické podmínky

Pro posouzení klimatických podmínek více než čtyřicetiletého období sledování byly pro řepařskou a bramborářskou oblast zpracovány údaje o průměrné roční teplotě, ročním úhrnu srážek a vypočítán Langův dešťový faktor, který vyjadřuje podmínky přirozeného zavlažení krajiny, a to vztahem mezi atmosférickými srážkami a teplotou vzduchu.

Z údajů je patrné (tab. 8), že průměrná teplota sledovaných ročníků v řepařské oblasti se pohybovala v rozpětí 7,3 až 10,2 °C, roční úhrn srážek byl od 451 do 787 mm a Langův dešťový faktor vykázal hodnoty v rozpětí 48,8 až 93,6. Většina vyšších průměrných teplot nad 9 °C byla zaznamenána v posledním desetiletí a od roku 1995 se v této oblasti vyskytovaly i vyšší úhrny srážek, vesměs nad 600 mm.

Bramborářskou výrobní oblast je možno charakterizovat rozpětím průměrných ročních teplot od 6,3 do 9,1 °C, srážkami od 520 do 855 mm a Langovým dešťovým faktorem od 61,9 do 113,5. Vyšší průměrné roční teploty nad 8 °C se vyskytovaly převážně v druhé polovině sledovaného čtyřicetiletého období, avšak vyšší úhrny srážek, nad 700 mm, se vyskytovaly nejčastěji v prvním, ale i v posledním desetiletí sledování. Svědčí o tom i častěji se vyskytující vysoké hodnoty Langova dešťového faktoru, nad 100 v roce 2010. Naproti tomu pro rok 2012 byly charakteristické vyšší teploty a nižší úhrn srážek, zejména v BVO (Smatanová, 2014).

4.2. Půdní podmínky a pH

Pokusná místa, na kterých je dlouhodobý pokus prováděn jsou zastoupena půdním typem luvizem (CHT, JAR, HRA, PJA, STV, UHO), kambizem (HOR, LIP), černozem (VER, ZAT) a pseudoglej (VYS).

Geologický podklad pokusných stanovišť tvoří různé typy hornin. Na několika lokalitách jsou zastoupeny různé horniny Českého masivu, z hlediska chronostratigrafie náležící k starohorám až prvohorám. Na lokalitě Lípa tvoří podloží granit. Metamorfované horniny - biotitické ruly jsou přítomny na lokalitách Horažďovice a Jaroměřice. Geologický podklad lokality Staňkov tvoří fylitické břidlice a droby. Kvarterní deluviální sedimenty lokality Vysoká mají také svůj původ v drobách, arkózách a pískovcích ostrovní zóny středočeského plutonu Českého masivu.

Druhohorní křídový vápnito-jílovitý glaukonitický pískovec české křídové pánve tvoří geologický podklad lokality Svitavy. Lokalita Uherský Ostroh se nachází na třetihorních neogenních prachovitých jílech, píscích a místy štěrcích Vídeňské pánve. Neogenními štěrky, písčité štěrky a písky s vložkami jílu se v kontaktu s rulou vyskytují také na lokalitě Jaroměřice. Lokality Věřovany, Žatec, Pusté Jakartice a Chrastava se nachází na spraších a sprašových hlínách (Smatanová, 2014).

Mineralogie půd byla studována metodou RTG difrakční analýzy práškových celohorninových vzorků i separovaných vzorků jílové frakce (Madaras et al., 2014). Dominantním minerálem je ve všech půdách křemen (tab. 9). Dále jsou poměrně hojně zastoupeny živce, které jsou stejně jako slídy relativně početnější v půdách vzniklých z hornin Českého masivu. V obsahu jílových a smíšeně-vrstevných minerálů jsou mezi půdami značné rozdíly, které mají přímou vazbu na texturu půd.

Tab. 9: Odhad relativního zastoupení jednotlivých minerálních fází

stano viště	křemen	živce		min sk. slíd	K+C (+V?)	K:C (+V?)	smíšeně vrstevnaté phyllosilikáty		G nebo H	amfiboly
		plagioklasy	K-živce							
HOR	+++++	+++ /++++	++ /+++	++ /+++	++	C >~ K	++ /+++	C/S + I/S?	?	++ /+++
HRA	+++++	+ /++	++	>+	+	K >~ C	+	I/S	?	
CHT	+++++	++ /+++	++ /+++	++	++	C >~ K	+ /++	I/S	G?	
JAR	+++++	+++	+++	++ /+++	++ /+++	C >~ K	++ /+++	I/S	G?	
LIP	+++++	+++	+++	++ /+++	++ /+++	C >~ K	++ /+++	C/S + I/S?		
STV	+++++	+++	+++ /++++	+ /++	+ /++	K > C	+ /++	I/S + C/S?	?	++ (px+ amf)
UHO	+++++	++ /+++	++	+	+	K	++ /+++	I/S		
VER	+++++	++ /+++	+++	++	+ /++	K >~ C	++	I/S		++
VYS	+++++	+++	+ /++	++	++	K >~ C	+ /++	C/S		
ZAT	+++++	++	++	+ /++	++	K	++	I/S	+(G?)	

Označení K - kaolinit, C - chlorit, V - vermikulit, I/S - smíšeně-vrstevný illit/smektit, C/S - smíšeněvrstevný chlorit/smektit, H - hematit, G - goethit, amf - min. sk. amfibolů, px - min. sk. pyroxenů, ?kdy - není možné spolehlivě identifikovat pomocí RTG difrakčních analýz, jestliže je minerál přítomen, pak ve velmi malém množství (Smatanová, 2014).

4.3. Dávky živin

Dávky živin v minerálních hnojivech byly stanoveny podle průměrných výnosů jednotlivých plodin, při dosahování střední výnosové úrovně a udržení „dobrého“ obsahu přístupné živiny v půdě – a průměrného odběru živin sklizní podle (Neuberg, 1990).

Vápní se vápencem na všech kombinacích 2. Chlévský hnůj, 11. N3P3K3 s výjimkou kombinace 1. Nehnojeno v obou oblastech pěstování (tab. 10, 11) a kombinace 12. N3P3K3. Dávky mletého vápence se stanovují podle kritérií pro AZP (tab. 12) tj. podle průměrné hodnoty pH kombinace (zjištěnou v posledním roce před vápněním) a podle druhu půdy.

Tab. 12: Potřeba vápnění - orná půda

lehká půda		vápenec	střední půda		vápenec	těžká půda		vápenec
pH	t CaO.ha ⁻¹	v t.ha ⁻¹	pH	t CaO.ha ⁻¹	v t.ha ⁻¹	pH	t CaO.ha ⁻¹	v t.ha ⁻¹
do 4,5	1,20	2,40	do 4,5	1,50	3,0	do 4,5	1,70	3,40
4,6 - 5,0	0,80	1,60	4,6 - 5,0	1,00	2,0	4,6 - 5,0	1,25	2,50
5,1 - 5,5	0,60	1,20	5,1 - 5,5	0,70	1,4	5,1 - 5,5	0,85	1,70
5,6 - 5,7	0,30	0,60	5,6 - 6,0	0,40	0,8	5,6 - 6,0	0,50	1,00
			6,1 - 6,5	0,20	0,4	6,1 - 6,5	0,25	0,50
						6,6 - 6,7	0,20	0,40

Zdroj: Dávky živin, Metodický pokyn č.16/SÚK

Dávky t CaO/ha uvedené v tabulce jsou roční normativy. Normativní množství t CaO/ha se přepočte na použitý druh vápenatého hnojiva a vynásobí se počtem let cyklu vápnění, což je obvykle tři až pět let, dle vhodnosti vstupu vápnění do osevního sledu.

Tab. 10: Dávky živin v kg č. ž./ha - výrobní oblast řepařská

rok/plodina	kg č.ž.ha	termín hnojení	kombinace			
			1 _{nehnojeno}	2 _{chl.hn.}	11 _{N3P3K3}	12 _{N3P3K3 bez Ca}
2006 oves s pods. vojtěšky	P ₂ O ₅	podzim 2005	0	0	240	120
	K ₂ O	podzim 2005	0	0	320	160
	N	základní - jaro 2006	0	0	80	60
2007 vojtěška	P ₂ O ₅	jaro 2009	0	0	0	0
	K ₂ O	jaro 2009	0	0	0	0
	N	jaro 2009	0	0	0	0
	vápnění	podzim 2007 (t/ha)	0	dávka podle pH a zrnitostního složení půdy (dávka na 4 roky)		
2008 ozimá pšenice	P ₂ O ₅	podzim 2007	0	0	120	60
	K ₂ O	podzim 2007	0	0	160	80
	N	základní - podzim 2007	0	0	40	30
	N	regenerační - jaro 2008	0	0	40	30
	N	produkční - 2008	0	0	40	30
2009 rané brambory	chl.hnůj	podzim 2008 (t/ha)	0	40	40	40
	P ₂ O ₅	podzim 2008	0	0	240	60
	K ₂ O	podzim 2008	0	0	320	80
	N	jaro 2009	0	0	160	120
2010 pšenice ozimá	P ₂ O ₅	podzim 2009	0	0	0	60
	K ₂ O	podzim 2009	0	0	0	80
	N	podzim 2009	0	0	0	0
	N	regenerační - jaro 2010	0	0	60	45
	N	produkční 2010	0	0	60	45
vápnění	podzim 2010 (t/ha)	0	dávka podle pH a zrnitostního složení půdy (dávka na 4 roky)			
2011 ječmen jarní	P ₂ O ₅	podzim 2010	0	0	120	60
	K ₂ O	podzim 2010	0	0	160	80
	N	jaro 2011	0	0	80	80
2012 cukrovka	chl.hnůj	podzim 2011(t/ha)	0	40	40	40
	P ₂ O ₅	podzim 2011	0	0	240	60
	K ₂ O	podzim 2011	0	0	320	80
	N	jaro 2012	0	0	120	90
2013 ječmen jarní	P ₂ O ₅	podzim 2012	0	0	0	60
	K ₂ O	podzim 2012	0	0	0	80
	N	jaro 2013	0	0	60	45

Tab. 11: Dávky živin v kg č. ž./ha -výrobní oblast bramborářská

rok/ plodina	kg č.ž ha	termín hnojení	kombinace			
			1 _{nehnojeno}	2 _{chl.hn.}	11 _{N3P3K3}	12 _{N3P3K3 bez Ca}
2006 oves pods. jetele	P ₂ O ₅	podzim 2005	0	0	240	240
	K ₂ O	podzim 2005	0	0	320	320
	N	základní-jaro 2006	0	0	80	80
2007 jetel	P ₂ O ₅	jaro 2007	0	0	0	0
	K ₂ O	jaro 2007	0	0	0	0
	N	jaro 2007	0	0	0	0
	vápnění	podzim 2007 (t/ha)	0	dávka podle pH a zrnitostního složení půdy (dávka na 4 roky)		
2008 ozimá pšenice	P ₂ O ₅	podzim 2007	0	0	120	120
	K ₂ O	podzim 2007	0	0	160	160
	N	základ.-podz. 2007	0	0	0	0
	N	regenerač-jaro 2008	0	0	60	60
	N	produkční - 2008	0	0	60	60
2009 rané brambory	chl.hnůj	podzim 2008 (t/ha)	0	40	40	40
	P ₂ O ₅	podzim 2008	0	0	240	240
	K ₂ O	podzim 2008	0	0	320	320
	N	jaro 2009	0	0	160	160
2010 pšenice ozimá	P ₂ O ₅	jaro 2009	0	0	0	0
	K ₂ O	jaro 2009	0	0	0	0
	N	základ-podz. 2009	0	0	0	0
	N	regenerač-jaro 2010	0	0	60	60
	N	produkční 2010	0	0	60	60
vápnění	podzim 2010 (t/ha)	0	dávka podle pH a zrnitostního složení půdy (dávka na 4 roky)			
2011 ječmen jarní	P ₂ O ₅	jaro 2011	0	0	120	120
	K ₂ O	jaro 2011	0	0	160	160
	N	jaro 2011	0	0	80	80
2012 brambory	chl.hnůj	podzim 2011(t/ha)	0	40	40	40
	P ₂ O ₅	podzim 2011	0	0	240	240
	K ₂ O	podzim 2011	0	0	320	320
	N	jaro 2012	0	0	160	160
2013 ječmen jarní	P ₂ O ₅	jaro 2013	0	0	0	0
	K ₂ O	jaro 2013	0	0	0	0
	N	jaro 2013	0	0	60	60

4.4. Osevní postupy

Dlouhodobé polní pokusy na jednotlivých stanovištích jsou postupně zakládány již od roku 1972 do roku 1990. Vápnění bylo prováděno ve tři až pětiletých cyklech (tab. 13) po obilovinách, bramborách nebo jeteli. Dávky mletého vápence odpovídaly potřebě vápnění vyplývající z rozboru půdy podle kritérií AZZP.

Tab. 13: Počty cyklů

Komb.	plodina	6.	5.	4.	3.	2.	1.
1	oves vojt/jet	2014	2006	1998	1990	1982	1974
2	vojt/jetel	2015vápnění	2007vápnění	1999vápnění	1991vápnění	1983vápnění	1975
3	pšenice ozimá	2016	2008	2000	1992	1984	1976
4	brambory	2017	2009	2001	1993	1985	1977
5	pšenice ozimá	2018vápnění	2010vápnění	2002vápnění	1994vápnění	1986	1978
6	ječmen jarní	2019	2011	2003	1995	1987	1979vápnění
7	cukrovka/bramb	2020	2012	2004	1996	1988vápnění	1980
8	ječmen jarní	2021	2013	2005	1997	1989	1981

Osevní postup je v obou výrobních typech osmihonný s 50 % zastoupením obilovin.

Poslední osevní sled 2006 až 2013 (tab. 12) je shodný s předešlým, včetně vápnění.

Tab. 12: Osevní postup 2006 až 2013

rok	výrobní oblast řepařská	výrobní oblast bramborářská
2006	oves (Neklan) - vojtěška (Europe)	oves – jetel (Start)
2007	vojtěška (Europe) váp.	jetel (Start) váp.
2008	pšenice ozimá (Bohemia)	pšenice ozimá (Bohemia)
2009	brambory rané (Adéla)	brambory rané (Adéla)
2010	pšenice ozimá (Cubus) váp.	pšenice ozimá (Cubus) váp.
2011	ječmen jarní (Sebastian)	ječmen jarní (Sebastian)
2012	cukrovka (Danube)	brambory (Adéla)
2013	ječmen jarní (Sebastian)	ječmen jarní (Sebastian)

4.5. Odběry půdních vzorků

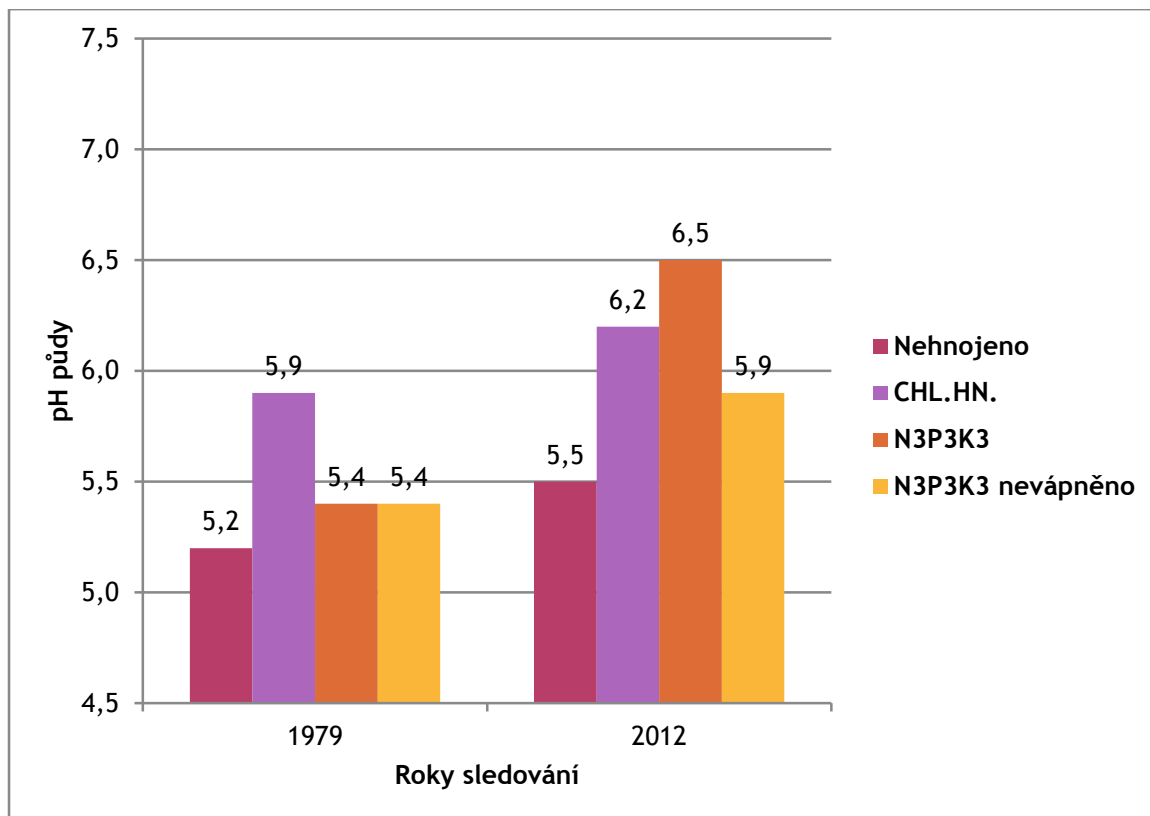
Vzorky se odebírají sondovací tyčí na odběr půdních vzorků pro AZZP. Jeden vzorek tvoří 30 dílčích vpichů, které plošně pokrývají dílec, pokud není prováděcí metodikou příslušné zkoušky a aktuálním přehledem analýz předepsaná jiná hmotnost. Vzorkuje se z ornice, do hloubky maximálně do 30 cm. Při odběru podle kombinací se počet vpichů rozdělí na jednotlivá opakování. Z odběru se vynechává plocha pěšinek. Úprava půdních vzorků: odebraný vzorek se rozprostře k volnému usušení na vzduchu a odstraní se z něj skelet a rostlinné zbytky. Ještě za vlhka se případně ručně rozdrobí hutnější částice. Po usušení se vzorek uloží do označených dostatečně pevných papírových sáčků, označí se štítkem a uloží se do PVC sáčku. Následně se odešle do určené laboratoře. Vzorek musí mít hmotnost předepsanou přehledem odběrů vzorků pro příslušnou zkoušku. Pokud je na stanici k dispozici půdní prosévačka, je vhodné vzorky půdy upravit.

5. VÝSLEDKY

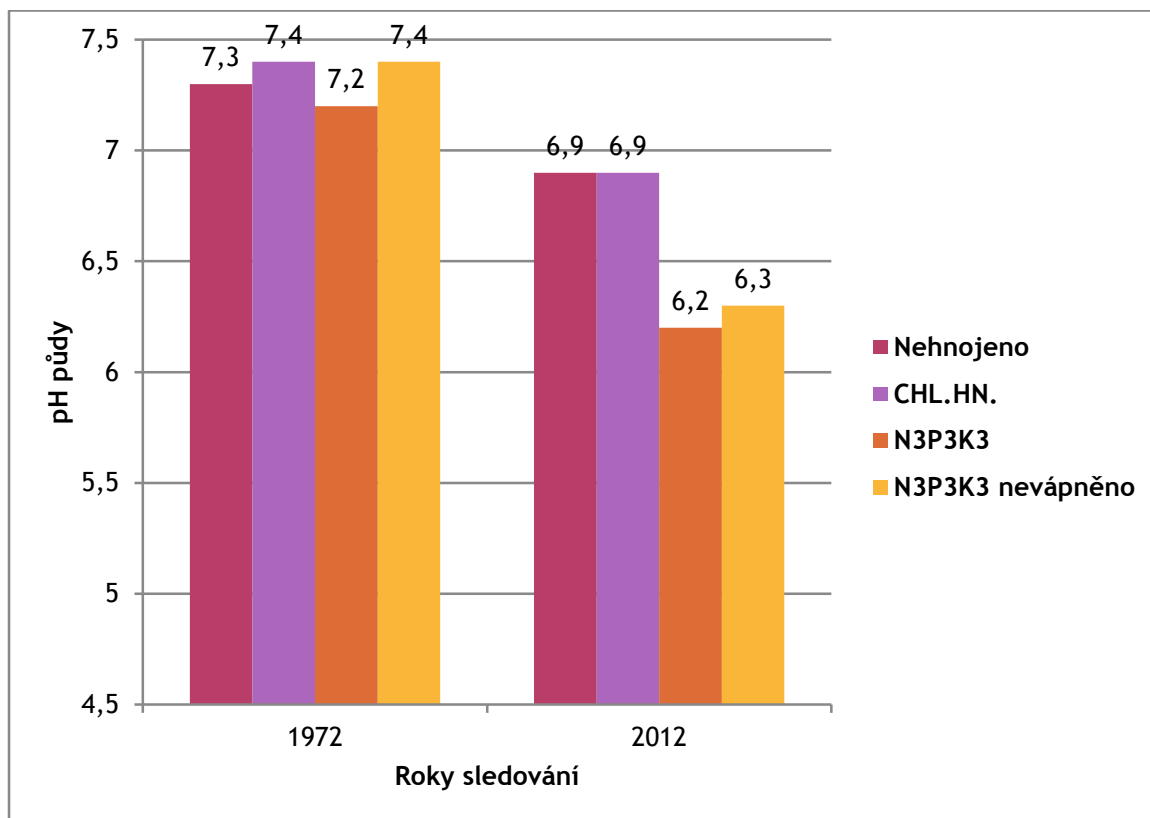
5.1. pH půdy řepářských výrobních oblastí

Účinnost vápnění byla hodnocena na stanovištích Pusté Jakartice, Uherský Ostroh, Věrovany, Žatec v řepářské oblasti, kde je zařazena kombinace 0 (nehnojená), 2 (chlévký hnůj), bez vápnění 12 (N3P3K3), která je v porovnání s vápněnou a stejnou úrovní hnojení kombinací 11 (N3P3K3). Hodnoty pH/KCl z odběrů vzorků po sklizni plodin na začátku sledování (dle založení) a na konci sledování v roce 2012 jsou znázorněny v grafech 2,3,4,5.

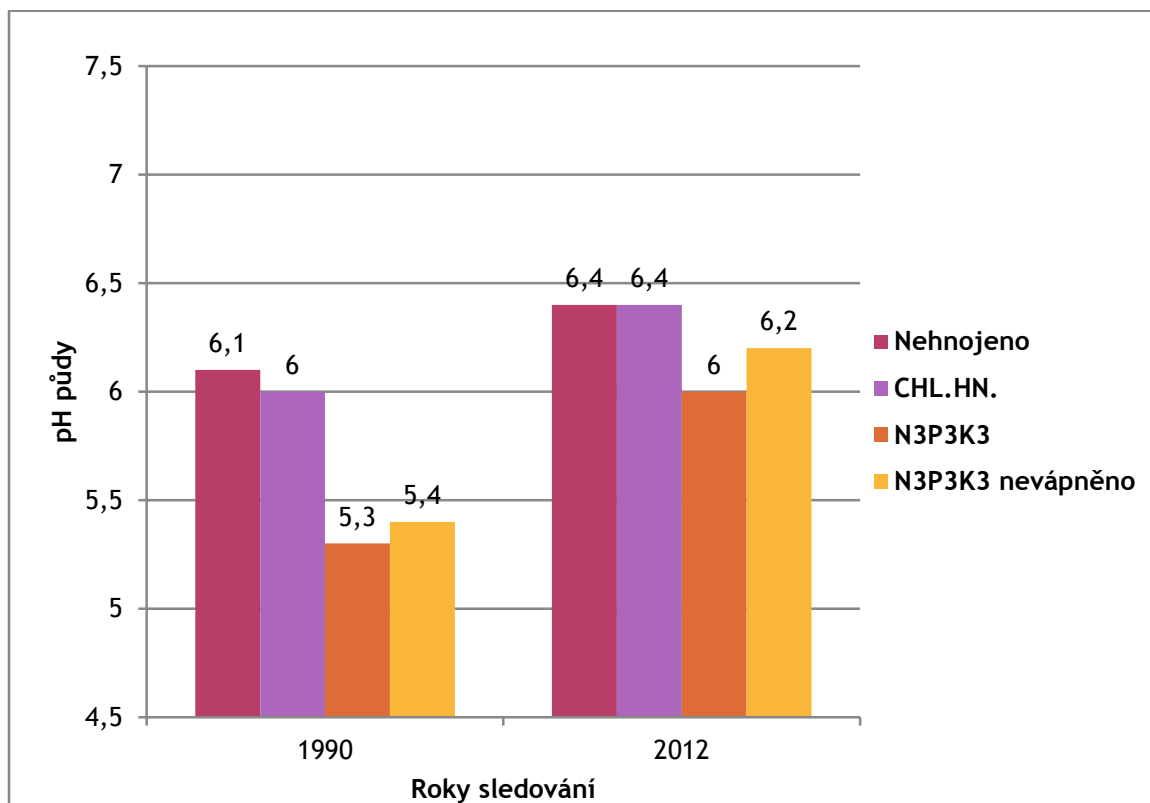
Graf 2: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Pusté Jakartice



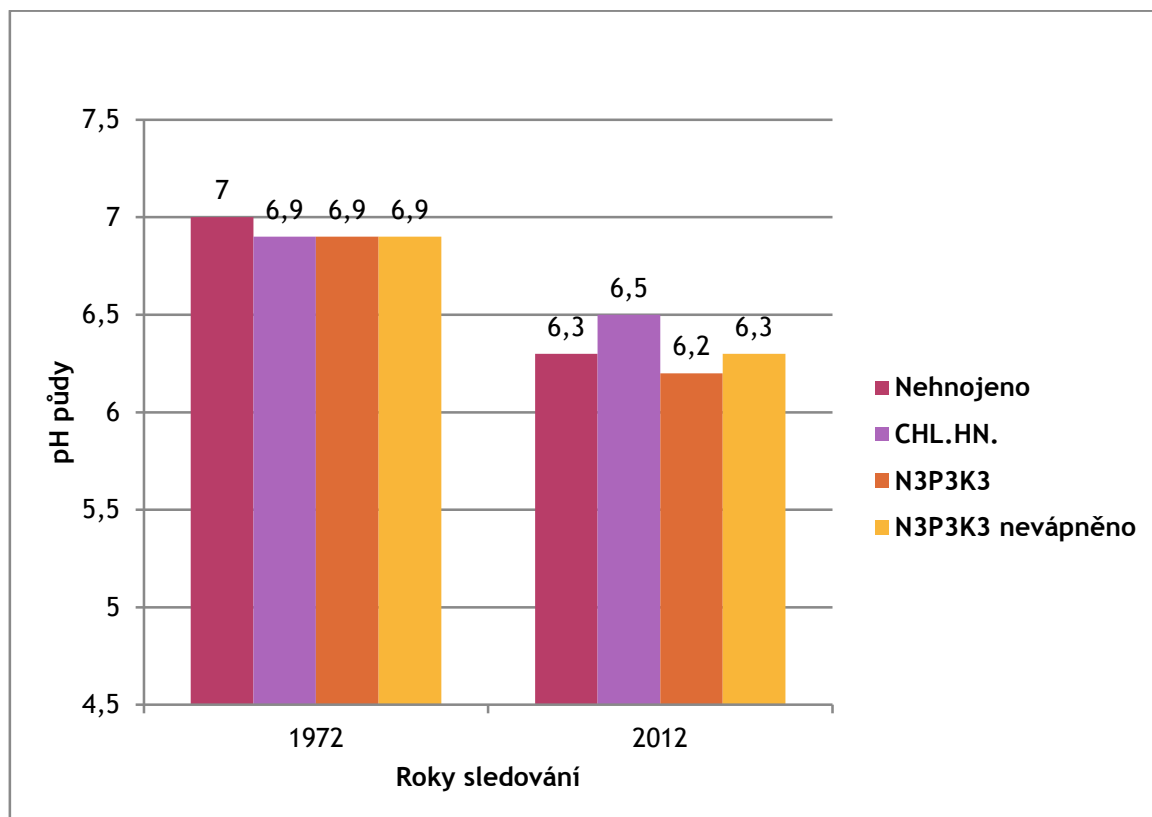
Graf 3: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Uherský Ostroh



Graf 4: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Věrovany



Graf 5: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Žatec



U stanovišť v řepařské oblasti (tab. 14, 15), kde je potřeba vápnění nízká, jsou hodnoty pH vesměs stabilní. Při porovnání průměrné hodnoty pH před založením pokusů a po trvání více než čtyřiceti let vedení pokusů je jasně patrný trend okyselování půdy v souvislosti s každoročně aplikovanou střední hladinou minerálního hnojení (kombinace 11. N3P3K3).

Tab. 14: Zhodnocení půdní reakce na začátku sledování

Kombinace hnojení	půdní reakce pH/KCl				
	ŘVO				
	PJA	UHO	VER	ZAT	průměr
1.0	5,2	7,3	6,1	7	6,4
2.CHM	5,9	7,4	6	6,9	6,5
11.N3P3K3	5,4	7,2	5,3	6,9	6,2
12.N3P3K3 nevápněno	5,4	7,4	5,4	6,9	6,2

Tab.15 : Zhodnocení půdní reakce na konci sledování

Kombinace hnojení	půdní reakce pH/KCl				
	ŘVO				
	PJA	UHO	VER	ZAT	průměr
1.0	5,5	6,9	6,4	6,3	6,2
2.CHM	6,2	6,9	6,4	6,5	6,5
11.N3P3K3	6,5	6,2	6	6,2	6,2
12.N3P3K3 nevápněno	5,9	6,3	6,2	6,3	6,1

4,6-5,0 silně kyselá	5,1-5,5 kyselá	5,6- 6,5 slabě kyselá	6,6-7,2 neutrální
----------------------	----------------	-----------------------	-------------------

Vlivem vápnění se hodnota pH u kombinace hnojení 2. Chl. hn. nezměnila, zůstala na pH 6,5. Nejvýrazněji došlo ke změně pH v Uherském Ostrohu, kde pH kleslo o 0,5 jednotky a kategorizace zůstává stejná a to neutrální. V Žatci také pH kleslo o 0,4 jednotky z neutrální půdní reakce na slabě kyselou. V Pustých Jakarticích a Věrovanech se pH naopak zvýšilo a to o hodnotu 0,3 a 0,4 jednotky pH, kategorizace zůstává stejná a to slabě kyselá.

U kombinace hnojení 11. N3P3K3 rovněž v Uherském Ostrohu a Žatci došlo k poklesu pH z neutrální na slabě kyselou o hodnotu 1,0 a 0,7 jednotky pH. V Pustých Jakarticích a Věrovanech se pH zvýšilo z kyselé půdní reakce na neutrální o 1,1 a 0,7 jednotky pH.

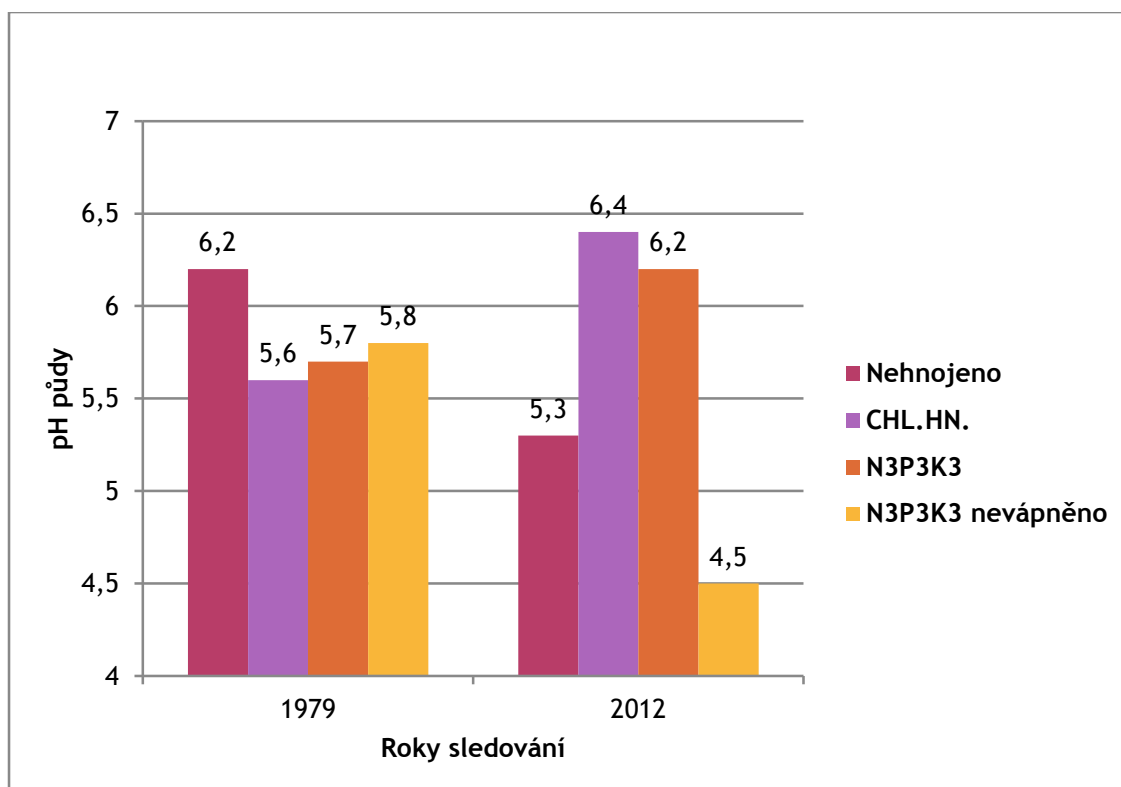
Na nehnojené variantě 1. nedošlo k výrazným změnám. Hodnota pH mírně pokleslo na stanicích Uherský Ostroh o hodnotu 0,4 a Žatec o 0,7 jednotky pH. V UHO zůstává kyselá půdní reakce a v ZAT klesá z neutrální na slabě kyselou. V Pustých Jakarticích a Věrovanech naopak pH mírně stoupl a to 0,3 jednotky pH. Hodnota pH zůstává kyselá v PJA a slabě kyselá ve VER.

Kombinace 12. N3P3K3 s nejvyšší intenzitou hnojení nevápněnou vykazovala klesající pH pouze v Uherském Ostrohu o 1,1 jednotky a Žatci o hodnotu pH 0,6. Došlo ke změně z kategorizace půdní kyselosti neutrální na slabě kyselou. Naopak opět v Pustých Jakarticích a Věrovanech se pH mírně zvýšilo a to o 0,5 a 0,8 jednotky pH z kategorizace kyselé na slabě kyselou půdní reakci.

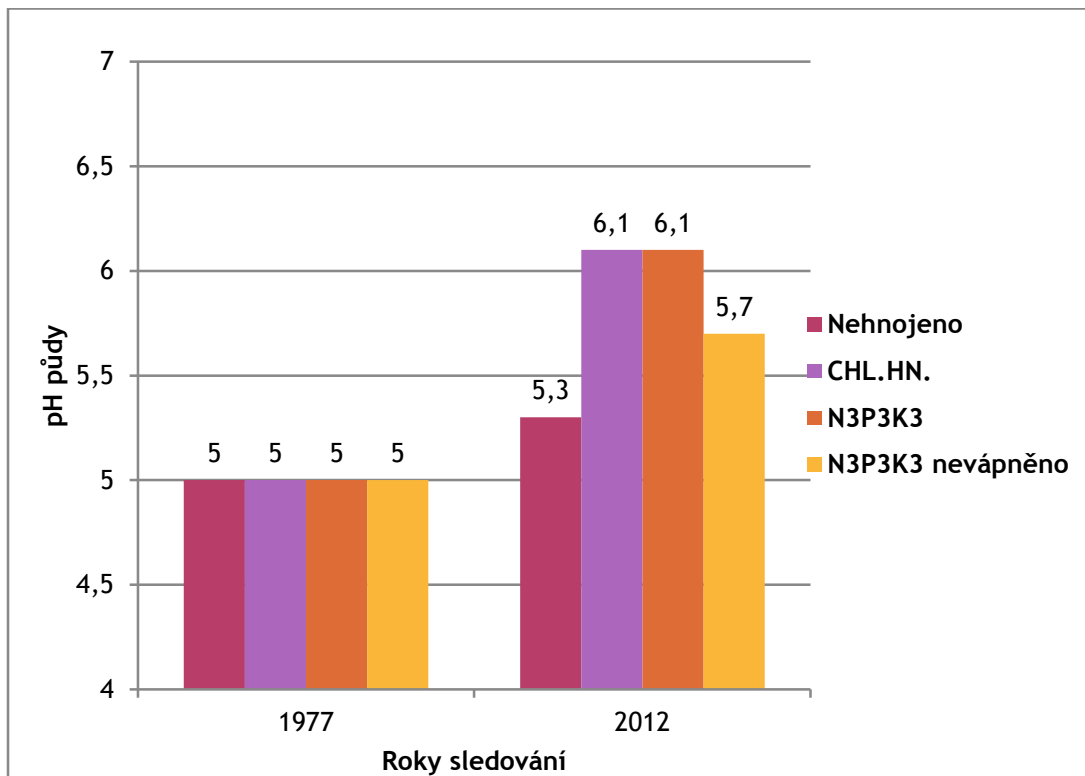
5.2. pH půdy bramborářských výrobních oblastí

Účinnost vápnění se hodnotí na stanovištích Horažďovice, Chrastava, Jaroměřice, Lípa, Staňkov, Hradec nad Svitavou a Vysoká v bramborářské oblasti, kde je zařazena kombinace 0 (nehnojená), 2 (chlévkový hnůj), bez vápnění 12 (N3P3K3), která je v porovnání s vápněnou a stejnou úrovní hnojení kombinací 11 (N3P3K3). Hodnoty pH/KCl z odběrů vzorků po sklizni plodin na začátku sledování (dle založení) a na konci sledování v roce 2012 jsou znázorněny v grafech 6,7,8,9,10,11, 12.

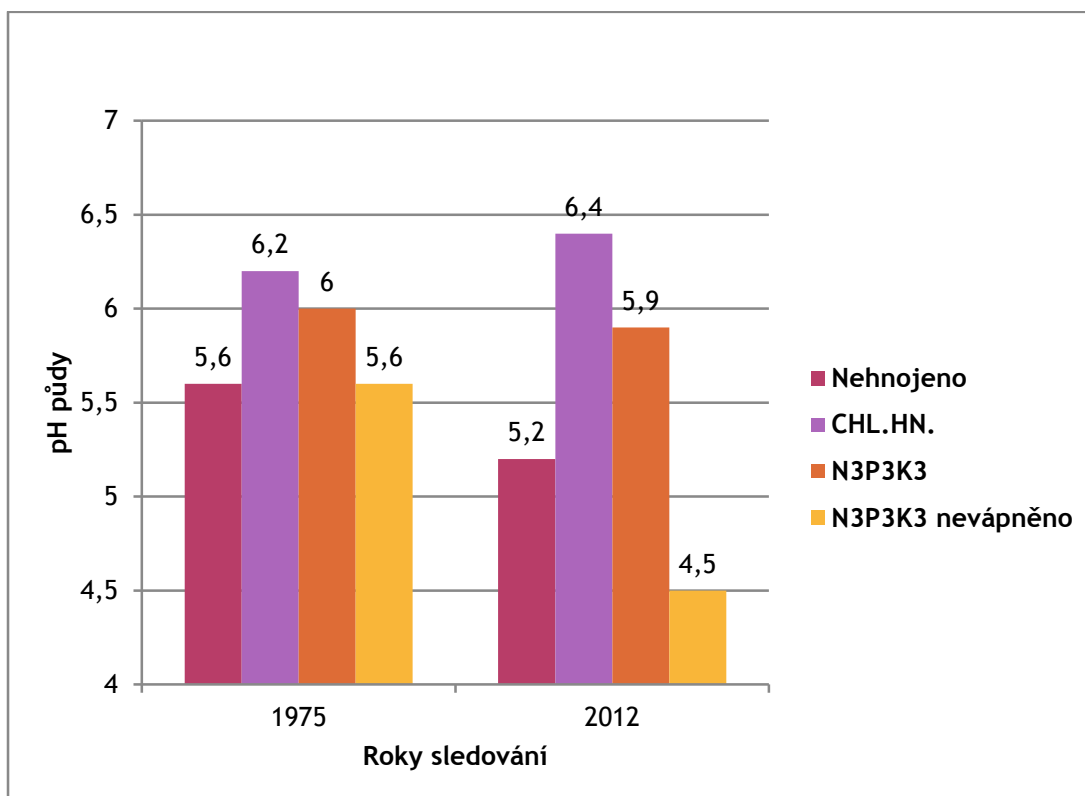
Graf 6: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Horažďovice



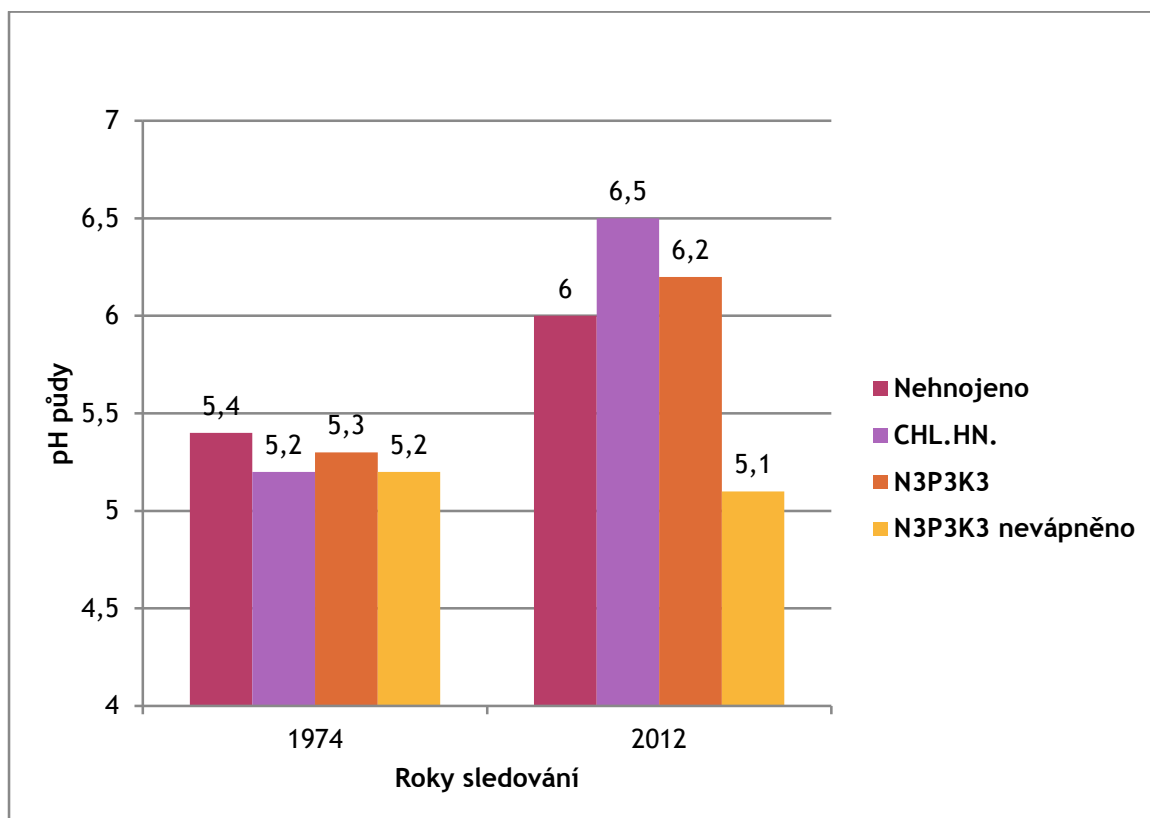
Graf 7: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Chrastava



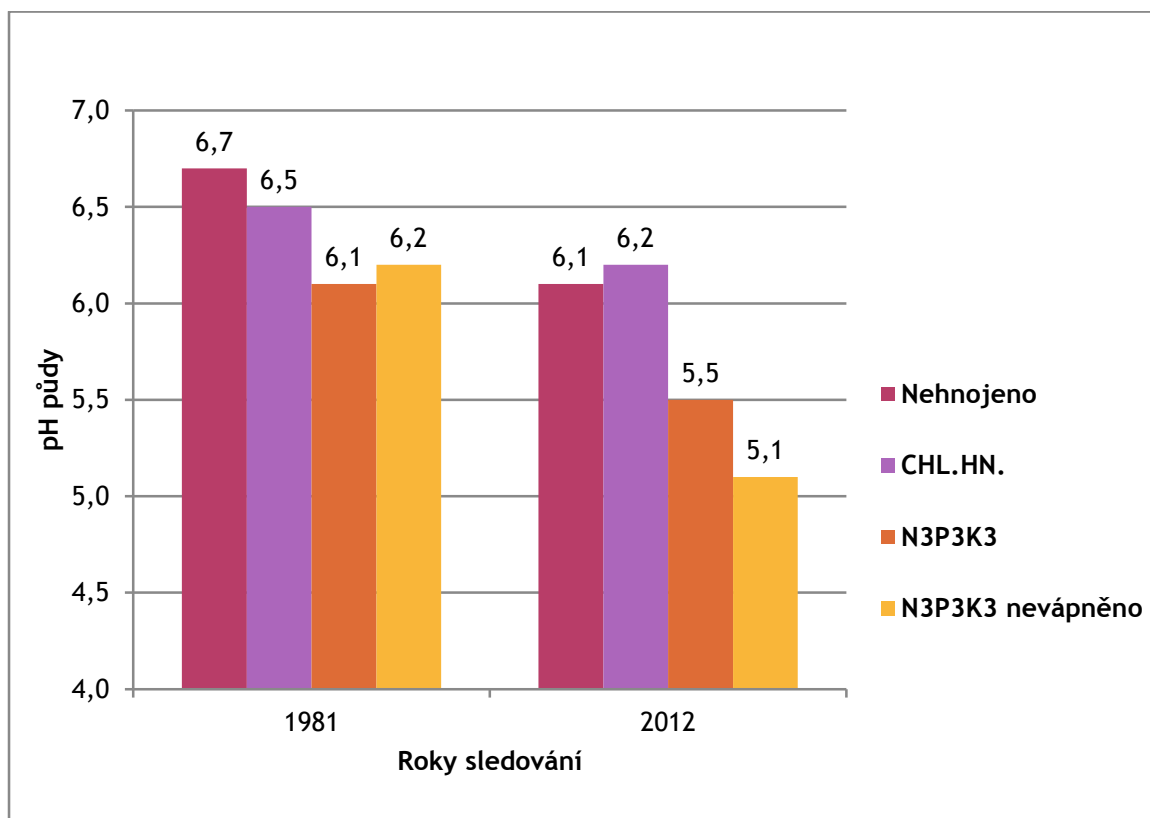
Graf 8: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Jaroměřice



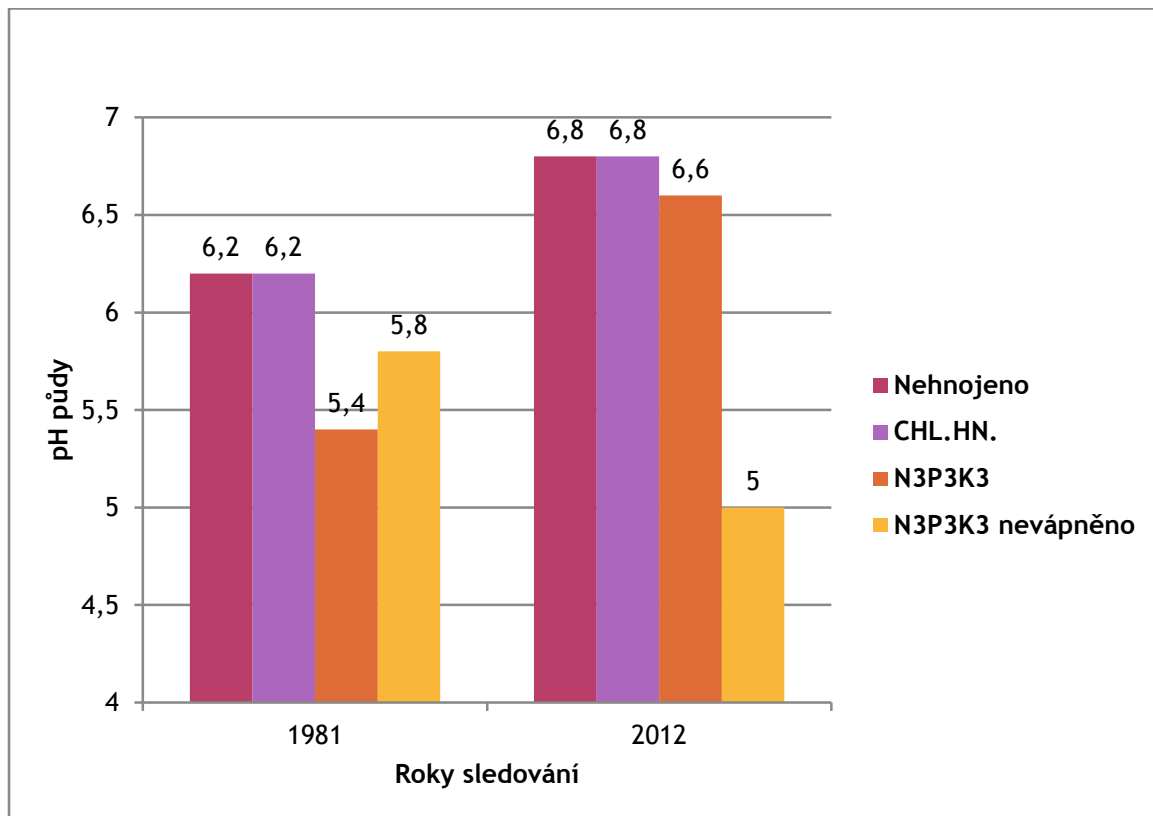
Graf 9: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Lípa



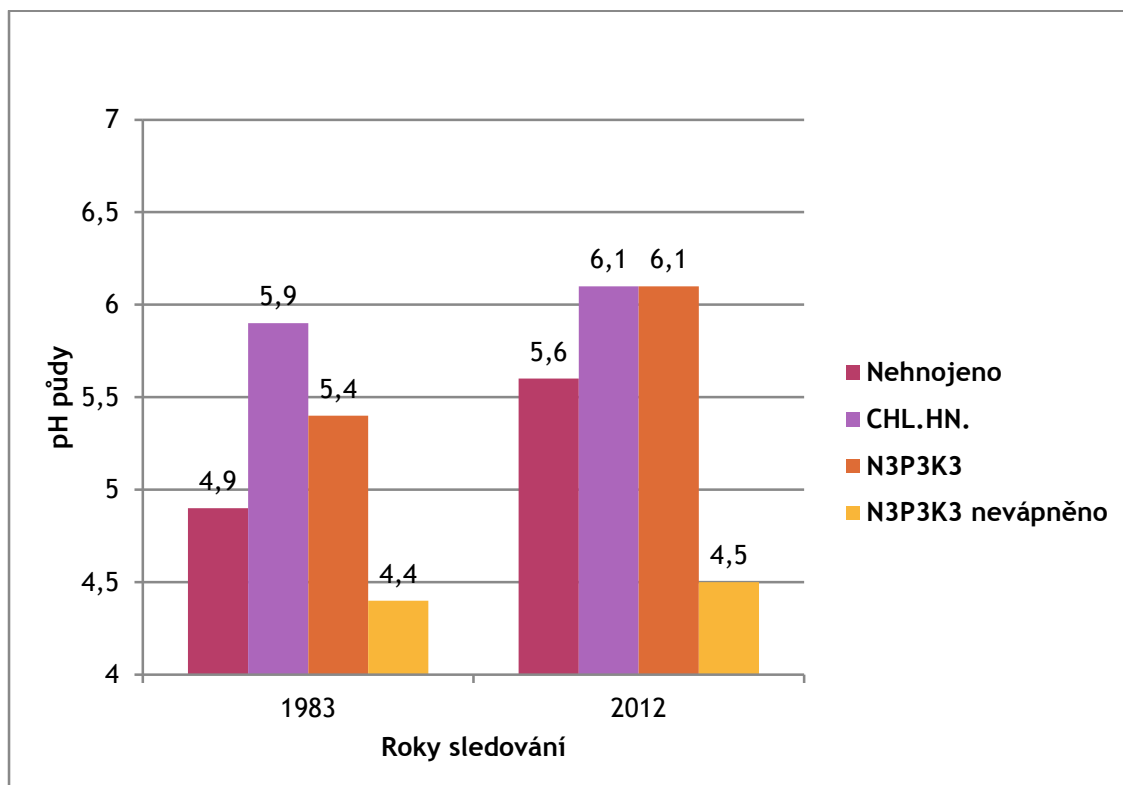
Graf 10: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Staňkov



Graf 11: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Hradec nad Svitavou



Graf 12: Změny pH půdy na jednotlivých variantách (kombinacích) hnojení na stanovišti Vysoká



Na stanovištích v bramborářské oblasti se vlivem intenzivnějšího a pravidelného vápnění (dle výsledků rozborů) pH postupně zvyšuje po hnojení hnojem. Mírné okyselování vlivem stupňovaných dávek živin je viditelné, i když tento trend se neprohlubuje. Výraznější okyselení půdy je evidentní především u kombinace 12, kde se projevuje dlouhodobá absence vápnění současně s vysokou hladinou minerálního hnojení. Těsný poměr mezi půdní reakcí a přístupným Ca v půdě dokládá právě tato kombinace, na níž je obsah vápníku výrazně nižší v porovnání s nehnojenou a nevápněnou kombinací (tab. 16, 17).

Tab.16 : Zhodnocení výměnné půdní reakce na začátku sledování

Kombinace hnojení	půdní reakce pH/KCl							
	BVO							
	HOR	CHT	JAR	LIP	STV	HRA	VYS	průměr
1.0	6,2	5	5,6	5,4	6,7	6,2	4,9	5,7
2.Chl.hněj	5,6	5	6,2	5,2	6,5	6,2	5,9	5,8
11.N3P3K3	5,7	5	6	5,3	6,1	5,4	5,4	5,6
12.N3P3K3 nevápněno	5,8	5	5,6	5,2	6,2	5,8	4,4	5,4

Tab. 17 : Zhodnocení výměnné půdní reakce na konci sledování

Kombinace hnojení	půdní reakce pH/KCl							
	BVO							
	HOR	CHT	JAR	LIP	STV	HRA	VYS	průměr
1.0	5,3	5,3	5,2	6	6,1	6,8	5,6	5,7
2.Chl.hněj	6,4	6,1	6,4	6,5	6,2	6,8	6,1	6,3
11.N3P3K3	6,2	6,1	5,9	6,2	5,5	6,6	6,1	6
12.N3P3K3 nevápněno	4,5	5,7	4,5	5,1	5,1	5	4,5	4,9

4,6-5,0 silně kyselá	5,1-5,5 kyselá	5,6- 6,5 slabě kyselá	6,6-7,2 neutrální
----------------------	----------------	-----------------------	-------------------

Vlivem vápnění se změnila hodnota pH u kombinace hnojení 2. Chl. hn. z 5,8 na pH 6,3. Nejvýrazněji došlo ke změně pH v Chrastavě o hodnotu 1,1, což odpovídá změně v kategorizaci půdní kyselosti ze silně kyselé na slabě kyselou. V Lípě došlo také k výrazné změně a to o 1,3 jednotky pH z kyselé půdní reakce na slabě kyselou. Ve Svitavách dokonce z kategorizace slabě kyselé na neutrální o 0,6 jednotky pH. Na třech stanicích (HOR, JAR, VYS) došlo pouze k mírnému zvýšení pH bez změny kategorizace. Naopak ve Staňkově pH mírně pokleslo o 0,3 jednotky pH.

U kombinace hnojení 11. N3P3K3 rovněž v Chrastavě došlo ke změně pH ze silně kyselé na slabě kyselou o hodnotu 1,1, v Lípě o 0,9 a na Vysoké o 0,7 jednotky pH z kyselé na slabě kyselou. Ve Svitavách z kyselé na neutrální o 1,2 jednotky pH. V Horažďovicích došlo pouze k mírnému zvýšení bez změny kategorizace. Naopak opět ve (STV a JAR) pH mírně kleslo o 0,6 a 0,1 jednotky pH.

Na nehnojené variantě 1. došlo k výrazným změnám a to k poklesu pH na stanicích (HOR, JAR, STV) a to ze slabě kyselé HOR o 0,9 jednotky pH, JAR o hodnotu pH 0,4 na kyselou, ve Staňkově z neutrální na slabě kyselou o 0,6 jednotky pH. V Chrastavě, Lípě, Svitavách a na Vysoké došlo k mírnému zvýšení pH. V Chrastavě ze silně kyselé na kyselou o 0,3 jednotky pH, v Lípě z kyselé na slabě kyselou o hodnotu pH 0,6, ve Svitavách ze slabě kyselé na neutrální o 0,6 jednotky pH a na Vysoké ze silně kyselé na slabě kyselou o 0,7 jednotky pH.

Kombinace 12. N3P3K3 s nejvyšší intenzitou hnojení nevápněnou vykazovala většinou klesající pH, pouze v Chrastavě došlo k mírnému zvýšení pH a to o hodnotu 0,7 z kategorizace půdní kyselosti silně kyselá na slabě kyselá a na Vysoké o 0,1 jednotky pH. V Lípě došlo pouze k mírnému snížení pH o hodnotu 0,1 bez změny kategorizace, ale v (HOR, JAR, HRA) se pH extrémně snížilo a to o 1,3 (HOR), 1,1 (JAR) a 0,8 (HRA) jednotky pH z kategorizace slabě kyselé na silně kyselou. Ve Staňkově pokleslo pH o hodnotu 1,1 ze slabě kyselé na kyselou půdní reakci.

6. DISKUSE

Vliv hnojení na pH půdy je nutno posuzovat komplexněji, ve spojení s jinými činiteli, z nichž významné je především vliv půdy (složení, struktura, pórovitost, sorpce, koloběh, obsah uhličitánů atd.), vyplavování Ca, vliv hnojení, klimatické podmínky, kyselá dešť a také vztah živiny - rostlina, jejich odběr a ztráty do atmosféry.

Znatelný je pokles půdní reakce hlavně v horších půdních a klimatických podmínkách, tj. v bramborářské výrobní oblasti. Půdy těchto oblastí mají z dlouhodobého vývojového hlediska přirozeně kyselejší půdní reakci, na kterou jsou lépe přizpůsobeny zemědělské plodiny v daných oblastech pěstované. Pokles půdní reakce je způsoben vyplavováním zásaditých složek v těchto srážkově bohatších oblastech.

Na kombinaci hnojení 12. N3P3K3 s dlouhodobou absencí vápnění došlo v BVO na většině stanicích k okyselení půdy a to na čtyřech (HOR, STV, JAR, HRA) ze sedmi, což má za následek horší využití živin, změny chemismu půdy, slabší činnost půdních mikroorganismů a tím i rychlost rozkladu humusu. Je tím i oslabená aktivita mikro i mezofauny. Ke stejnému závěru dospěla i Smatanová (2014). Největší pokles byl zjištěn na stanici Horažďovice z 5,8 na 4,5 pH, Jaroměřice z 5,6 na 4,5 a ve Staňkově z 6,2 na 5,1 pH půdy, což může být způsobeno nižší sorpční kapacitou, vyluhováním základních iontů a odstraněním základních iontů rostlinami. V nemalé míře mohlo dojít k vyplavování vápníku, to je při vyšších ročních úhrnech je znatelné, což potvrzuje i Klement, Prchalová (2013).

V porovnání s organicky hnojenou variantou 2. s minerálně hnojenou variantou 11.N3P3K3 obě vápněné v BVO, je hodnota pH vyšší na variantách s organickým hnojením oproti variantám s minerálním hnojením. Vyšší hodnoty pH na variantách s organickým hnojením jsou způsobeny především dodáním organických látek do půdy a tím zamezení výkyvů půdního pH a také jejich menší okyselující schopností než u minerálních hnojiv. Obdobné výsledky publikovali i Zhong et al. (2010).

V řepářských oblastech se ve velmi významném rozsahu vyskytují karbonátové půdy (uhličitánové) půdy, kde obsah uhličitánů udržuje vyrovnanou půdní reakci, na některých půdách dochází dokonce ke zvýšení pH (PJA, VER). Vyšší hodnoty pH na variantách s organickým hnojením jsou způsobeny především dodáním organických látek do půdy (a tím

zamezení výkyvů půdního pH) a také jejich menší okyselující schopností než u minerálních hnojiv. Při vyšší aktivitě mikroorganismů je více rozkládána organická hmota, a tím je spojena i vyšší produkce CO₂ což potvrzují i Vašák (2015).

Výsledky dlouhodobých pokusů jsou velice přínosné pro zemědělskou praxi, neboť je možné hodnotit konkrétní dlouhodobé působení jednoho faktoru s vyloučením změn ostatních vlivů (osevní postup, systém hnojení apod.). To v běžné praxi není možné.

7. ZÁVĚR

- Z výše uvedených výsledků můžeme konstatovat, že okyselování půd z důvodu aplikace hnojiv je silně ovlivněno půdními vlastnostmi.
- Na vápněné kombinaci se v průběhu více než čtyřiceti let hodnota pH vesměs mírně zvýšila, nebo udržela na původní úrovni. To svědčí o vhodnosti kritérií pro potřebu vápnění, podle kterých se mletý vápenec aplikoval.
- Hodnoty pH na nevápněné kombinaci jsou většinou výrazně nižší
- V ŘVO je na konci sledování neurální pH v Uherském Ostrohu (komb. 1, 2). U stanovišť v ŘVO, kde je potřeba vápnění nízká, je pH stabilní.
- Silně kyselé pH je na konci sledování v BVO na nejvyšší hladině N3P3K3 bez vápnění (12) a to na všech stanicích kromě Chrastavy, kde je pH slabě kyselé. Na stanovištích v BVO se po intenzivnějším a pravidelném vápnění a po hnojení hnojem (2) pH postupně zvyšuje.
- Při porovnání průměrné hodnoty pH před založením pokusů a po trvání více než čtyřiceti let vedení pokusu je jasně patrný trend okyselování půdy v souvislosti s každoročně aplikovanou střední hladinou minerálního hnojení (kombinace 11).
- Na nehnojené variantě 1. nedošlo k výrazné změně pH

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Beránková M. (2012): Zemědělské zkušebnictví, ÚKZÚZ Brno, 62 s.

Bouma D. (2005): Potřeba vápnění výrazně stoupá, <http://uroda.cz/potreba-vapneni-vyrazne-stoupa/>

Bowman, W:D., β Cleveland, C. C. (2008). Negative impal of nitrogen deposition on soil buffering capacity. *Nature Geoscience*. 1(11)m767-770.

Čermák, P. (1997): Kontrola úrodnosti půdy, ÚKZÚZ, Brno, 119 s, ISBN nevázaná

Čermák, P. (1998): Studium vlivu různých druhů organických hnojiv na některé půdní Úrodnosti, Autoreferát doktorské disertační práce, MZLU Brno, 23 s.

Čermák P. et al. (2007): Bilance živin v ekologicky hospodařícím podniku, ZERA, Náměšť nad Oslavou, ISBN 80-903548-4-X, 48 s.

Čermák P. (2012): Dlouhodobé polní pokusy, Výzkumný ústav rostlinné výroby,v.v.i., http://eagri.cz/public/web/file/216018/_07_Cermak__VURV.pdf

Černý J. et al. (2010): Bilance živin v dlouhodobých hnojařských pokusech, ČZU Praha, Racionální využití hnojiv - Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 25. 11. 2010, ISBN 978-80-213-2118-2,133 s.

Černý J. et al. (2013): Vápník v půdě, ČZU Praha, Racionální použití hnojiv -Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28. 11. 2013, ISBN 978-80-213-2416-9, 177 s.

Černý J. (2013): Půdní reakce, faktor půdní úrodnosti, *Zemědělec 17/2013*, Profi Press, s. 11-13, 55 s.

Dahnke W. C., Olson R. A. (1990): Soil test correlation, calibration, and recommendation. In *Soil testing and plant analysis*, ed. R. L. Westerman, 3rd edition: 45–71. Soil Science of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA.

Fecenko J., Ložek O. (2000): Výživa a hnojenie poľných plodín, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. ISBN 80-7137-777-5. 452 s.

Haynes R.J. et Naidu R. (1998): *Nutr. Cycl. Agroecosys*. 51. 123

Hlušek Jaroslav (2004): Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, Zemědělská 1, 61300 Brno, http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/mineralni/cazasady.htm

Hoyt P. B., Hennig A. M. F. (1982): Soil acidification by fertilizers and longevity of lime applications in the peace river region. *Canadian Journal of Soil Science*. 62: 155–163.

- Husson, O. (2003): Redox potential (EH) and pH as driver of soil/plant/ microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant and Soil*. 362 (1-2). 389-417.
- Kemmitt, S. J., Wright, D., Goulding, K. W., & Jones, D. L. (2006): pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 38 (5). 898-911.
- Klement V. (2012): Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice a čtyřicet let dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ, ÚKZÚZ Brno, ISBN 978-80-7401-062-0, 96 s.
- Klement V., Prchalová R. (2013): *Lysimetric Monitoring*. Brno, Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture.
- Kolář L., Kužel S. (1999): *Organická hmota v půdě, Sborník Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku půdní organické hmoty*, ČZU Praha, ISBN 80-213-0560-6.
- Kopittke, P. M., & Menzies, N. W. (2007): A review of the basic cation saturation ratio and the „ideal“soil. *Soil Science Society of America Journal*, 71 (2). 259-265.
- Kubát J. (1999): *Udržování vyrovnané bilance organické hmoty v půdě ÚZPI Praha*, 30s.
- Maathuis F. J. M. (2009): *Curr. Opin. in Plant Biol.* 12. 250.
- Malhi S. S., Nyborg M., Harapiak J. T. (1998): Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay. *Soil and Tillage Research*. 48: 91–101.
- Madaras M., Koubová M., Smatanová M. (2014): Long-term effect of low potassium fertilization on its soil fractions. *Plant, Soil and Environment* (submitted)
- Marschner H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants*, Academic Press, London
- Matula J. (2007): *Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF*, VÚRV Praha, ISBN 978-80-87011-16-4
- Meier P., Lohrum A., Gareiss J. (1989): *Practice and theory of pH measurement*, Ingold Messtechnik AG, Urdorf, Switzerland.
- Monger H. C. et al. (2002): *The potential of US grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse gas effect*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 87.
- Neuberg J. (1990): *Komplexní metodika výživy rostlin*, ÚVTIS Praha, 1990, 41-43 s.
- Neuberg J. et al. (1995): *Komplexní metodika výživy rostlin*, ÚVTIZ Praha, 320s.
- Ondrášek L., Čunderlík J. (2008): Effects of organic and mineral fertilisers on biological properties of soil under seminatural grassland. *Plant, Soil and Environment*. 54: 329–335.

- Pavlíková D. et al. (2013): Vápník v půdě, ČZU Praha, Racionální použití hnojiv, Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28. 11. 2013, ISBN 978-80-213-2416-9, 21, 177s.
- Peck T. R., Soltanpour P. N. (1990): The principles of soil testing. In Soil testing and plant analysis, ed. R. L. Westerman, 3rd edition: 1–9. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Ponnamperuna F. N., Martinez E., Loy T. (1966): Influence of redox potential and partial pressure of carbon dioxide on pH values and the suspension effect of flooded soils. *Soil Sci.* 101 (6). 421-430.
- Procházková B. et al. (2001): Organické hnojení při hospodaření bez živočišné výroby, *Zeměděl. Infor., ÚZPI Praha*, č. 14, 29s.
- Raij, B. van. (1998): Bioavailable tests: alternatives to standard soil extractions. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* 29: 1553–1570.
- Shi W., Liua J., Dua Z., Songa Y., Chena Ch., Yuea T. (2009): Surface modelling of soil pH. *Geoderma.* 150: 113–119.
- Sluijsman C. M. (1970): Der Einfluss der Düngemittel auf den Kalkzustand des Bodens. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde.* 126:97-103.
- Smatanová M. (2013): Základní metodika přesných polních a nádobových zkoušek, Brno, Metodický pokyn č.23/SZV, 44s.
- Smatanová M. (2014): Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnos plodin, na agrochemické vlastnosti půd a bilanci živin, Brno, 56s.
- Škarda M. (1982): Hospodaření s organickými hnojivy, SZN Praha, 328 s.
- Šroller J. et al. (1982): Analýza tvorby výnosu krmné řepy, Praha, VSZ – AF, 70 s.
- Trávník K. (2012): Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice a čtyřicet let dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ, ÚKZÚZ Brno, ISBN 978-80-7401-062-0, 96 s.
- Vach M., Javůrek M. (2009): Ekologická optimalizace hlavních pěstitelských opatření pro polní plodiny. VÚRV Praha, ISBN 978-80-7427-007-9, 32 s.
- Vaněk V., Balík, J., Pavlíková D., Tlustoš P. (2007): Výživa polních a zahradních plodin, Profi Press, Praha, ISBN 976-80-86726-25-0, 167 s.
- Vaněk V. et al. (1998): Výživa a hnojení polních plodin, Farmář, Praha, ISBN 80-902413-1-X, 124 s.
- Vaněk V. et al. (2012): Výživa zahradních rostlin, Academia, Praha, ISBN 978-80-200-2147-2, 568 s.
- Vašák F., Černý J., Buráňová Š., Kulhánek M., Balík J. (2015): Soil pH changes in long-term field

experiments with different fertilizing systems. *Soil & Water Res.*, 10: 19–23.

Vašák F. et al.(2014): Porovnání půdní reakce v dlouhodobých polních pokusech, ČZU v Praze, FAPPZ, katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, *Úroda* 10, 50 s.

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, účinnost od: 1. 1. 1999

Zbiral, J. (2002): *Analýzy půd I – jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ Brno, ISBN 80-86548-15-5.

Zhong W., Gu T., Wang W., Zhang B., Lin X., Huang Q., Shen W. (2010): The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and Soil*. vol. 326. no. 1. s. 511-522.

9. Přílohy

Tab. 10.1: 12 kombinací při šestinásobném opakování (zkouška AZP stacionár)

5B	6B	7B	1D	2D	3D	8F	9F	10F
2B	3B	4B	10D	11D	12D	5F	6F	7F
11B	12B	1B	7D	8D	9D	2F	3F	4F
8B	9B	10B	4D	5D	6D	11F	12F	1F
10A	11A	12A	6C	7C	8C	1E	2E	3E
7A	8A	9A	3C	4C	5C	10E	11E	12E
4A	5A	6A	12C	1C	2C	7E	8E	9E
1A	2A	3A	9C	10C	11C	4E	5E	6E

Tab. 10.2: Roční údaje o klimatických podmínkách

rok	řepařská oblast			bramborářská oblast		
	průměrná teplota (°C)	úhrn srážek (mm)	Langův dešťový faktor	průměrná teplota (°C)	úhrn srážek (mm)	Langův dešťový faktor
1972	8,5	550,0	64,7	7,3	607,0	83,2
1973	8,6	462,0	53,7	7,2	574,0	79,7
1974	9,3	629,0	67,6	8,0	805,0	100,6
1975	9,3	508,0	54,6	8,1	660,0	81,5
1976	8,5	509,0	59,9	7,3	603,0	82,6
1977	8,7	717,0	82,5	7,7	802,0	104,2
1978	7,8	503,0	64,5	6,9	657,0	95,2
1979	8,3	619,0	74,6	7,3	757,0	103,7
1980	7,3	550,0	75,4	6,4	706,0	110,3
1981	8,4	660,0	78,6	7,4	822,0	111,1
1982	8,8	456,0	51,9	7,8	533,0	68,3
1983	9,2	451,0	49,0	8,1	566,0	69,8
1984	8,1	516,0	63,7	7,0	595,0	85,0
1985	7,4	624,0	84,3	6,4	652,0	101,9
1986	8,0	526,0	65,8	7,1	685,0	96,5
1987	7,6	645,0	84,9	6,6	735,0	111,4
1988	8,9	512,0	57,6	7,9	669,0	84,7
1989	9,3	454,0	48,8	8,4	542,0	64,5
1990	9,4	505,0	53,7	8,4	520,0	61,9
1991	8,2	497,0	60,6	7,2	540,0	75,0
1992	9,5	468,0	49,3	8,6	555,0	64,5
1993	8,5	508,0	59,8	7,6	646,0	84,9
1994	9,9	563,0	56,9	8,9	619,0	69,5
1995	9,0	629,0	69,9	7,9	738,0	93,4
1996	7,3	641,0	87,7	6,3	651,0	103,3
1997	8,5	651,0	76,5	7,6	681,0	89,6
1998	9,1	601,0	66,1	8,2	645,0	78,6
1999	9,4	541,0	57,6	8,3	576,0	69,4
2000	10,2	573,0	56,2	9,1	667,0	73,3
2001	8,9	664,0	74,6	7,8	750,0	96,1
2002	9,7	651,0	67,1	8,7	855,0	98,3
2003	9,1	387,0	42,3	8,3	425,0	51,2
2004	8,8	503,0	57,2	7,7	612,0	79,5
2005	8,7	596,0	68,5	7,8	653,0	83,7
2006	9,0	552,0	61,3	8,2	636,0	77,6
2007	9,9	611,0	61,7	9,0	669,0	74,3
2008	10,0	523,0	52,3	8,8	569,0	64,7
2009	9,6	621,0	64,7	8,3	708,0	85,3
2010	8,5	787,0	92,6	7,1	806,0	113,5
2011	9,2	589,0	64,2	8,2	668,0	82,4
2012	9,8	396,0	40,4	8,6	560,0	65,1
2013	9,0	677,0	75,2	8,1	652,0	80,5

Tab. 10.3.: Kombinace hnojení

kombinace	minerální hnojení			organické hnojení	vápnění
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>		
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	chlévkový hnůj	dle potřeby
3	2	2	0		
4	2	2	1		
5	2	2	2		
6	2	2	3		
7	2	0	2		
8	2	1	2		
9	2	3	2		
10	1	1	1		
11	3	3	3		
12 ¹⁾	2	2	2		
12 ²⁾	3	3	3		0

12¹⁾ v řepařské oblasti na rozdíl od kombinace 5 hnojeno každoročně

12²⁾ v bramborářské oblasti na rozdíl od kombinace 11 bez vápnění