

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Vliv dlouhodobé aplikace slámy a hnoje na kvalitu organické
hmoty v půdě
Bakalářská práce**

Autor práce: Václav Efler

Obor studia: Ekologické zemědělství

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Balík, CSc., dr. h. c.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv dlouhodobé aplikace slámy a hnoje na kvalitu organické hmoty v půdě" jsem vypracoval 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Jiřímu Balíkovi, CSc., dr. h. c. za odborné rady, pomoc a pozitivní přístup při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu nejen při psaní této práce, ale i po dobu celého studia.

Vliv dlouhodobé aplikace slámy a hnoje na kvalitu organické hmoty v půdě

Zvyšování podílu organické hmoty v půdě je dlouhodobým trendem nejen na ekologicky obhospodařovaných plochách. Význam organické složky půdy je značný a má přímý vliv na půdní úrodnost.

Cílem práce je vyhodnotit vliv hnoje a slámy na obsah a kvalitu organické hmoty v půdě v porovnání s minerálním hnojivem na dlouhodobých polních pokusech katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze založených v roce 1996. Pro tuto bakalářskou práci byly zpracovány výsledky ze čtyř stanic (Hněvčeves, Humpolec, Suchdol a Lukavec), na kterých probíhala rotace tří plodin, a to: brambory – pšenice ozimá – ječmen jarní. Celý pokus je založen na hnojení shodnou dávkou dusíku (330 kg/ha) za tříletou rotaci plodin, která je aplikována v organických a minerálních hnojivech, s kontrolní nehnojenou variantou. Aplikovaným organickým hnojivem byl hnůj, minerálním hnojivem pak ledek amonný s vápencem (LAV) a další variantou byl LAV s přídavkem slámy.

Z dosažených výsledků je možné konstatovat, že na obsah organického uhlíku (C_{org}) a celkového dusíku (N_t) v půdě měl nejvyšší vliv hnůj. Největší účinnosti oproti LAV, dosahoval na méně úrodných stanovištích v Hněvčevsi a Lukavci. Na Stanici Suchdol byl naměřen nejvyšší obsah C_{org} 2,523 % po aplikovaném hnoji a nejméně uhlíku bylo naměřeno v Hněvčevsi po aplikaci LAV s hodnotou 1 %. Největší obsah N_t po aplikaci hnoje dosahovalo stanoviště Lukavec s obsahem 0,208 % a nejméně dusíku bylo naměřeno v Hněvčevsi na kontrolním stanovišti s hodnotou 0,104 %.

Obsah uhlíku v půdě po zapravování slámy se příliš nelišil od varianty se samotným minerálním dusíkem. V Humpolci byl obsah C_{org} po slámě nižší a celkově varianty N a N + sláma obsahovaly méně uhlíku v půdě než kontrolní varianta. Na obsah N_t v půdě neměla sláma téměř žádný vliv. V porovnání s N variantou byly hodnoty ve dvou případech stejné, v Humpolci byl pak obsah dusíku po aplikované slámě nižší a v Lukavci byl nepatrně vyšší.

V poměru C:N byl nejširší poměr stanoven 13,17:1 na stanici Suchdol, a nejužší poměr byl vypočten 9,36:1 na stanovišti Hněvčeves. Oba poměry byly stanoveny na kontrolní variantě.

Klíčová slova: dlouhodobé stacionární pokusy, hnůj, sláma, C_{org} a minerální dusík v půdě

Influence of long-term application of straw and manure on the quality of organic matter in the soil

Raising the ratio of organic matter in soils is a long term trend, not only on organic farms. The role of organic matter in soil is highly recognized and plays an important and direct role in soil fertility.

This experiment aims to evaluate the influence of the use of manure and straw on the quality of organic matter in soils compared with the use of mineral fertilizer. It was carried out at long-term site experiment of the Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition of the Czech University of Life Sciences in Prague, which started in 1996. This Bachelors thesis covers four sites (Hněvčeves, Humpolec, Suchdol and Lukavec) and rotation of three crops: potatoes - winter wheat - spring barley. The crops were fertilized with the same portion of Nitrogen (330 kg/ha) during three years rotation. The dose was applied in the form organic or mineral fertilizer, with unfertilized control. The used organic fertilizer was farm yard manure, mineral fertizer was LAN (limestone amonium nitrate), and LAN with barley straw.

The experiment results comfirm that the use of manure has the highest influence on the organic Carbon content (C_{org}) and total Nitrogen content (N_t). The greatest effect of manure compared with LAN was measured in less fertiled sites in Hněvčeves and Lukavec. The highest content of C_{org} 2,523 % was measured in Suchdol site after application of manure, and lowest C_{org} content was measured in Hněvčeves site after application of LAN of 1 %. The highest content of N_t after manure application was found in Lukavec site (0,208 %), and lowest content of N_t was measured in Hněvčeves control site (0,104 %).

The carbon content after ploughing straw into the soil did not excpetionally vary from the use of mineral Nitrogen. Humpolec site demonstrated the C_{org} content after the use of straw was lower and treatments LAN and LAN + straw contained less C_{org} in soil than the control site. The use of straw showed almost no effect in the N_t content. Two sites showed the same content of N_t in soil compared to the LAN treatment. Humpolec site showed lower content of N_t after the use of straw and Lukavec site N_t content was only slightly higher.

The highest C:N ration was 13,17:1 at Suchdol control site and lowest ratio was 9,36:1 in Hněvčeves at the control side.

Keywords: long-term site experiments, manure, straw, C_{org} and mineral Nitrogen in soil

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce.....	10
3	Literární rešerše.....	11
3.1	Půda jako prostředí pro růst a vývin rostlin	11
3.1.1	Zdroj přístupných živin.....	11
3.2	Půdní úrodnost	12
3.3	Složení půdy	14
3.3.1	Plynná fáze půdy.....	15
3.3.2	Kapalná fáze půdy.....	15
3.3.3	Pevná fáze půdy.....	16
3.3.3.1	Minerální část	17
3.3.3.2	Organická část.....	18
3.4	Dusík v půdě	22
3.5	Půdní reakce.....	24
3.6	Nároky na výživu a podmínky růstu jednotlivých plodin	26
3.6.1	Pšenice obecná	26
3.6.2	Ječmen setý	27
3.6.3	Lilek brambor.....	28
3.7	Zdroje organické hmoty – organická hnojiva.....	31
3.7.1	Sláma.....	32
3.7.2	Hnůj.....	33
3.7.3	Zelené hnojení	36
3.7.4	Kejda	37
3.7.5	Močůvka	38
3.7.6	Komposty.....	39
4	Metodika.....	42
4.1	Charakteristika dlouhodobých stacionárních pokusů s rotací plodin	42
4.1.1	Hnojení.....	42
4.1.1.1	Nehnojená parcela.....	43
4.1.1.2	Hnůj.....	43
4.1.1.3	N.....	43
4.1.1.4	N+sláma	43
4.2	Charakteristika vybraných stanovišť.....	44
4.3	Odběr vzorků a jejich zpracování.....	45

4.3.1	Půdní vzorky.....	45
4.3.2	Rostlinné vzorky.....	45
4.4	Analýza	45
4.4.1	Statistické analýzy.....	45
5	Výsledky	46
5.1	Výnosy plodin.....	46
5.1.1	Výsledky Hněvčeves.....	46
5.1.1.1	Ječmen jarní	46
5.1.1.2	Pšenice ozimá.....	46
5.1.1.3	Brambory.....	47
5.1.2	Výnosy Humpolec	49
5.1.2.1	Ječmen jarní	49
5.1.2.2	Pšenice ozimá.....	49
5.1.2.3	Brambory.....	49
5.1.3	Výnosy Suchdol	51
5.1.3.1	Ječmen jarní	51
5.1.3.2	Pšenice ozimá.....	51
5.1.3.3	Brambory.....	51
5.1.4	Výnosy Lukavec.....	53
5.1.4.1	Ječmen jarní	53
5.1.4.2	Pšenice ozimá.....	53
5.1.4.3	Brambory.....	53
5.2	Porovnání jednotlivých stanovišť.....	55
5.2.1	Ječmen jarní.....	55
5.2.2	Pšenice ozimá	55
5.2.3	Brambory	56
5.3	Půdní výsledky	57
5.3.1	Výsledky Hněvčeves.....	57
5.3.1.1	Organický uhlík (C_{org}).....	57
5.3.1.2	Celkový dusík (N_t).....	57
5.3.1.3	Poměr C:N	57
5.3.2	Výsledky Humpolec.....	59
5.3.2.1	Organický uhlík (C_{org}).....	59
5.3.2.2	Celkový dusík (N_t).....	59
5.3.2.3	Poměr C:N	59
5.3.3	Výsledky Suchdol	61

5.3.3.1	Organický uhlík (C_{org}).....	61
5.3.3.2	Celkový dusík (N_t).....	61
5.3.3.3	Poměr C:N.....	61
5.3.4	Výsledky Lukavec	63
5.3.4.1	Organický uhlík (C_{org}).....	63
5.3.4.2	Celkový dusík (N_t).....	63
5.3.4.3	Poměr C:N.....	63
5.4	Porovnávání jednotlivých stanovišť.....	65
5.4.1	Organický uhlík v půdě	65
5.4.2	Celkový dusík v půdě	65
5.4.3	Poměr C:N.....	66
6	Diskuse.....	67
6.1	Výnosy plodin	67
6.2	Obsahy sledovaných látek v půdě.....	67
6.2.1	Organický uhlík (C_{org})	67
6.2.2	Celkový dusík (N_t).....	68
6.2.3	Poměr C:N.....	68
7	Závěr	69
8	Literatura.....	71
9	Seznam tabulek a grafů	I

1 Úvod

Půdní úrodnost je jednou z nejdůležitějších vlastností půd, která je nezbytná pro dosažení kvalitní produkce pěstovaných plodin. Ekologický zemědělec je na půdní úrodnosti vysoce závislý, neboť nemůže plodiny na chudých půdách vyživovat lehce přístupnými minerálními živinami. Organická hnojiva mají mnohostranný účinek. Mezi jejich vlastnosti patří např. zvyšování půdní úrodnosti, tvorbu zdravějšího prostředí pro rostliny a organismy, jež se v půdě běžně vyskytují a postupné dlouhodobé uvolňování živin. Další velkou výhodou statkových hnojiv je, že jejich „výroba“ je přirozený proces, vesměs „odpad“, který nezatěžuje životní prostředí takovým způsobem, jako výroba minerálních hnojiv.

Ekologické zemědělství se stává v poslední době čím dál tím populárnější. Důkazem tomu jsou narůstající obhospodařované plochy a přibývající množství statků hospodařících v ekologických režimech, a to nejen u nás, ale v celé Evropě. V dnešní době, přestává lidem být lhostejné, co jedí. Poptávka po zdravějších produktech, ale také způsobu jejich získávání je stále vyšší. Ať už se jedná o zeleninu, ovoce, kávu, maso nebo mléko, je o ně stále vyšší zájem. Milná je však představa, že ekologické produkty jsou vždy kvalitnější, zdravější a dražší. Spíše více než kvalita, je důležitý způsob jejich získávání, původ a výroba. Bioprodukty zaručují, že pocházejí z etických chovů, zdravých půd neošetřovaných chemií a neobsahují syntetické látky, které jsou ve výrobcích mnohdy nadbytečné.

Ekologické zemědělství, není jen o produktech, ale také o krajině a prostředí, ve kterém se člověk nachází. O tom, že na ekologicky obhospodařovaných půdách je i prostor pro živočichy a rostliny, kteří nemají pro zemědělce ekonomický význam, ale jsou součástí přírody a podílí se na tvorbě krajiny, kterou svým bytím obohacují. Tuto ideologii krásně vystihuje ve svém citátu J. Holečka: *„Avšak teprve, nežli se přiblížíme lidem, třeba jest ohlédnouti se po krajině, jež všude souvisí s povahou a duševními vlastnostmi člověka, robivšího v ní trvale stánek pro sebe a své potomstvo.“*

2 Cíl práce

Cílem práce je vyhodnotit a stanovit vliv dlouhodobé aplikace hnoje a ječné slámy na množství a kvalitu organické hmoty v ornici. Dílčím cílem je porovnání vlivu používání organických hnojiv s vlivem hnojení minerálním dusíkem

Hypotézy:

1. Rozdílnými systémy organického a minerálního hnojení je dosaženo diferencí ve výnosech v závislosti na plodině a na půdně-klimatických podmínkách.
2. Rozdílnými systémy hnojení je dosaženo změn v obsahu organických látek v půdě v závislosti na půdně-klimatických podmínkách.
3. Rozdílným systémem hnojení je dosaženo změn v obsahu celkového dusíku (N_t) v ornici a poměru $C_{org}:N_t$.

3 Literární rešerše

3.1 Půda jako prostředí pro růst a vývin rostlin

Významnou složkou životního prostředí rostlin je půda. Rostliny v půdě rozprostírají svoje podzemní orgány. Kořeny, výběžky a jiné orgány se v ní nejen upevňují, ale současně z ní čerpají živiny a vodu, nezbytné pro svůj růst a vývin (Krištín 1978). Její vývin je složitý proces zvětrávání zemské kůry a rozklad zbytků organismů. Rozděluje se do několika vrstev, kdy nejsvrchnější je pro zemědělce nejzajímavější a z celého půdního horizontu i nejživější (Máchal et al. 1996)

Půda je základním výrobním prostředkem v zemědělství. Od jiných výrobních prostředků se liší tím, že správným obděláváním a zpracováváním se neopotřebovává, ale zúrodňuje. Původně se půda pokládala za mrtvou horninu smíchanou s organickými zbytky, v níž končí veškeré geologické pochody. Ve skutečnosti není půda mrtvou hmotou, ale samostatným a tvárným přírodním útvarům oživeným nespočetným množstvím organismů (Krištín 1985).

Půda je složkou ekosystému, ohraničeného prostoru, v němž jsou živá společenstva ovlivňována pěti základními abiotickými faktory – horninami, půdami, vodou, atmosférou a klimatem. Společenstva jsou jimi ovlivňována, a zároveň sama tyto abiotické faktory zpětně ovlivňují (Rejšek & Vácha 2018). Proto je půda jedním z nejdůležitějších přírodních zdrojů, je srdcem terestrických ekosystémů. Pochopení tohoto složitého systému a vztahu k půdě je klíčem ke správnému využívání krajiny s minimalizací negativních vlivů na prostředí (Urban, 2009).

3.1.1 Zdroj přístupných živin

V zemědělství, zvláště pak v ekologickém, platí zásada, že základem dobrých výnosů je kvalitní a úrodná půda, která vyživuje rostliny (Dvorský & Urban 2014). Rostlina dokáže odebírat ionty živin z půdy přímou absorpcí z půdního roztoku, výměnou adsorpcí z organominerálního sorpčního komplexu a z aktivního uvolňování živin z půdy rostlinami pomocí organických kyselin a vodíkových H^+ iontů (Rejšek & Vácha 2018). Rostlina je schopna přijímat pouze živiny, které jsou poblíž kořenů, tedy v rhizosféře (Vaněk 2007).

Zdroje živinných iontů a jejich způsob výskytu v půdě jsou čtyři:

- Zvětrávání půdotvorného substrátu – rozpad mateční horniny.

- Vstupy z atmosféry – látky jsou obsaženy ve srážkové vodě a v prachu transportovaným větrem.
- Mineralizace odumřelé organické hmoty.
- Cílené vstupy – hnojení organickými a průmyslovými hnojivy (Rejšek 1999).

Organický zásobník živin, je velmi zajímavý z hlediska vlivu zemědělské činnosti. Dříve se udávalo, že je výsledkem dekompozičních procesů biomasy a exkrementů půdní fauny. Nové poznatky však ukazují, že přímý podíl nadzemní biomasy na půdní organické hmotě je výrazně nižší, než je podíl uhlíku houbových mycelií a kořenových zbytků. Mikroorganismy ovlivňují organický zásobník živin rozkladem odumřelé biomasy, ale také prostřednictvím vlastní protoplazmy, produkty svého metabolismu a autolyzáty mikrobiálních buněk (Rejšek & Vácha 2018).

3.2 Půdní úrodnost

Před přibližně 10 000 lety začal člověk-zemědělec přeměňovat přírodní ekosystém na agroekosystém. Ten byl dobře vyvážený s nepatrnými látkovými vstupy a výstupy. Nástup industrializace a zvětšující se populace lidí měly za následek zvýšený nárok na potřebu potravin, a tím i na výnosy plodin. Tím došlo k narušení rovnováhy stávajících agroekosystémů. V koloběhu živin se počaly objevovat i nové syntetické látky. Zvýšená intenzita produkce, zavádění nových technologií a látek nutně vedly a dále vedou k většímu zatížení životního prostředí (Vaněk & Balík 2009).

Celý koloběh živin začíná a opět končí na půdě. Živiny, které se v půdě přirozeně vyskytují, jsou odčerpávány z půdy rostlinou produkcí. Z produkčního hlediska je třeba živiny do půdy dodávat zpět. Toho je možné docílit aplikací minerálních, umělých anebo organických hnojiv. Důležitým článkem koloběhu živin je živočišná výroba, díky které se živiny v podobě hnoje, kompostu, močůvky a dalších produktů vrací zpět do půdy. Důležité je sledovat bilanci živin v rámci určitého osevního postupu a do koloběhu vnášet jen takové množství živin, které zajistí potřebnou produkci, určitou kvalitu výroby a udržení, případně zlepšení půdní úrodnosti (Černý 2014).

Největší snahou zemědělce má být úsilí o co největší návratnost živin do půdy. Proto je důležité věnovat pozornost všem organickým odpadům v zemědělství, aby mohly být opět zapojeny do koloběhu, věnovat potřebnou péči statkovým hnojivům a omezit neproduktivní

ztráty na poli, ve stáji a při skladování a aplikaci hnojiv (Škarda 1982).

I při pečlivém hospodaření ke ztrátám živin dochází v důsledku skladování, prodeje apod. Tím dochází k ochuzování koloběhu o živiny, které je nutné nahradit. Aby bylo možné zajistit potřebnou produkci a udržet či zvýšit půdní úrodnost je nutné doplnit chybějící živiny minerálními hnojivy (Kolář et al. 2011).

Půdní úrodnost je výsledkem složitého souboru vlastností, které při vhodné kombinaci jednotlivých parametrů zajišťují rostlinám optimální podmínky pro růst a vývoj, a tím zajišťují realizaci jejich výnosového potenciálu. Půdní úrodnost je nutné chápat vždy podle konkrétních půdně-ekologických podmínek. Hnojením jsou významně ovlivňovány všechny prvky půdní úrodnosti (Schachtschabel et al. 1976). Množství a kvalita organické hmoty dodané do půdy jsou základním faktorem půdní úrodnosti. Při přeměně organických látek hrají nezastupitelnou roli půdní mikroorganismy (Záhora et al. 2015).

Udržování a zvyšování půdní úrodnosti organickými hnojivy má dvojí vliv:
a) obohacujeme stanoviště o přirozeně se nevyskytující nebo chybějící biogenní prvky v určitém množství,

b) zvýšení biologické aktivity půdy.

Zvýšením biologické aktivity nastanou následující skutečnosti:

- Zvýší se druhová diverzita a aktivita organismů a tím i dekompozice, humifikace a mineralizace. To povede k tomu, že se zvýší mobilita potencionálně dostupných zdrojů živin.
- Proliferace společenstev půdní fauny v počátku má ale i krátkodobý negativní dopad na rostliny. Půdní mikroorganismy po dávce hnoje fixují do svých těl některé živiny, které posléze chybí rostlinám. Jedná se pouze o krátkodobý efekt, jelikož po odumření těchto organismů, se tyto chybějící živiny opět stanou potencionálně přístupnými pro rostliny (Rejšek & Vácha 2018).

Minerální hnojiva mají okamžitý účinek na výnosy plodin, jak na hlavní, tak i na vedlejší produkty. Zatímco primární produkt z pole odvezeme, sekundární biomasa na poli většinou zůstává (kořeny, sláma, chrást, neskliditelné zbytky atd.) a obohacuje půdu o organickou hmotu. Není to však dostatečné množství, proto je vhodné přihnojovat pozemky statkovými hnojivy (Záhora et al 2015).

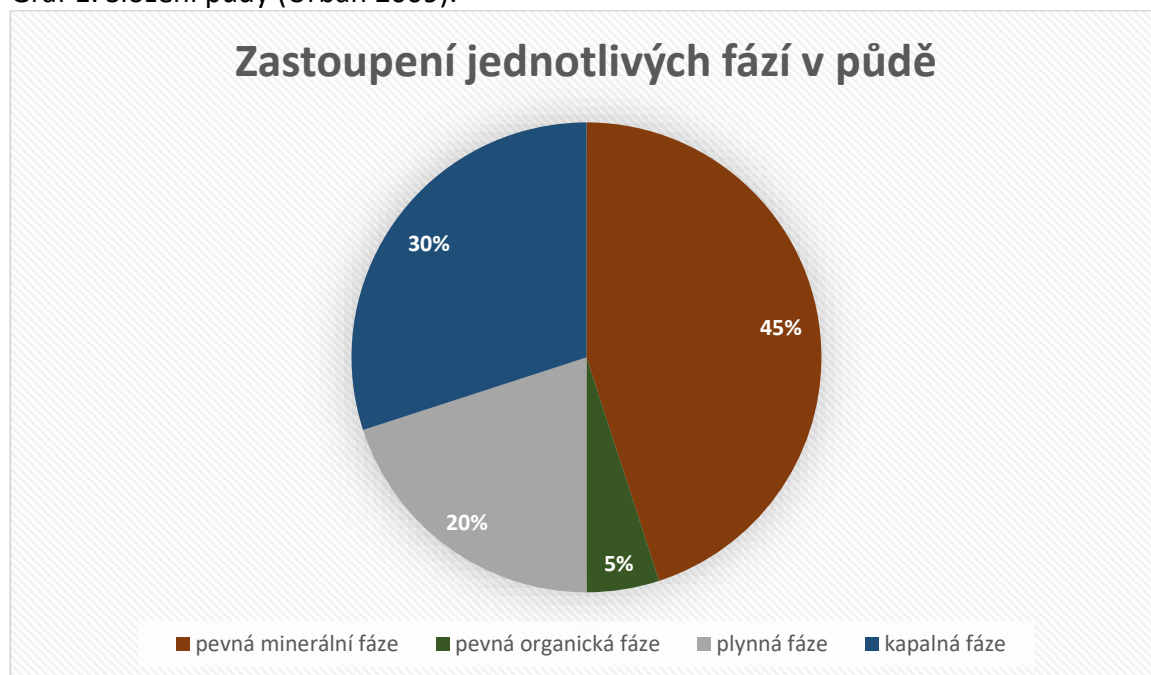
Výborným bioindikátorem půdní úrodnosti nejen v ekologickém zemědělství jsou žížaly. Už jen svojí přítomností mají pozitivní vliv na půdní úrodnost z důvodu jejich aktivity, vlivu na strukturu půdy, provzdušnění, pórovitosti a rozměňování organické hmoty. Na organicky hnojených plochách je výskyt žížal 3-4 x vyšší než na půdách organicky nehnojených (Urban 2009).

3.3 Složení půdy

Půda je nejsvrchnější vrstvou zemského povrchu. Je to třífázový systém pevného, kapalného a plynného skupenství obsahující organické i anorganické složky. V životním prostředí má půda filtrační, akumulaci, stabilizační a transportní funkce (Ivanič et al. 1984)

Složení půdy (graf 1) je proměnlivé a mění se podle mnoha faktorů. Skupenství neboli fáze půdy mají proměnlivé zastoupení podle druhu a typu půdy, ročního období a způsobu obhospodařování. Pevná fáze minerální je v půdě zastoupena **45-49 %**. Na fázi pevnou organickou zbývá **1-5 %**. Plynná fáze se v půdě pohybuje v závislosti na kapalné fázi a na každou z těchto částí připadá **20-30 %** (Šarapatka 2014).

Graf 1. Složení půdy (Urban 2009).



3.3.1 Plynná fáze půdy

Jsou to veškeré půdní plyny, kde převážně dominuje dusík, kyslík, vodní pára a oxid uhličitý (Urban 2009). Vzduch vyplňuje veškeré meziprostory mezi půdními agregáty, které mohou tvořit až polovinu objemu půdy, ve kterých není voda. Proto se stoupajícím obsahem vody klesá obsah vzduchu a naopak. Vzduch v půdě je nezbytný pro dýchání mikroorganismů i kořenů rostlin a k rozkladu organických i minerálních látek (Rejšek & Vácha 2018). Půdní vzduch se liší od atmosférického. Obsah kyslíku se pohybuje průměrně od 19-20 %.

Oxid uhličitý je zastoupen přibližně 0,3 % a v půdě má významnou roli. Je výsledkem dýchání a rozkladu organických látek. Rozpouští se ve vodě a tím tvoří kyselinu uhličitou, která je účinným rozpouštědlem živin, které se tím zpřístupní rostlinám. Únikem z půdy podporuje fotosyntézu rostlin. Jestliže však jeho obsah v půdním vzduchu překročí 1 %, působí již jedovatě.

Dusík se v půdě vyskytuje přibližně jako v atmosféře. Je nezbytný pro činnost nitrogenních bakterií.

Některé plyny mohou působit i škodlivě. Jedná se především o sirovodík, vodík, metan a oxid siřičitý, které vznikají rozkladem organických látek.

Vzduch v půdě neustále cirkuluje nekapilárními póry, a to díky teplotním rozdílům, vsakující se vodě nebo změnám barometrického tlaku atd. Soustavnou výměnou se půdní vzduch obohacuje kyslíkem a zbavuje se škodlivých plynů. K přirozeným obměnám vzduchu dochází pouze na půdách s otevřeným, kyprým povrchem; bez půdního škraloupu (Krištín 1985).

3.3.2 Kapalná fáze půdy

Jedná se o vodu v půdě v různých formách a o půdní roztok, jehož složení se mění v závislosti na ročním období, srážkách, biologické aktivitě, atd. (Urban 2009). Kapaliny se v půdě dělí do skupin na vodu volnou, gravitační, kapilární a vodu vázanou.

Volná voda vyplňuje póry, které jsou podle světlosti buď kapilární (s průměrem do 0,2 mm) nebo nekapilární (větší průměr než 0,2 mm).

Dále se dělí podle směru pohybu v půdě na:

- Gravitační voda – pohybuje se vlivem zemské gravitace nekapilárními póry od povrchu do hloubky.

- Podzemní voda – vytváří se z gravitační vody, která při vsakování naráží na nepropustnou část půdy a hromadí se.
- Kapilární voda – pohybuje se v kapilárách všemi směry i proti směru působení gravitace. Pohybuje se vždy z místa vlhčího na místo sušší.
- Adsorpční voda – půdní voda, vázaná koloidními silami na povrch pevných půdních částic.

Vázaná voda je buď součástí půdních částíček nebo je jimi poutána. Je buď zcela nepohyblivá, nebo se pohybuje velmi pomalu.

- Vnitřní voda – je vázána přímo v molekulách minerálních a organických složek půdy.
- Vnější voda – je vázána na povrchu půdních částíček. Vzniká srážením a zahušťováním půdních par.

Voda má v půdě mnohostranný význam. Napomáhá při zvětrávání hornin, ovlivňuje tepelné poměry, soudržnost, přilnavost, a tím i obdělávatelnost půdy. Je základní podmínkou života a činnosti mikroorganismů i rostlin. Rozpouští a dopravuje živiny k rostlinným kořenům. Ne však veškerá voda v půdě je fyziologicky užitečná, tedy rostlinami přijatelná (Rejšek & Vácha 2018).

3.3.3 Pevná fáze půdy

Je tvořena půdními částicemi, které jsou buď organického, anebo minerálního původu. Minerální pevné látky jsou produktem zvětrávání půdotvorného substrátu. Organické pevné látky jsou produktem dekompozice rostlinné, živočišné a mikrobiální odumřelé hmoty (Rejšek & Vácha 2018).

Zvláštní, a přitom velmi důležitou součástí půdy jsou částice mikroskopických rozměrů (velikost do 0,2 μm), jež se nazývají koloidy. Podle původu se rozdělují na organické a minerální. Velmi často dochází k spojování organických a minerálních koloidů za vzniku organominerálního sorpčního komplexu. Už samotná přítomnost koloidů významně ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Mají schopnost poutat vodu a výrazně ovlivňují vodní režim. Nejdůležitější funkcí je schopnost poutat na sebe pevné a kapalné látky a plyny. Tato

schopnost souvisí s obrovským povrchem koloidů, který může v ornici 1 ha pole dosahovat plochy celé naší republiky (Urban 2009).

Důležitá je kvantitativní a kvalitativní povaha sorpčního komplexu. Kvantitativní charakter vystihuje sorpční kapacita půdy. Ta udává, kolik živin může poutat sorpční komplex (neboli půda). Sorpční kapacita závisí především na množství koloidů obsažených v půdě, především pak na organických koloidech (humus), které mají poutací schopnost 6-7 x vyšší než minerální koloidy.

Kvalitativní povaha sorpčního komplexu je určena sorbovanými kationty, kdy je žádoucí, aby převládaly dvojmocné kationty, jako jsou vápník a hořčík. Druhou kvalitativní povahou je podílem humusových koloidů, kdy vyšší podíl zvyšuje dynamičnost půdy (Rejšek & Vácha 2018).

3.3.3.1 Minerální část

Půdotvorným substrátem je buď mateční hornina stanoviště nebo přemístěný sediment. Půdotvorné horniny (kterých jsou desítky druhů) rozdělujeme do tří skupin:

- Horniny primární – vyvřelé
- Horniny sekundární – usazené
- Horniny přeměněné – metamorfované

Tyto horniny jsou složeny z minerálů, stejnorodých pevných přírodnin, které jsou v jakékoliv své dílčí části chemicky shodné a disponují i identickým atomárním uspořádáním.

Aby z hornin vznikly anorganické pevné půdní částice, musí nutně dojít k zvětrávání. Zvětrávání hornin probíhá fyzikální (mechanickou) nebo chemickou cestou, přičemž obě možnosti mohou být generovány i organismy – v tom případě hovoříme o biologickém zvětrávání (Rejšek & Vácha 2018).

Půdní koloidy se dělí podle elektrického náboje na acidoidy, bazoidy a amfolitoidy. Acidoidy nesou záporný náboj, proto na sebe poutají kationty (H^+ , Na^+ , K^+ , NH^+ , Ca^{2+} aj.); bazoidy jsou s kladným nábojem a poutají anionty (OH^- , $H_2PO_4^-$ aj.) a amfolitoidy mají náboj proměnlivý (Krištín 1978).

Úlohou těchto koloidů v půdě je poutat na sebe ionty a chránit je tím před vyplavením a následně je zpřístupňovat rostlinám. Tato výměna probíhá v jemných koloidních frakcích půdy čili mezi humusem a jílovými minerály, tvořících sorpční komplex (Šarapatka 2014).

Fyzikální zvětrávání může být způsobeno změnou teplot (každý minerál má svou danou teplotní roztažnost), změnou skupenství vody v prasklinách a pórech minerálů nebo obrušováním činností větru. Tímto způsobem dochází k odlamování hornin, avšak jednotlivé prvky jsou stále pevně vázány a nedochází k jejich mobilizaci.

Biologické zvětrávání je způsobeno fyzikální a chemickou činností živých organismů (prorůstání kořenů). Další možností je zvětrávání karbonátů, které by nebylo možné bez CO₂ produkovaného dýcháním živých organismů.

K chemickému zvětrávání dochází nejlépe v teplých a vlhkých oblastech. Chemickou cestou vznikají sekundární minerály, mezi něž patří i jílové částice a nerozpustné oxidy, které se akumulují uvnitř zvětralin. Chemickým zvětráváním dochází k modifikaci primárních minerálů (křemičitany, uhličitany, sírany apod.) na sekundární minerály, které jsou více zastoupené v půdním prostředí (Pavlů 2019).

Mezi sekundární minerály patří především jílové minerály, které jsou velmi důležitou složkou pevného podílu. Klíčový význam mají v zadržování vody a poutání živin (Krištín 1985). Dělí podle struktury a uspořádání vrstev. Spojují se do dvojvrstev nebo trojvrstev. Rozdíl mezi dvoj a trojvrstvou je, že trojvrstva má schopnost bobtnání. V průběhu pedogeneze se mohou jílové minerální částice měnit a přecházet jedna v druhou (Pavlů 2019).

3.3.3.2 Organická část

Neživá složka půdy

V ekologickém zemědělství má obrovský význam množství a kvalita půdního humusu a obsah organické hmoty v půdě. Je to vlastně zásobník půdních živin, které se postupně uvolňují a díky aktivitě půdních mikroorganismů jsou přístupny rostlinám (Dvorský & Urban 2014).

Jedná se o část půdního matrixu, v níž se nachází jeden nebo více atomů uhlíku, se kterým je svázáno dalších pět nezbytných biogenních makromolekul – dusík, síra, fosfor, vodík a kyslík (Kolář et al. 2011).

Organický půdní podíl vzniká hromaděním po předchozím rozkladu tří možných vstupů:

- Pletiv, tkání a buněk organismů po jejich odumření.
- Konečnými metabolity živých organismů – exkrementy a výměty.
- Adaptivně vylučovaných produktů metabolismu živých organismů během jejich života, jejich exsudátů a výměšků.

Tyto látky pak podléhají čtyřem procesům:

- Hromadění
- Rozklad a následná mineralizace
- Rozklad a následná humifikace
- Rozklad a následná asimilace

Organická hmota je zastoupena rostlinným opadem, mrtvými těly živočichů, exkrementy a mikroorganismy. Dlouhou dobu se tyto položky považovaly za převládající část organického půdního podílu. Dnes již víme, že většina organického materiálu pochází z podzemní biomasy rostlin, tj. kořenů a mykorhiz anebo z těl půdních organismů (Rejšek & Vácha 2018).

Je to dáno nižší kvalitou podzemní biomasy, jelikož kořeny obsahují více strukturálních látek a méně živin, proto v půdě setrvávají až 3x déle než nadzemní biomasa na živiny bohatá (Šantrůček & Šantrůčková 2018).

Organická hmota, která je v půdě, podléhá řadě změn. V procesu humifikace pak vznikají různé formy humusu s pozitivním vlivem na půdní strukturu a výživu rostlin. Neživá organická hmota se v půdě rozkládá a přeměňuje – ztrácí strukturu a některé části úplně zmizí. Úplný rozklad se nazývá mineralizace. Doba jejich rozkladu závisí na složení organické látky a na podmínkách v nichž rozklad probíhá (Mentlík 2003).

Při humifikaci se část organických látek přemění na tzv. humus trvalý a část na humus živný, který se skládá z vedlejších produktů humifikace a slouží jako výživa pro mikroorganismy (Haider 1996). Trvalý humus je relativně velmi stabilní, tmavě zbarvená látka. Podíl humusových složek v půdě se pohybuje od 2-12 %. Humusové sloučeniny zaujmají 85-90 % ze všech organických látek v půdě.

Jako ukazatel kvality humusu na zemědělských půdách slouží poměr huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK).

Fulvokyseliny jsou žlutě zbarvené látky, jež jsou rozpustné ve vodě a tím i pohyblivé v půdě. Vznikají jako první stupeň při humifikaci. Do svých molekul mohou vázat velké množství živin pro rostliny. Při zasakování vody hrozí i splavení fulvokyselin do hlubších vrstev půdy, mimo dosah kořenů a tím ke ztrátě živin. Kationtová výměnná kapacita je přibližně 900-1400 mmol_(c)/100 g. (Rejšek & Vácha 2018).

Huminové kyseliny jsou tmavě zbarveny a vodě nerozpustné (čím větší molekula, tím je rozpustnost horší). Jsou velmi stabilní, s vysokou molekulovou hmotností. Vyznačují se i obrovským aktivním povrchem (asi 10x větší než u minerálních koloidů). V půdě tvoří vodostálé struktury. Když se huminové kyseliny nasatí kationty, označují se je jako humáty neboli soli huminových kyselin – např. humát vápenatý, humát sodný atd. Pokud se huminová kyselina spojí fyzikální vazbou s jílem vzniká komplex nazývaný humin (Urban 2009). Kationtová výměnná kapacita činí 400-870 mmol_(c)/100 g. Huminové kyseliny nejsou agresivní vůči minerální složce půdy.

Huminy jsou takovou složkou humusu, která ve vodě není rozpustná v jakémkoli rozsahu pH. Má velmi výraznou černou barvu a ze všech složek humusu i největší molární hmotnost. S minerální částí půdy tvoří pevnou vazbu, tzv. organominerální sorpční komplex.

Posledním vývojovým stádiem zrání humusových látek je humusové uhlí. Je nerozpustné, nemá koloidní vlastnosti a má vysoký obsah uhlíku a dusíku (Mentlík 2003).

Živá složka půdy

Biologický faktor patří mezi základní půdotvorné složky. Jedná se o rostliny a organismy žijící v půdě, kteří se významně podílejí na vzniku a vývoji půd tím, že přeměňují organickou půdní hmotu, podmiňují tvorbu humusu a mineralizují organické látky.

V půdním prostředí se nachází značné množství organismů. Uvádí se jako příklad, že v jedné kávové lžičce (1,5 g) zeminy žije tolik mikroorganismů, jako lidí na naší planetě (Urban 2009). Jejich největší počet se nachází v povrchových organominerálních horizontech půd. Obecně se udává, že do hloubky 50 cm se nachází 95 % veškerých půdních organismů (Rejšek & Vácha 2018). Patří mezi ně půdní fauna, aktinomycety, houby a většina bakterií. Autotrofní organismy zase přijímají energii ze slunečního záření.

Tyto organismy se dělí na mikroedafon (<0,2 mm), mezoedafon (0,2-2 mm), makroedafon (2-20 mm) a megaedafon (> 20 mm).

Prospěšná role organismů v půdním prostředí spočívá především:

- V dekompozici organické hmoty a přeměně anorganických látek, kdy dochází k zpřístupňování nezbytných živin rostlinám, ale i k tvorbě složitých organických látek, které obohacují zásoby humusu.
- Ve fixaci dusík, kdy hlavní roli na zemědělských půdách hraje symbióza s bobovitými druhy rostlin.
- V rhizobakteriálním efektu, kdy dochází ke kolonizování zóny okolo kořenů rostlin a bez kterého by nemohlo docházet k většině interakcí mezi půdou a kořeny.
- V ochraně rostlinných kořenů před napadáním parazitů a patogenů.
- V rozkladu toxických látek (Rejšek & Vácha 2018).

Na aktivitu a velikost populací půdních organismů působí především hnojení. Rozdíl je patrný i v aplikaci minerálního a organického hnojiva. Organická půdní hmota je důležitým zdrojem živin a energie pro půdní organismy, proto se na ekologicky obhospodařovaných půdách vyskytuje větší množství půdních organismů než na plochách obdělávaných konvenčním způsobem hospodaření. Dodáváním minerálních hnojiv ovlivňujeme organismy pouze nepřímo. Důvodem je zvýšená tvorba biomasy a posklizňových zbytků (především kořenů), které jsou zdrojem živin pro edafon (Hillel & Hatfield 2005).

Mikroedafon

Největší zastoupení mikroedafonu je především v rhizosféře. V obdělávaných a pravidelně hnojených půdách je jejich množství mnohem vyšší. Nejčastěji se jedná o heterotrofní bakterie, které svou energii získávají rozkladem organických látek. Pro výživu rostlin je důležitý aerobní rozklad, jejichž produkty jsou čpavek a kyselina dusičná. Rostliny potřebují čpavkovou (amoniakální) nebo dusičnanovou (nitrátovou) formu dusíkatých látek, aby je mohli přijímat. Nitrifikační bakterie pak enzymaticky okysličují čpavek a přetvářejí ho na kyselinu dusitou a poté na kyselinu dusičnou (Šarapatka 2014).

Bakterie, které přímo asimilují vzdušný dusík se nazývají nitrogenní bakterie. Volně žijící bakterie (*Azotobacter*) dokážou za dobrých podmínek poutat do půdy až 40 kg N/ha.

Symbiotické bakterie, nazývané také jako hlízkové (*bacterium radicola*), žijí na kořenech bobovitých rostlin (*fabaceae*), které jim poskytují bezdusíkatou výživu. Dokážou poutat až 150 kg N/ha za rok (Urban 2009).

Půdní mikroorganismy jsou klíčové pro výživu rostlin. Jednotlivé biogenní prvky, zejména dusík, fosfor, síru, draslík a železo převádějí do forem rostlinám přijatelných, čímž tedy přímo působí na výživu rostlin. Svým odumíráním jsou i poměrně značným zdrojem organické hmoty, a to až 1 t/ha za rok (Rejšek et al. 2006).

Významnou úlohu mají aktinomycety. Jedná se o nejběžněji vyskytující se bakterie v půdě. Vytváří rozsáhlá mycelia a žijí na odumřelých zbytcích rostlin, kde rozkládají především celulózu a chitin a podílí se na tvorbě humusových látek.

Houby, které vytváří symbiotické vztahy (mykorrhiza) s vyššími rostlinami, mají velký význam pro výživu rostlin tím, že zpřístupňují příjem jednotlivých živin (Mentlík 2003).

3.4 Dusík v půdě

Ekologické zemědělství se zříká synteticky vyrobených dusíkatých hnojiv. Důvodem je prevence přehnojení dusíkem, který při vysokých dávkách způsobuje u rostlin větší náchylnost k napadení chorobami a škůdci. Dusík čerpají rostliny z půdy, do které se přirozeně dostává ze vzduchu, hlavně biologickým procesem. Vzdušný dusík jsou schopné do půdy asimilovat některé druhy mikroorganismů, z nichž některé žijí v symbióze s bobovitými rostlinami (Dvorský & Urban 2014).

Celkový obsah dusíku (N_t) v orniční vrstvě půd se pohybuje v průměru okolo 0,1 až 0,2 %. Z toho lze vypočítat, že v orniční vrstvě se nachází 3000 až 6000 kg N/ha. Z tohoto množství jsou rostlinám přístupná pouze 1 až 2 % ve formách NH_4^+ , NO_3^- , popř. NO_2^- . Celkové množství minerálního dusíku v této půdní vrstvě může být 5 až 10 %, jedná se však většinou o nativně fixovaný NH_4^+ , který je rostlinám jen málo dostupný. Hlavní podíl je v organických dusíkatých sloučeninách, jejichž dusík je, až na výjimky rostlinám nedostupný. Zdroji organického dusíku v půdě jsou biomasy mikroorganismů, metabolity organismů žijících v půdě, rostlinné a živočišné zbytky, humus aj. (chitin, močovina, kyselina močová, apod.) (Tesař & Vaněk 1992).

Obsah celkového N v půdě se často uvádí ve spojení s obsahem humusu v půdě nebo s obsahem oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) jako poměr C:N. Na našich zemědělsky využívaných půdách je průměrná hodnota 10:1. Za poměr, který ještě dostatečně zásobuje půdy dusíkem je považována hodnota 15-18:1 (Sirový et al. 1967; Ivanič et al. 1984).

Pro hlubší studium dusíku a jeho sloučenin v půdě se používá frakcionace humusu nebo frakcionace dusíku organických dusíkatých sloučenin. Metod zjišťování je více, reakce probíhají v kyselém či zásaditém prostředí s využitím různých chemikálií. Nejčastěji se využívá hydrolytická frakcionace dusíkatých látek v kyselém prostředí (Bremner 1965).

Podíl organicky vázaného dusíku v půdě tvoří okolo 90-98 % z celkového dusíku. Ve vztahu k hydrolyze se dělí organické sloučeniny dusíku na dvě skupiny: na hydrolyzovatelný dusík a na nehydrolyzovatelný zbytek.

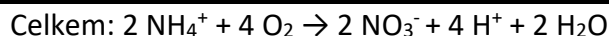
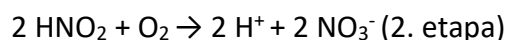
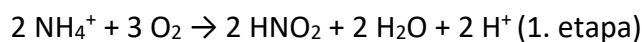
Hydrolyzovatelný dusík je tvořen zejména amidy, α -aminokyselinami, aminocukry, purinovými bázemi apod. Nehydrolyzovatelný zbytek tvoří stabilnější humusové látky složitějších chemických vazeb, těžko rozložitelných mikroorganismy a jejichž dusík je rostlinám těžko přístupný (Ivanič et al. 1984).

V koloběhu dusíku v půdě jsou dva základní protichůdné procesy. Jedná se o mineralizaci organických dusíkatých sloučenin, kdy dochází k rozpadu až na dusičnany. Druhým procesem je syntéza složitých organických dusíkatých sloučenin, kdy dochází k imobilizaci minerálních forem dusíku (Vaněk et al. 2008).

Bílkoviny, humusové látky \leftrightarrow aminokyseliny, amidy \leftrightarrow amoniak \leftrightarrow dusitany \leftrightarrow dusičnany

Enzymy mikrobů nejprve hydrolyticky štěpí bílkoviny až na aminokyseliny, ty podléhají deaminaci za vzniku amoniaku a dalších sloučenin. Amonizace probíhá v aerobním i anaerobním prostředí. Hromadění amoniakálního dusíku v půdě je závislé na mnoha specifických činitelích. Množství uvolněného amoniaku v půdě nezávisí jen na množství organických dusíkatých látek, ale hlavně na jejich kvalitě, především poměru C:N. Je-li poměr širší než 25:1, tak vzniklým NH_3 nestačí mikroorganismy pokrýt ani vlastní potřebu (Tesař & Vaněk 1992).

Dalším procesem je nitrifikace. Jedná se o biochemický proces oxidování amoniaku a jeho solí na dusitany a následně na dusičnany s řadou meziproductů. Nitrifikační bakterie získávají z amoniaku, jeho solí a dusitanů potřebnou energii pro svůj růst a vývin a zároveň jsou tyto látky pro ně i zdrojem dusíku. Výsledné reakce vypadají následovně:



V první etapě působí nitrifikační bakterie (*Nitrosomonas* a další), v druhé se podílejí bakterie nitratační (*Nitrobacter*). Při nitrifikaci dochází k uvolňování vodíkových iontů, které okyselují půdu. U nitrifikace je, na rozdíl od amonizace, rozhodující hodnota pH a nutné je i aerobní prostředí. Nejpříznivější hodnota pH se udává mezi 6,2 až 9,2 (Káš & Langkramer 1964). Při teplotě nižší než 5-10 °C se nitrifikační procesy v našem klimatickém pásmu téměř zastavují. Nezbytný je i správný poměr vody a vzduchu v půdě. *Nitrobacter* je na nedostatek vzduchu v půdě citlivější než *Nitrosomonas*, což může v půdě mít za následek hromadění dusitanů (Ivanič et al. 1984).

3.5 Půdní reakce

Půdní roztoky jsou založeny na obsahu iontů vodíku (H^+) a hliníku (Al^3). Podle obsahu těchto iontů v půdním roztoku se zvyšuje jeho kyselost. Tyto kyselé ionty mají negativní schopnost nahrazovat bazické ionty, které jsou důležité pro výživu rostlin (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1} a Na^{+1}). Pokud jsou v půdě akumulovány kyselé ionty, jsou půdní báze vytlačeny do půdního roztoku, odkud jsou vyplaveny z dosahu kořenů rostlin. Nevhodnou kyselost půdy lze upravit přidáním vápence (CaCO_3) (Mentlík 2003).

Voda působí v půdě jako rozpouštědlo, dále hydratačně a hydrolyticky. V půdní vodě je obsažen i oxid uhličitý, popřípadě jiné látky vzniklé rozkladem organických látek v půdě a tím působí jako slabá kyselina. Hydratační účinek se projevuje tím, že molekuly vody se nabalují na molekuly sloučenin, ionty a koloidy, případně tvoří sloučeniny vázané k molekulám nazývané hydráty. Hydratované složky jsou reaktivnější a jsou i přístupnější pro další chemické půdní reakce. Hydrolytický účinek vody funguje způsobem, kdy se voda disociuje na volné vodíkové a hydroxylové ionty, které významně ovlivňují půdní chemii. Půdní voda s rozpuštěnými a disociovanými látkami tvoří půdní roztok, v němž jsou rozpuštěny živiny nezbytné pro rostliny (Haider 1996).

Koncentrace a složení půdního roztoku není stálé, ale stále se mění. Reaguje na odčerpávání živin kořeny rostlin a na změnu vlhkosti půdy. Pravidelným hnojením průmyslovými hnojivy a rozkladem organické hmoty v půdě se zvyšuje koncentrace půdního

roztoku. Vyšší koncentrace živin působí na organominerální sorpční komplex a způsobují výměnné reakce. Kationty obsažené v půdním roztoku se vyměňují za kationty sorpčního komplexu, tím přecházejí do půdy a stávají se přístupnými rostlinám (Schachtschabel et al. 1976).

Půdní reakce se stanovuje z poměru mezi koncentrací vodíkových ionů (hydroxoniových a hydroxylových) v půdní suspenzi. Tento poměr je vyjádřen hodnotou pH.

Rozeznáváme hned tři druhy půdních reakcí:

- **Půdní reakce aktivní** (pH/H₂O) – vyjadřuje aktuální pH ve vodném výluhu zeminy.
- **Půdní reakce výměnná** (pH/KCl) – vyjadřuje schopnost půdy měnit pH roztoků neutrálních solí, kdy dojde k výměně vodíkových ionů za ionty chloridu.
- **Půdní reakce hydrolytická** – charakterizuje schopnost půdy měnit reakci hydrolyticky štěpitelných octanů (Rejšek & Vácha 2018).

Kyseliny jsou látky, které dokážou uvolňovat (štěpit) vodík. Zásady jsou látky, které vodík přijímají (vážou). Čím je kyselina silnější, tím snadněji uvolňuje vodík a zásada je tím silnější, čím snadněji vodík přijímá. V půdě tyto reakce probíhají v nejběžnějším rozpouštědle, kterým je voda (Hillel & Hatfield 2005).

Význam pH má v půdě přímý i nepřímý vliv. Obecně má pH vliv na příjem biogenních prvků. Přímý vliv spočívá především v ovlivňování biochemických půdních procesů a v příjmu živin. Reakce půdy (pH) má význam především ve skutečnosti, že současný odběr přijatelných živin rostlinami je vázán na aktuálně probíhající biochemické reakce.

Nepřímý vliv na půdní reakce spočívá především v ovlivňování celkového charakteru vývoje půd, zvětrávání a humifikaci, celkově na půdní strukturu a vznik půdních koloidů (organických i minerálních) (Schachtschabel et al. 1976).

Nejde ale pouze jen o půdní biochemii a příjem nezbytných biogenních prvků. Půdní reakce je i významná z hlediska mobility potencionálně rizikových prvků v půdě. Obecným pravidlem je, že v kyselejších půdách se zvyšuje mobilita rizikových prvků především u kadmia, zinku a niklu. V neutrálním až mírně zásaditém prostředí má zase vyšší mobilitu arzén (Rejšek & Vácha 2018).

3.6 Nároky na výživu a podmínky růstu jednotlivých plodin

3.6.1 Pšenice obecná

Pšenice je náročná na teplo a vláhu, proto se jí nejlépe daří v teplém podnebí se středním množstvím srážek, které jsou stejnoměrně rozděleny. Pěstuje se ve všech výrobních oblastech ČR. Je velmi náročnou plodinou na obsah živin v půdě a na půdní podmínky. Nejlepších výnosů dosahuje na středních až těžších půdách v rozmezí pH od 6,2-7. Nevhodné půdy jsou lehké, vysychavé, kyselé a zamokřené (Konvalina et al. 2010).

Vhodnými předplodinami jsou zlepšující plodiny – luskoviny, jeteloviny, ozimá řepka a okopaniny hnojené statkovými hnojivy. Pěstování pšenice po jiných obilovinách má negativní dopad na výnos a na potravinářskou kvalitu (Kuchtová et al. 2014).

Hnojení minerálním dusíkem je závislé na předplodině, průběhu počasí, stavu porostu a intenzitě pěstitelské technologie. Z hlediska časové aplikace N hnojiv je lze rozdělit na:

A Základní hnojení – provádí se nejpozději do období setí. Přes podzim a zimu by však docházelo ke ztrátám dusíku a ani potřeba rostlin není příliš vysoká, není vhodné v této době dusíkem hnojit. Pouze na pozemcích méně úrodných, po špatné předplodině anebo po zaorávce velkého množství posklizňových zbytků, je možné aplikovat část dusíku (do 40 kg N/ha) nejlépe v podobě síranu amonného.

B Přihnojení během vegetace – hnojení na list. Tímto způsobem se aplikuje převážná část dusíkatých hnojiv. Dělí se podle období a vzrůstu rostlin na:

- **Regenerační** – po přezimování brzy z jara. Dávky činí 20-60 kg N/ha nejlépe v podobě LAV. Toto hnojení zajišťuje dobrou výnosovou jistotu, vzhledem k příznivým vláhovým podmínkám.
- **Produkční** – po odnožení do začátku sloupkování, kdy dochází k diferenciaci vegetačního vrcholu a zakládá se počet zrn v klasu. V tomto období začíná zvýšená potřeba dusíku. Podle potřeby se dávka dusíku pohybuje okolo 20-60 kg N/ha. Vhodnými hnojivy jsou LAV a DAM 390.
- **Kvalitativní** – pozdní přihnojování, které se uskutečňuje těsně před metáním. Tímto hnojením ovlivňujeme kvalitu zrna a HTS. Dávka činí 20-30 kg N/ha v podobě LV nebo LAV. Účinnost hnojení je velmi závislá na následujícím počasí po aplikaci (Vaněk 2007).

Dusík se vyrovnává v příznivém poměru fosforečnými hnojivy (Thomasova moučka, superfosfát), kdy se zaorá ¾ dávky na podzim a zbytek se rozmetá z jara. Draslík se doplňuje draselnou solí. Pokud jsou půdy chudé na vápník, zvyšuje se jeho obsah aplikací k předplodině (Šnobl & Pulkrábek 2007).

Pšenice odebírá při dobré sklizni z půdy značné množství živin a poměrně obtížně je z půdy resorbuje. Zpočátku přijímá pšenice živiny pozvolna, po odnožení se však resorpce rychle zvyšuje a největší výše dosahuje v době metání a kvetení (Capouchová et al. 2014).

Tabulka 1. Průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech pšenice ozimé (Wollnerová et al. 2020).

Produkt	Poměr hlavního produktu k vedlejšímu produktu	Průměrný odběr živin (kg/t)		
		N	P	K
Zrno		20,4	2,9	3,5
Sláma		4,7	0,6	11,1
Celkem*	1 : 0,9	24,6	3,4	13,5

* vyjadřuje odběr živin v zrně a slámě, v přepočtu na jednu tunu zrna.

3.6.2 Ječmen setý

Jarní ječmen vyžaduje mírně slunné podnebí a střední množství srážek. Z půd jsou nejvhodnější černo a hnědozemě v řepařsko-obilnářských oblastech. Nesnáší kyselou reakci, která vede k výraznému snížení výnosu zrna. Optimální pH je v rozpětí 6-7,1. Ječmen je velmi citlivý na výkyvy počasí, špatné pH a utuženou půdu (Kuhn & Skládal 1962).

Ječmen je na předplodiny dosti náročný, jelikož vyžaduje půdu v dobré síle, kyprou a bez plevele. Velmi vhodnými předplodinami jsou hnojené okopaniny, kdy dosahuje stabilních výnosů. Dále dosahuje slušných výnosů i po ozimé pšenici v řepařských oblastech. Naopak nevhodnými předplodinami jsou luskoviny a jeteloviny, kdy dochází k poléhání a v zrně je vysoký obsah bílkovin (Kuchtová et al. 2014). Jarní ječmen se řadí k nejcitlivějším plodinám na hnojení. U sladovnického ječmene je důležité nepřehnojovat porost dusíkem (Shejbalová et al. 2014).

Hnojení dusíkem se u jarního ječmene provádí zpravidla před setím, ale lze hnojit i za vegetace ve fázi 3-4 listů, kdy se dávka dělí. Běžná dávka činí 60-80 kg N/ha jednorázově před setím. Pokud máme dávku vyšší, aplikujeme 2/3 před setím a 1/3 za vegetace. Jako hnojivo je vhodné použít DAM 390, síran amonný nebo močovinu (Vaněk 2007). Pokud hnojíme větší

dávku N je nutné zvýšit i dávku fosforečných hnojiv. Největší požadavky má ječmen na draslík (Shejbalová et al. 2014).

Pro dosažení solidního výnosu zrna je nutné zásobit ječmen dostatečným množstvím pohotových živin, jelikož v relativně krátké době jich odebere poměrně velké množství (Sedlář et al. 2017).

Tabulka 2. Průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech ječmene jarního (Wollnerová et al. 2020).

Produkt	Poměr hlavního produktu k vedlejšímu produktu	Průměrný odběr živin (kg/t)		
		N	P	K
Zrno		15,1	2,8	3,9
Sláma		5,9	0,8	13,7
Celkem*	1 : 0,6	18,6	3,3	12,1

*vyjadřuje odběr živin v zrnu a slámě, v přepočtu na jednu tunu zrna.

Setí sladovnického ječmene je nejvhodnější do půdy v druhém roce po vyhnojení hnojem. Chybějící živiny se doplní minerálními hnojivy. Pokud následuje ječmen sladovnický po okopanině, která byla silně hnojená nebo jetelovinách, může dusík postačit z půdní zásoby (Sedlář et al. 2017).

3.6.3 Lilek brambor

Brambory je možné pěstovat ve všech výrobních oblastech ČR, ale nejnepříhodnější je pro ně oblast bramborářská, kde jsou lehčí až středně těžké půdy s dobře propustnou spodinou, lehce kyselou reakcí (pH 5,5 – 6,5) a dobrou úrovní staré půdní síly (pozemky jsou pravidelně hnojené organickými hnojivy). Mezi nevyhovující půdy patří zamokřené, kamenité nebo extrémně lehké půdy. K nejstabilnějším výnosům dochází v bramborářských oblastech s ročním úhrnem srážek 650-800 mm. Brambory vyžadují během vegetace kyprou a dobře provzdušněnou půdu (Dvořák et al. 2009).

Brambory jsou v osevním postupu řazeny jako zlepšující a odplevelující plodina. Na předplodinu nemají zvláštní nároky, především jsou-li hnojeny statkovými hnojivy. Jako vhodné předplodiny jsou luskoviny, jeteloviny, cukrovka, silážní kukuřice apod. Samotné brambory se zařazují nejčastěji mezi dvě obiloviny. Pěstitelsky jsou brambory po sobě snášlivé, ale z důvodů prevence chorob a škůdců je lepší nechávat 4.-5. leté odstupy (Jůzl & Pulkrábek 2000).

Nejvhodnějším organickým hnojivem je chlévský hnůj, případně kompost, který se zaorává bezprostředně po aplikaci od srpna do října v dávce 30–40 t/ha. Hnůj je snadno nahraditelný kejdou skotu (45-60 t/ha), prasat (30-35 t/ha) nebo drůbeže (15-20 t/ha), pokud je rovnoměrně rozmetená a okamžitě zapravená do půdy. Sláma obilovin nebo řepky je vhodným organickým hnojivem, ale musí se skombinovat s menší dávkou hnoje, kejdy, zeleného hnojení nebo průmyslovými hnojivy, aby se zúžil poměr C:N. Zelené hnojení využívají brambory nejlépe ze všech plodin. Zvyšuje výnosy hlíz, odolnost vůči chorobám a celkově i chuť stolních brambor (Hamouz et al. 2008).

Největší požadavky jsou na dusík a draslík. Živiny by měly být v půdě snadno přijatelné a ve vyrovnaném poměru. Dusík podporuje růst natě a za dostatku P a K i velikost hlíz. Jednostranné hnojení N prodlužuje zrání, snižuje škrobnatost hlíz a odolnost rostlin. Největší nároky jsou v období začátku tvorby pupat až květu (Kuhn & Skládal 1962).

Fosfor urychluje zrání a zlepšuje škrobnatost. Celkový odběr P je u brambor poměrně nízký, protože brambory patří k plodinám se střední schopností jeho příjmu. Nejintenzivnější příjem probíhá ve fázi pupat a květu (Hamouz et al. 2008).

Draslík zlepšuje růst natě, odolnost vůči nepříznivým podmínkám, chorobám, zlepšuje škrobnatost, odolnost a výnos hlíz. Při nadměrných dávkách průmyslových hnojiv se snižuje obsah sušiny a škrobu v hlízách.

Ač bramborám vyhovuje kyselejší prostředí, mají relativně velkou spotřebu vápníku. Ten významně ovlivňuje tvorbu kořenového systému (Šnobl & Pulkrábek 2007).

Tabulka 3. Průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech brambor (Wollnerová et al. 2020).

Produkt	Poměr hlavního produktu k vedlejšímu produktu	Průměrný odběr živin (kg/t)		
		N	P	K
Hlízy		3,5	0,5	4,5
Nať		2,8	0,2	4
Celkem*	1 : 0,2	4,1	0,5	5,3

* vyjadřuje odběr živin v hlízách a nati, v přepočtu na jednu tunu hlíz.

Podle tabulky je zřetelné, že brambory odebírají velké množství živin. Především je to vidět u Ca. Export živin z pozemku je však menší, než tabulka udává, nechává-li se nadzemní část na poli. Když se uváží chemické složení rostliny, je patrné, že většina Mg a Ca zůstává na poli (Ivanič et al. 1984).

Tabulka 4. Průměrné chemické složení hlíz a natě bramborů (Kuhn & Skládal 1962).

Část rostliny	Podíl čerstvé hmoty (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Hlízy	0,34	0,07	0,48	0,02	0,03
Natě	0,49	0,07	0,36	0,45	0,20

Draselná a fosforečná hnojiva se zaorávají na podzim spolu s organickými hnojivy. Dávka P se pohybuje podle půdní zásoby (při aplikaci hnoje 35 t/ha) od 80 do 120 kg čisté živiny P na hektar (Jůzl & Pulkrábek 2000).

Při hnojení draslíkem je nutné dát pozor na obsah chloru, který snižuje škrobnatost hlíz a celkově výnos škrobu. Proto je lepší volit hnojiva s nízkým nebo žádným obsahem chlóru, jako jsou síran draselný nebo síran hořečnato-draselný (Vokál et al. 2000). Dávka je různá, záleží na půdní zásobě, ale pohybuje se (při aplikaci hnoje 35 t/ha) od 60 až do 160 kg čisté živiny K na hektar (Burton & Turner 2003).

Minerální dusík se aplikuje většinou před výsadbou ve formě síranu amonného, močoviny nebo DAM 390, zvláště u ranných a poloraných kultivarů. Jen u pozdních odrůd a na lehčích půdách se dávka dělí tak, že se 2/3 aplikují před výsadbou a 1/3 při vzcházení. Dále se přihnojuje během vegetace, pokud je porost poškozený například mrazem (Ivanič et al. 1984). Dávka před výsadbou činí 80 kg N/ha, na písčitých půdách 60 kg N. Pokud budou dávky minerálního N vyšší, volí se varianta s přihnojováním za vegetace a jako hnojivo je vhodné LAV (Vaněk 2007).

Brambory jsou poměrně náročné na hořčík. Dávka Mg by se měla pohybovat od 50 kg/ha v čisté živině (při vyhovující půdní zásobě) do 65 kg/ha v č.ž. (nízká zásoba). Zpravuje se před výsadbou, většinou ve vícesložkových hnojivech.

Z mikroprvků se může vyskytovat nedostatek boru, manganu a zinku. Na běžných plochách, pravidelně hnojených statkovými hnojivy je jejich výskyt ojedinělý a problém je spíše způsoben neschopností jejich příjmu (vysoká hodnota pH). Nedostatky se dají odstranit pohnojením 10 kg boraxu, 10 kg síranu manganatého a 5 kg síranu zinečnatého na hektar (Míča 1975).

K bramborám není vhodná přímá aplikace vápenatých hnojiv. Optimální je vyvápnit pozemek po sklizni nebo k jiné plodině v osevním sledu (Jůzl & Pulkrábek 2000).

3.7 Zdroje organické hmoty – organická hnojiva

Předpis ekologického zemědělství (EZ):

Článek 12 NR č. 834/2007-O ekologické produkci a označování ekologických produktů.

Půdní úrodnost a biologická aktivita půdy v EZ se musí udržovat a v případě potřeby zlepšovat těmito metodami:

- Pěstování leguminóz, zeleného hnojení a hluboce kořenících rostlin.
- Využívání pestrých a vhodných osevních postupů.
- Používání statkových hnojiv a organické hmoty, která je vedlejším produktem ekologické produkce.

Minerální hnojiva jsou zakázána. Nákup statkových hnojiv z konvenčních chovů se povoluje za předpokladu, že se nejedná o neetické velkochovy (tj. průmyslové chovy drůbeže a prasat s řízeným prostředím, bez přímé vazby na zemědělskou půdu).

Hnojit statkovými hnojivy živočišného původu lze pouze do hodnoty 170 kg N na hektar zemědělské půdy za rok (Dvorský & Urban 2014).

V ekologickém zemědělství je nezbytné umět správně nakládat a manipulovat s organickými hnojivy a posklizňovými zbytky. Statková hnojiva od hospodářských zvířat dodána do půdy pak uzavírají koloběh živin. Organickými hnojivy nedodáváme do půdy pouze prvky pro výživu rostlin, ale zlepšujeme jimi půdní vlastnosti a jsou důležitým zdrojem energie a živin pro půdní subekosystém. V ekologicky vedených zemědělských podnicích se nejčastěji setkáme se slamnatým hnojem a močůvkou (Urban 2009).

Statková hnojiva jsou univerzálními hnojivy, které v půdním prostředí působí dlouhodobě a pozvolně. Půdy, kam je pravidelně dodávána primární organická hmota jsou úrodnější, jelikož mají lepší fyzikální vlastnosti, lépe přijímají a zadržují vodu a živiny, nejsou tak náchylné na výkyvy pH a lépe dávkují minerální živiny rostlinám (Vaněk 2007).

Působení primární organické hmoty v půdě je jen několik týdnů až měsíců, podle podmínek mineralizace. Statková hnojiva mají nejvyšší vliv na plodiny přímo hnojené. Účinek hnojení se u následujících plodin v osevním postupu snižuje. To je důvod, proč se mění postupy ve výpočtech bilancí organické hmoty v půdě, jelikož nepočítají se stabilitou těchto látek. Novější bilanční postupy by měly hodnotit také rychlost mineralizace jednotlivých vstupů. Jedním z výpočtů je např. efektivní organická hmota, který odhaduje zbylé množství organických látek zbylých v půdě po jednom roce od aplikace. Příkladem může být sláma, kdy

při aplikaci 5 t/ha s obsahem 80 % organických látek (OL) dodáme 4 t OL/ha. Naproti tomu máme hnůj, kterého musíme aplikovat 24 t/ha při obsahu 17 % OL, abychom dodali stejné množství OL na hektar. Rozdíl je v tom, že většina OL slámy se rozloží během pár měsíců a po jednom roce v půdě zůstane pouze 20 % aplikovaných OL. Avšak z hnoje to je více než 50 % OL (Černý et al. 2013).

Tabulka 5. Obsah organických látek (OL) ve statkových hnojivech.

Hnojivo	OL (%)	Dávka hnojiva (t/ha)	EOH	Zbytek OL (t/ha)
Hnůj	17	24	55	2,2
Sláma	80	5	20	0,8
Zelené hnojení	12	33	15	0,6
Kejda	6	67	10	0,4

Pozn.: dávka hnojiva pro doplnění 4 t OL/ha; efektivní organická hmota (EOH) a zbytek OL po roce od aplikace hnojiva (Černý & BALÍK 2021).

3.7.1 Sláma

Zaoráním dodáváme organickou hmotu do půdy, která slouží jako pojivo mezi půdními částicemi a brání tak erozi. Sláma je výborným zdrojem uhlíku, který je nezbytnou výživnou složkou půdním organismům, pomáhá zadržovat vodu a přispívá i k udržování teploty v půdě.

Při přímé zaorávce slámy se jeví přísun organických látek výhodněji než při standardním využití jako steliva. Sláma v podestýlce s výkaly hospodářských zvířat prochází fermentačními procesy při zrání, a tím dochází ke ztrátám organické hmoty až o 50 %. Do půdy se organické hmoty dostane méně, ale na druhou stranu se jedná o již stabilizované složky, které nepodléhají tak rychle mineralizaci a větší část se může transformovat do složitějších a stabilnějších humusových sloučenin (Kotecký 2019).

Slámu před zapravením obohacujeme dusíkem. Preferujeme organická hnojiva před průmyslovými a z nich především kapalná, jako jsou močůvka, kejda nebo hnojůvka v dávce do 80 kg N/ha. Kapalná hnojiva jsou výhodou, jelikož suchou slámu před zaorávkou ovlhčíme. Pokud zaoráváme slámu na pozemku, kde se nachází minerální dusík po plodině, tak dusík na slámu neaplikujeme. Využijeme tak mikroorganismy k imobilizaci tohoto dusíku, který by jinak byl během dalšího období vyplaven či denitrifikován. K zaorávání se nejčastěji používá sláma řepky ozimé nebo ozimých obilnin (Duchoň 1948).

Tabulka 6. Obsah sušiny, organických látek (OL) a živin v % v čerstvé slámě (Škarda 1982).

Sláma	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg	Poměr C:N
Průměr obilovin	86	82	0,43	0,09	0,79	0,24	0,06	80:1
Kukuřičná	86	82	0,46	0,16	1,26	0,32	0,14	60-80:1
Řepková	85	80	0,53	0,11	0,85	0,81	0,16	60-80:1
Luskovin	86	80	1,29	0,16	1,07	0,91	0,16	20-25:1

3.7.2 Hnůj

Jedná se o částečně rozloženou směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat s příměsí částečně rozloženou podestýlkou. Je zdrojem téměř všech živin nezbytných pro růst a vývoj rostlin. Dále je zdrojem humusotvorných látek, které příznivě působí na fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy. Spolu s ním se půdy naočkovávají nezbytnými mikroorganismy (Hanč et al. 2008). Při jeho rozkladu vzniká velké množství CO₂, který spolu s metanem a dalšími plyny nakypřuje půdu a podporuje zvětrávání. Význam chlévského hnoje je tedy vyšší než pouze ve výživové složce rostlin, jak tomu bývá u průmyslových hnojiv (Schachtschabel et al. 1976).

Hnůj je nejrozšířenějším organickým hnojivem v zemědělství. Než je však hnůj vhodný ke hnojení musí dojít procesem zrání z chlévské mrvy (Urban 2009). Při dobrém ošetření se mrva po dobu zrání rozkládá a přirozené ztráty činí přibližně 25 %. Při špatném ošetření mohou ztráty dosahovat 50-70 % (Vaněk 2007). Při dobrém ošetření se kvalita hnoje zvyšuje, ale po určité době (3-4 měsíce) opět klesá (Burton & Turner 2003).

Ošetření je možné hned několika rozdílnými způsoby skladování:

- **Za studena** je mrva skladována v utěsněných blocích, kdy je snahou zamezit rozklad organické hmoty, která definitivně uzraje až v půdě. Teplota při tomto skladování je okolo 30 °C. Tímto způsobem se zamezuje únik amoniaku a v anaerobních podmínkách dochází k likvidaci klíčivosti semen a patogenních organismů. Ve srovnání s kompostem obsahuje takto uleželý hnůj větší množství amonného dusíku.
- **Za horka**, kdy dochází ke kombinaci aerobních i anaerobních procesů. Na začátku probíhá aerobní fáze, kdy teplota dosahuje přibližně 50 °C. Po 2-4 dnech se navrch další vrstva čerstvé mrvy a dojde k utěsnění hmoty. Vysoká teplota a anaerobní prostředí dokonale sterilizují hnůj od patogenů a semen rostlin. Podíl dusíku a

draslíku přijatelného rostlinami je u takto uzcálého hnoje vyšší než u studené formy skladování.

- **Kompostování** je způsob, kdy dochází k vystavení chlévské mrvy dlouhodobému působení v aerobním prostředí (Urban 2009).

Zrání hnoje je součástí rozkladných procesů mikroorganismů, kdy dochází k degradaci složitých sloučenin na látky rostlinami přijatelné. Příprava hnoje tedy znamená řízení mikrobiálních procesů tak, aby zpracovaný materiál dosáhl určitého stupně rozkladu. Konečným cílem však není dosáhnout plné mineralizace všech živin již při zrání hnoje, ale aby mikrobiální rozkladné procesy probíhaly i po zapravení hnoje do půdy. Tím se pozitivně stimuluje aktivita mikroorganismů, jejich namnožení a zlepší se i přísun živin po celou vegetační dobu (Berner 1994).

Po dobu zrání a po zaorání do půdy probíhají dva základní rozkladné procesy. Mineralizace, kdy se organická hmota rozkládá na minerální látky a humifikace, kdy dochází k přeměně organických látek na humus. Každý z procesů má jiné podmínky a převládá ten, jenž má podmínky příznivější. Při větším přístupu vzduchu převládá mineralizace a v opačném případě (v anaerobních podmínkách) zase humifikace (Burton & Turner 2003).

Dobře vyzrálý hnůj je tmavá a velmi snadno rýpatelná hmota, která při kontaktu se vzduchem rychle černá. Má lehký zápach po amoniaku a jsou v něm patrné zbytky steliva (Škarda 1982).

Složení hnoje

Složení hnoje je velmi proměnlivé. Jednotlivý obsah složek závisí na několika faktorech.

- Množství, druh a kvalita podestýlky. Za nejlepší podestýlku se považuje řezaná sláma ozimých obilnin a rašelina.
- Druh, věk a produkční zaměření chovaných zvířat. Dojnice poskytují chudší hnůj (především na dusík) než žír. Obecně má skot chudší výkaly na fosfor, než jsou výkaly prasat nebo drůbeže.
- Množství a kvalita zkrmovaného krmiva (Krištín 1985).

Tabulka 7. Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji (Vaněk 2007).

Druh	Obsah v čerstvém stavu v %						
	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Hovězí – dojnice	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08
Hovězí – žír	25	20	0,70	0,15	0,66	0,50	0,13
Prasečí	23	16	0,62	0,25	0,42	0,36	0,15
Koňský	25	20	0,65	0,13	0,52	0,21	0,11
Ovčí	25	20	0,85	0,14	0,66	0,25	0,12

Hnůj v půdě

Působení hnoje v půdě je do jisté míry ovlivněno stádiem rozkladu snadno využitelných živin mikroorganismy. Méně rozložený hnůj je výborný pro podporu aktivity mikroorganismů. Při zapravení tohoto hnoje do půdy může dojít k tak velkému namnožení mikroedafonu, že mohou po přechodnou dobu konkurovat rostlinám ve spotřebě kyslíku. Tomuto negativnímu jevu se dá vyvarovat, pokud se bude do půdy zapravovat dobře rozložený hnůj nebo kompost (Berner 1994).

Aby měl hnůj co největší účinek na půdu, je nutné dodržet základní zásady:

- Hnojit jen dobře vyzrálým hnojem.
- Rozmetaný hnůj co nejrychleji zaorat. Hnojivá účinnost se jinak snižuje:
 - Po 24 hodinách ztrácí 10 % a po 4 dnech 15 % své účinnosti.
- Hnůj zaorat do správné hloubky, aby měl rozklad optimální podmínky (vláhu a přístup vzduchu). Ideální je hloubka okolo 12-20 cm.
- Hnojit pod plodiny, které hnůj nejlépe využijí. Mezi ně patří především brambory, cukrovka, kukuřice, řepka olejka, košťálová zelenina apod.
- Volit správné dávky hnoje. Záleží často na druhu půdy a hnojené plodině. Optimální dávka se pohybuje od 30 do 40 t na hektar jednou za tři až čtyři roky (Škarda 1982).

V tradičním hnoji je značné množství energeticky bohatých látek dobře využitelných půdními mikroorganismy. Bakterie toto „krmivo“ vydýchávají a rozkládají, přičemž humusotvorné látky odbourávají v malém měřítku. Tradičně uleželý hnůj (starý 2-4 měsíce) má tedy vliv na udržování humusu v půdě (Burton & Turner 2003).

Za optimální dávku na pozemek se považuje 30-40 t hnoje na ha aplikovanou jednou za 4-5 let při běžném zastoupením plodin v osevním postupu. Hnůj působí v půdě právě 3-5 let. V lehčích půdách kratší dobu a v těžších delší období. Využití hnoje je v prvním roce na středních půdách přibližně 50 % a v dalších letech je o polovinu nižší (Schachtschabel et al. 1976).

Tabulka 8. Průměrné využití živin z uzlého hnoje (% celkového obsahu) (Vaněk 2007).

Živina	1. rok	2. rok	3. rok
Dusík	25	15	5
Fosfor	15	10	5
Draslík	40	15	10

3.7.3 Zelené hnojení

Zeleným hnojením se rozumí způsob organického hnojení, kdy dochází k zaorávání biomasy, která byla k tomuto účelu speciálně vypěstována. Má velké množství důležitých a pro půdu přínosných vlastností:

- Zvyšuje obsah organické hmoty v půdě.
- V případě pěstování jetelovin a luskovin dodává a fixuje dusík v půdě.
- Výrazně zlepšuje aktivitu edafonu.
- Zlepšuje výživu následné plodiny.
- Má vliv na zvyšování humusu v půdě.
- Zlepšuje chemické a fyzikální vlastnosti půd.
- Má protierozní účinek.
- Zamezuje ztrátám živin, především dusíku.
- Reguluje plevele zastíněním a zpracováním půdy.
- Má fyto-sanitární účinek na půdu pro následnou plodinu.
- Obohacuje osevní postup a dá se používat jako přerušovač, zejména obilných sledů.
- V případě potřeby se dá využít jako krmení (Urban 2009).

Aby zelené hnojení mělo rentabilní účinek, musí být meziorostní období minimálně 45-60 dnů od zasetí. Dále musí být dostatečné vlhkostní podmínky, aby rostliny vůbec vzešly. Pokud nenaroste dostatek biomasy, hrozí nebezpečí nárůstu a rozmnožení plevelů. V suchých

letech hrozí i nebezpečí snížení výnosu následných plodin z důvodu odčerpání vody z půdního profilu (Duchoň 1948).

Důležité je i množství a doba zaorávané biomasy. Velké množství zaorané hmoty může mít negativní vliv na vzcházení následné plodiny z důvodu fytotoxicity meziproductů rozkladu biomasy a zhoršení kontaktu semen s půdou. Rostliny určené k zelenému hnojení (ať se jedná o olejniny, obilniny nebo trávy) je nutné zaorat dříve, než začnou dřevnatět a měly by se do půdy zapravovat nejpozději tři týdny před plánovaným setím následné plodiny. Není na škodu, když se porost před zapravením ještě rozdrťí, rovnoměrně rozmetá po pozemku a nechá zavadnout (Škarda 1982).

Plodiny na zelené hnojení se pěstují buď ve formě podsevů (jetel plazivý, jílky), letních a ozimých meziplodin (hořčice, svazenka, ředkev) nebo jako hlavní plodiny (peluška). Zelené hnojení se dá využívat samostatně nebo i v kombinaci s jinými statkovými hnojivy (Vaněk 2007).

Hloubka zaorávání souvisí s půdním druhem. Na lehkých půdách se zelené hnojení zaorává hlouběji, a to až do 25 cm. Na těžších půdách je vhodné zaorávat mělčeji, do 10-15 cm a pouze na podzim. Podzimní zaorávka je důležitá hlavně v suchých oblastech, protože na rozklad rostlinné hmoty je potřebné velké množství vody, což by na jaře ochuzovalo pole o velmi cennou vláhu (Škarda 1982).

3.7.4 Kejda

Pravou a plnohodnotnou kejdou se rozumí směs tekutých a tuhých výkalů hospodářských zvířat, částečně zkvašených a zředěných vodou (Krištín 1985).

Produkce kejdy od 1DJ činí za rok přibližně 21 t u skotu a 19 t u prasat. Nejvyšší obsah živin má kejda drůbeží, která je bohatá na dusík a vápník. Při správném skladování nedochází k výraznějším ztrátám živin, a to především u dusíku, který má ztráty do 10 %. To z kejdy dělá na živiny bohaté hnojivo. Nejvíce dusíku se v kejdě vyskytuje v amonné formě (přibližně z 60 %), a to znamená i velké úniky při aplikaci na povrch půdy. Z tohoto důvodu je nutné co nejrychleji hnojivo zapravit pod povrch a nejideálnějším řešením je aplikovat kejdu speciálním aplikátorem přímo do půdy a tím omezit ztráty na minimum (Vaněk 2007).

Pokud omezíme organická hnojiva pouze na kejdu, může dojít na většině půd k snížení obsahu organické hmoty. Důvodem tomu je, že kejda obsahuje vysoké množství lehce

rozložitelných látek a tím se zvyšuje biologická aktivita v půdním prostředí. To způsobí, že mikroorganismy rychleji rozloží primární organickou hmotu a dojde k snižování organické hmoty v půdě. Proto je důležité kombinovat kejdu se slámou, hnojem či kompostem. V kombinaci se slámou dosahuje vynikajících výsledků (Burton & Turner 2003).

Tabulka 9. Obsah organických látek (OL), sušiny a živin v % v kejdě skotu, prasat a drůbeže (Vaněk 2007).

Druh hnojiva	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Kejda skotu	7,7	6	0,32	0,07	0,4	0,14	0,04
Kejda prasat	6,4	5,3	0,5	0,13	0,19	0,24	0,04
Kejda drůbeže	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94	0,06

3.7.5 Močůvka

Jedná se o zkvašenou moč hospodářských zvířat naředěnou různým množstvím vody. Dále je ochuzena o živiny, které se zachytají do podestýlky, ztrácí při skladování nebo aplikaci. Jedna velká dobytčí jednotka za rok vyprodukuje přibližně 4-5 m³ močůvky. Hnojivý účinek močůvky je velmi proměnlivý. Ztráty dusíku jsou rozdílné při skladování v otevřené jímce (až 40 %) nebo v zakryté (do 23 %), záleží na zředění technologickou nebo dešťovou vodou a provozní péči. Obsah živin má široké rozpětí a velkou proměnlivost. Dále, mimo živinných látek, obsahuje močůvka i látky stimulující růst (heteroauxiny), které na rostliny působí pozitivně již v malých dávkách (Urban 2009).

Močůvka má vysoký obsah dusíku a draslíku, ale je velmi chudá na fosfor a vápník. Dusík obsažený v močůvce je rovnocenný s dusíkem průmyslových hnojiv. Velkým negativem močůvky je absence humusotvorných látek (Burton & Turner 2003).

Nejefektivnější aplikace močůvky je při přihnojování za vegetace. Dávky závisejí na kvalitě močůvky, druhu a účelu pěstované plodiny. Optimální dávka se pohybuje okolo 15-25 m³ na hektar a u okopanin až 40 m³ (Bremner 1965).

Druhy aplikace močůvky jsou různé. Je možné ji aplikovat samotnou na strniště před orbou nebo na jaře před setím/sázením bez orby. Samostatně se dá používat i při hnojení přímo na list nebo meziřádkově. Na travních a jetelotravních porostech se aplikuje po jednotlivých sečích nebo v jarním období. Vhodná je také aplikace močůvky v kombinaci se

slámou po sklizni obilovin nebo přímo na zavadlé zelené hnojení a poté co nejrychleji zaorat (Škarda 1982).

Časté hnojení močůvkou, při vynechání hnojení fosforem a vápnění vede k nadměrnému zaplevelení pozemků plevelely jako jsou šťovíky, merlíky, lebedy apod. (Vaněk 2007).

Tabulka 10. Obsah sušiny, organických látek (OL) a živin v % v močůvce (Vaněk 2007).

Druh hnojiva	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Močůvka	2,4	2	0,25	Stopy	0,44	0,007	0,01

3.7.6 Komposty

Kompostování je člověkem cíleně modifikovaný přirozený proces transformace organické hmoty (Rejšek & Vácha 2018). Všechny živiny, které jsou nezbytné pro kompostování by měly být obsaženy v samotném odpadním materiálu. Pokud ne, je možné dodat zvlášť např. minerálním hnojivem (Diaz & Savage 2007). To se týká především fosforu, jehož podíl by ve výsledné zkompostované směsi měl obsahovat minimálně 0,1 %. Obohacovat komposty o fosfor je vhodné, ačkoli to není nutné. Fosfor je rostlinami lépe přijatelný, je-li v přítomnosti organických látek (Vaněk 2012).

Celkový obsah živin v kompostech je poměrně vysoký, avšak většina z nich se vyskytuje ve formě rostlinám nepřístupných (např. dusík je z 85 % vázán v organické podobě, tedy rostlinami nedosažitelné). Aby byly živiny rostlinám přístupné, musí projít enzymatickými procesy mikroorganismů. Kompostování je tedy nutné chápat jako biologický proces, kdy jedna skupina mikroorganismů připravuje prostředí pro následující. Ne všechny organické materiály jsou však bakteriemi snadno rozložitelné, ačkoli jsou pro kompostování splněny veškeré podmínky. Běžnými, pro bakterie těžko rozložitelnými materiály jsou celulóza a lignin. S nimi si celkem účinně dokážou poradit houbové mikroorganismy (Diaz & Savage, 2007).

Dusík v kompostech má pro rostliny velkou výhodu, protože je uvolňován postupně. Obecně se dá odhadnout, že 10-35 % se uvolní během první sezóny po aplikaci a zbývající N je uvolňován ještě dva roky následující (Sumner 1999). Dalším důležitým prvkem je fosfor, který je v sušině obsažen okolo 0,6-2 %, což při běžné dávce stačí k pokrytí odběru P rostlinami. Horší je to s obsahem draslíku, který je v kompostech poměrně nízký a z hlediska výživy rostlin

i zanedbatelný. Kompost má ale jednu obrovskou výhodu, a tím je komplexnost působení, kdy při aplikaci se dodávají i ostatní nezbytné makro i mikroprvky (Tittarelli et al. 2007).

Kompost je také potřeba promíchávat, jelikož bakterie jsou aerobní a vyžadují velké množství kyslíku. Po správném založení je dobré nechat kompost zrát (Rejšek & Vácha 2018). Na počátku kompostování dochází k intenzivnímu množení mikroorganismů a zároveň s tím i k zvýšení teploty okolo 70 °C. Délka trvání a výška teploty fermentované směsi je rozhodující při rozkladu biomasy a její přeměny na stabilní humusové látky. Při této přeměně dochází k produkci CO₂, NH₃ a uvolňují se minerální látky. Tento stav vysokých teplot trvá přibližně tři týdny a je i důležitý i z hlediska hygienizace kompostu. Dochází totiž vlivem vysokých teplot k likvidaci choroboplodných zárodků, sterilizaci plevelných semen a záhubě nežádoucích organismů, kteří nepřežijí vysoké teploty (Černý et al. 2013).

V další fázi dochází k přeměně látek, kdy se získané organické látky zabudovávají do trvalejších humusových struktur. Délka tohoto období je 5-7 týdnů při nižších teplotách.

Syntéza látek je poslední fází a kompost v ní dozrává. Dochází k definitivnímu vytvoření odolných a trvalých struktur humusových látek. Doba zrání se může protáhnout až na 6 měsíců (Vaněk 2007).

V kompostu (stáří 6-12 měsíců) jsou energetické látky odbourávány již v procesu zrání. Při tomto procesu vznikají těžko odbouratelné huminové sloučeniny, jejichž životnost je v půdě mnohonásobně vyšší. Významně podporují drobtovitou strukturu půdy a přispívají k tvorbě půdních pórů. Starý kompost tedy navyšuje obsah humusu v půdě (Berner 1994).

Dalším důležitým poměrem, který je nutné dodržet, je organický a minerální podíl v kompostu. Ten je důležitý kvůli ztrátám živin, kdy může docházet ke ztrátám při mineralizaci organické hmoty. Minerální složku by měla tvořit zemina s dobrou sorpční kapacitou, která je zdrojem jílových částic a půdní mikroflóry, nezbytné k rozkladu organické části. Zemina poutá (sorbuje) především vznikající amonný dusík, zvláště na počátku kompostování, kdy organická hmota je ve stádiu, kdy nemá téměř žádnou schopnost sorpce. Dále zachytává vodu a vznikající zápachy a tím působí hygienicky (Hanč et al. 2008).

Organická náplň kompostu obsahuje veškerý organický odpad, který je člověkem vyprodukován. Mikroorganismy se v kompostu vyskytují přirozeně, ale pro urychlení a zlepšení rozkladu je vhodné přidávat do kompostu hnůj, močůvku nebo kejdu a tím mikroorganismy do kompostu naočkovat. Zároveň statková hnojiva obsahují spoustu rychle rozložitelných látek, které činnost mikroorganismů urychlí.

Velmi důležitým aspektem je poměr C:N. Pro naprostou většinu kompostů je vhodný poměr 25-30:1. Na jeden atom dusíku potřebují mikroorganismy přibližně 30 atomů uhlíku. Dvě třetiny uhlíku oxiduje na CO₂ a zbylá část se využije na tvorbu protoplastů. Pokud má poměr C:N příliš velké rozpětí, klesá mikrobiální aktivita a prodlužuje se doba kompostování. V opačném případě dochází ke ztrátám dusíku těkáním amoniaku (Golueke 1977).

Tabulka 11. Obsah základních živin a organických látek v % sušiny při obsahu vody do 50 % (Vaněk 2007).

Živina	% sušiny	
	Dobry kompost	Špatný kompost
Organické látky	50	Do 30
Dusík	2	1
Fosfor	0,7	0,2
Draslík	1,2	0,4

4 Metodika

K vypracování bakalářské práce byly použity výsledky sledování dlouhodobých pokusů katedry environmentální chemie a výživy rostlin (KAVR) ČZU v Praze.

4.1 Charakteristika dlouhodobých stacionárních pokusů s rotací plodin

Dlouhodobé stacionární pokusy ČZU v Praze byly založeny v roce 1996 na pěti pokusných stanovištích s rozlišnými půdními a klimatickými podmínkami (Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Praha Suchdol). V rámci pokusu jsou na pozemcích střídány tři plodiny v následujícím pořadí: lilek brambor - pšenice ozimá - ječmen jarní (Balík et al. 2018).

Krátký osevní sled je výhodným z hlediska krátkého času, ve kterém lze vyhodnocovat změny sledovaných parametrů. Pokusy jsou uspořádány tak, aby bylo možné v každém roce pěstovat současně všechny sledované plodiny a přihlídnout k ročníkové variabilitě jednotlivých stanovišť.

Použitými organickými hnojivy jsou chlévský hnůj a ječná sláma, které se aplikují na podzim pod brambory. Hnůj a sláma se využívají z jednotlivých pokusných stanic.

Jako minerální dusíkaté hnojivo je použit ledek amonný s vápencem (LAV). Jeho aplikace je u ječmene a brambor na jaře, u pšenice je dávka rozdělena na dvě poloviny. První se aplikuje jako regenerační a druhá jako produkční přihnojení.

V rámci bakalářské práce byla sledována pouze stanoviště Hněvčeves, Lukavec, Suchdol a Humpolec. Rozloha pokusných parcel byla na stanovištích Hněvčeves, Humpolec a Lukavec 60 m² a na stanovišti Praha Suchdol 60,5 m² (Němec 2020).

4.1.1 Hnojení

Jednotlivé pokusné parcely jsou hnojeny jak minerálními, tak statkovými hnojivy. Plodiny jsou hnojeny shodnou dávkou dusíku 330 kg /ha po celou rotaci plodin (3 roky), vyjma kontrolního stanoviště, které je nehnojeno.

4.1.1.1 Nehnojená parcela

Na plodiny na kontrolním stanovišti nejsou aplikovány žádná hnojiva. Parcely jsou pouze orány do přibližné hloubky 28 cm. Výnosy plodin a vzorky půdy slouží čistě k porovnávání s ostatními variantami.

4.1.1.2 Hnůj

Hnůj je aplikován k plodinám jednou za 3 roky pod brambory. U brambor je sledován přímý účinek organického hnojiva, u pšenice a ječmene je pozorováno následné působení hnojiv. Celková dávka hnoje je taková, aby bylo do půdy dodáno za tříletou rotaci 330 kg N/ha. Hnůj je okamžitě po rozmetání na povrch pole zapraven do hloubky 28 cm.

4.1.1.3 N

Minerální dusíkaté hnojivo (LAV) je aplikováno k bramborám v dávce 120 kg N/ha a ječmeni v dávce 70 kg N/ha před založením porostu. Ozimá pšenice je hnojena dávkou 140 kg N/ha, přičemž je dávka rozdělena na dvě dávky po 70 kg N/ha, kdy první část je využita jako regenerační přihnojení a druhá dávka se aplikuje jako produkční hnojení.

4.1.1.4 N+sláma

Další sledovaná varianta je hnojená minerálním dusíkem s přidavkem slámy. Dávka dusíku činí 70 kg/ha aplikovaného na jaře před založením porostu u ječmene, 120 kg/ha u brambor a 140 kg/ha ve dvou dávkách během vegetace u pšenice. K tomu je jednou za tři roky pod brambory na podzim zaorána ječná sláma v množství 5 t/ha. Tedy množství dusíku na této variantě je navýšen o dusík obsažený ve slámě. Dávky dusíku jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12. Dávky dusíku (kg/ha) na tříletý osevnický postup.

Varianta	Brambory	Pšenice ozimá	Ječmen jarní
Kontrola	-	-	-
Hnůj	330	-	-
N (LAV)	120	140 (70+70)	70
N + sláma	120	140 (70+70)	70

4.2 Charakteristika vybraných stanovišť

Tabulka 13. Půdní a klimatická charakteristika pokusných stanovišť.

Stanoviště	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
GPS souřadnice	50°18'46'' N	49°33'16'' N	49°33'23'' N	50°7'40'' N
	15°43'3'' E	15°21'2'' E	14°58'39'' E	14°22'33'' E
Nadmořská výška (m. n. m.)	265	525	610	289
Průměrná roční teplota (°C)	8,2	7,0	7,7	9,1
Průměrné roční srážky (mm)	573	665	666	495
Půdní typ	Luvizem	Kambizem	Kambizem	Černozem
Půdní druh	Jílovito-hlinitá	Písčito-hlinitá	Písčito-hlinitá	Hlinitá
C _{org} (%)*	1,1	1,4	1,3	1,6
P (mg/kg)**	84	90	124	91
K (mg/kg)**	150	190	213	230
Mg (mg/kg)**	130	100	80	240
Ca (mg/kg)**	3600	1300	1100	9000
pH (CaCl ₂)	5,9	5,1	4,3	7,5
KVK (mmol ₍₊₎ /kg)***	116	90	45	262

* Modifikovaná metoda Walkley-Black

** Metoda Menlich 3

*** Metoda dle Gillmana

4.3 Odběr vzorků a jejich zpracování

4.3.1 Půdní vzorky

Vzorky půdy byly odebírány sondovací tyčí z ornice do hloubky 30 cm v době, kdy byla ukončena rotace plodin, tj. po sklizni jarního ječmene. Po odebrání byly vzorky usušeny na vzduchu s řízenou ventilací a pročištěny na 2 mm sítu. Z takto připravených vzorků byla provedena analýza.

4.3.2 Rostlinné vzorky

Vzorky, tj. zrno obilnin a hlízy brambor byly odebrány po sklizni v celkovém množství. Aby nedocházelo ke zkreslování výsledků byly odstraněny nečistoty a příměsi. Vzorky byly poté usušeny do konstantní hmotnosti na vzduchu s řízenou ventilací.

4.4 Analýza

Ve vysušených, homogenizovaných vzorcích půdy byl stanovován obsah a množství organického uhlíku (C_{org}), obsah dusíku (N_t) a určen poměr C:N.

Ze vzorků půdy byl určován celkový obsah organického uhlíku (C_{org}) a celkového dusíku (N_t) oxidační metodou za pomoci CNS analyzáru Elementar Vario Macro (elementární analytický systém, Frankfurt nad Mohanem, Německo). Poměr C:N v půdě byl následně vypočítán ze zjištěných hodnot uhlíku a dusíku.

4.4.1 Statistické analýzy

Vyhodnocování výsledků bylo prováděno v programu STATISTICA 12 (StatSoft, USA). Pro statistické vyhodnocování vlivu organického a minerálního hnojení na obsah organické hmoty v půdě při rotaci brambor, pšenice a ječmene byla použita jednofaktorová analýza rozptylu. Vyhodnocování bylo prováděno Tukeyho testem při hladině významnosti $p < 0,05$. Pro anulaci půdních rozdílů v obsahu organické hmoty mezi jednotlivými stanovišti byly stanoveny charakteristiky variability (rozsah, rozptyl, směrodatná odchylka a variační koeficient) a charakteristika polohy (aritmetický průměr).

5 Výsledky

Data byla získána z dlouhodobých pokusných pozemků Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Zpracována byla data od začátku pokusů v roce 1997 až do sklizně a odebrání vzorků půdy v roce 2020.

Výsledky výnosů jednotlivých plodin jsou uváděny v absolutní (100 %) sušině a jsou přepočtené z výsledků jednotlivých stanovišť. Při porovnávání rozdílů vlivu mezi jednotlivými variantami hnojení na výnosy pokusných plodin, byly porovnávány jednotlivé varianty vždy ke kontrolní variantě, jejíž výnos činil 100 %. Výnosy jsou zprůměrovány od založení pokusu do současnosti (1997–2020).

Vyhodnocení obsahu organického uhlíku (C_{org}) a celkového dusíku (N_t) v půdě probíhalo na každém stanovišti zvlášť. Každá varianta hnojení měla čtyři pokusné pozemky, ze kterých byly odebírány půdní vzorky. Aby se při stanovování uhlíku a dusíku v půdě předešlo individuálním chybám každého pozemku, byly vzorky z každé varianty hnojení zprůměrovány. Výsledný C:N (C_{org}/N_t) v půdě byl vypočítán ze zjištěných hodnot C_{org} a N_t .

5.1 Výnosy plodin

5.1.1 Výsledky Hněvčeves

Vliv hnojení na jednotlivé plodiny je zdokumentován v grafech 2, 3 a 4.

5.1.1.1 Ječmen jarní

Na kontrolní variantě, byl výnos zrna ječmene jarního 2,85 t/ha. Nejvyšší zlepšení ve výnosu bylo pozorováno u varianty N+sláma, kdy průměrný výnos zrna činil 5,02 t/ha, a přineslo zlepšení o 88 %. Varianta N, s pouze aplikovaným minerálním dusíkem, měla průměrný výnos 4,69 t/ha a výnos byl navýšen o 74 %. Nejméně pozitivně působil hnůj, který v průměru navýšil výnos o 49 %, s průměrnou sklizní 4,04 t/ha zrna.

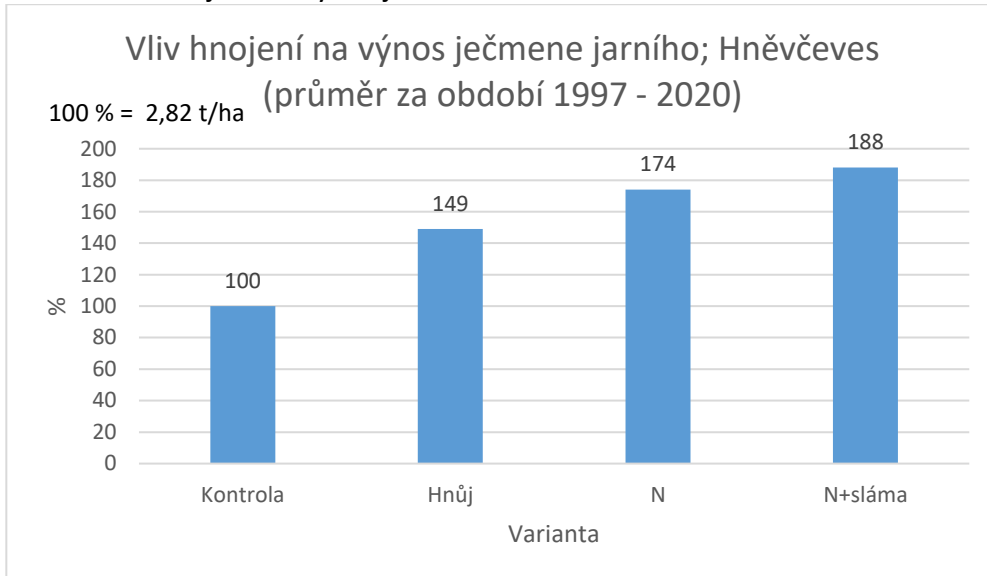
5.1.1.2 Pšenice ozimá

Průměrný výnos činil na kontrolní variantě 4,71 t/ha. Nejpozitivnější výsledky přináší N a N+sláma varianty, které měly výnosy 7,51 a 7,65 t/ha. To je zlepšení výnosu o 60 a 69 %. Na variantě Hnůj bylo průměrně sklizeno 7,02 t/ha, a tím se výnos zvýšil o 53 %.

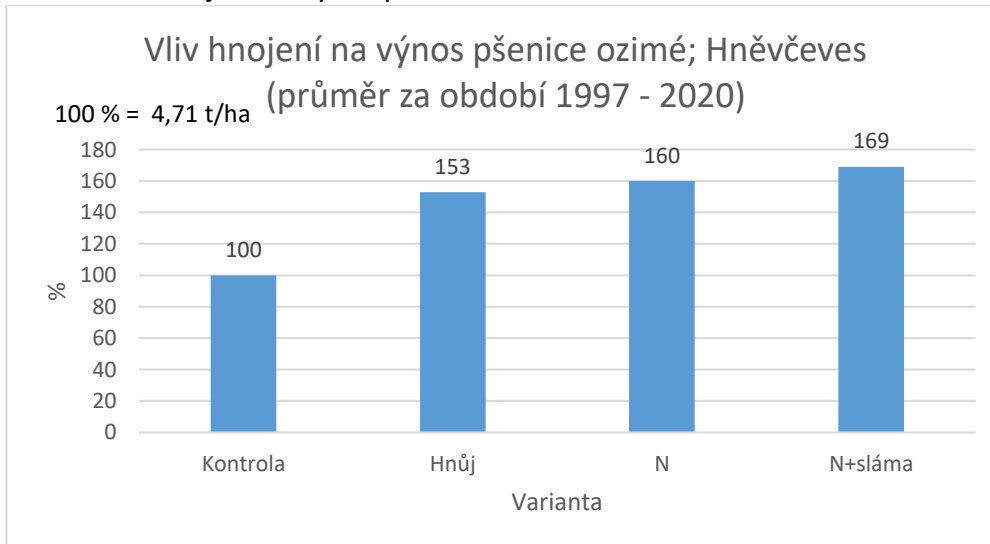
5.1.1.3 Brambory

Výnos brambor činil v absolutní sušině na kontrolním stanovišti 4,43 t/ha. Nejlépe výnos hlíz ovlivnila kombinace organického a minerálního hnojiva (N+sláma), která měla výnos 7,35 t/ha a zlepšení bylo oproti Kontrole o 85 %. Podobného výnosu dosáhly varianty N a Hnůj, kde výnosy činily 7,04 a 6,93 t/ha. Výnos byl zlepšen o 71 a 64 %.

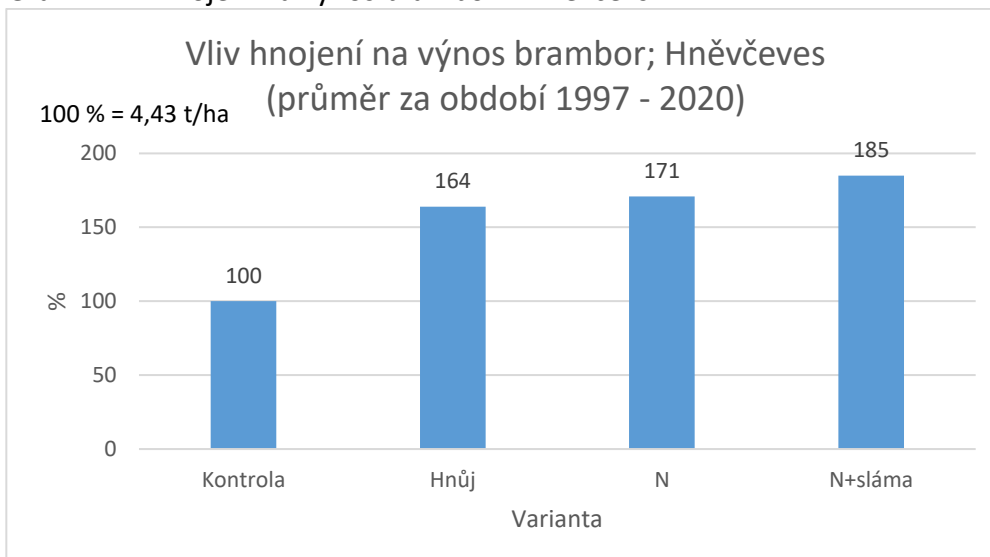
Graf 2. Vliv hnojení na výnos ječmene v Hněvčevsi.



Graf 3. Vliv hnojení na výnos pšenice v Hněvčevsi.



Graf 4. Vliv hnojení na výnos brambor v Hněvčevsi.



5.1.2 Výnosy Humpolec

Vliv hnojení na jednotlivé plodiny je zaznamenán v grafech 5, 6 a 7.

5.1.2.1 Ječmen jarní

Na kontrolní variantě výnos zrna činil 2,42 t/ha. Zlepšení o 101 % bylo dosaženo na variantě s aplikací minerálního dusíku, kdy výnos činil 4,25 t/ha. Nepatrně nižší výnos byl zaznamenán na variantě N+sláma, s výnosem 4,24 t/ha, kdy došlo k zlepšení o 96 %. Nejnižší vliv na výnos zrna byl zaznamenán u hnoje, kde výnos činil 3,09 t/ha, což je rozdíl o 35 % vůči kontrolní variantě.

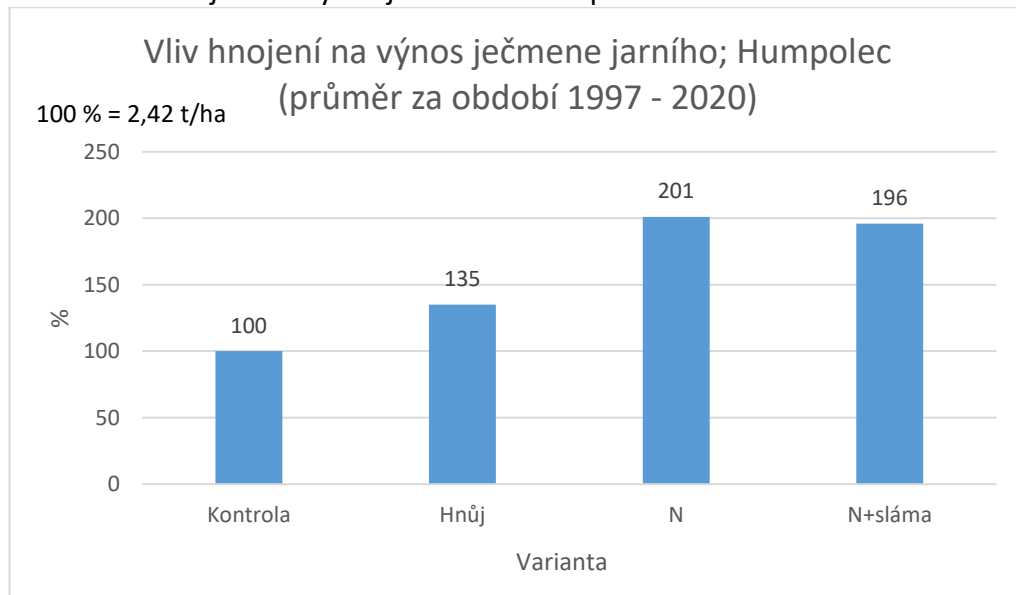
5.1.2.2 Pšenice ozimá

Průměrný výnos zrna za sledované období na kontrolním stanovišti činil u pšenice 4,26 t/ha. O 91 % došlo k navýšení výnosu na polích hnojených minerálním dusíkem a slámou, kdy výnos činil 7,42 t/ha. Podobného zlepšení bylo dosaženo i na variantě N, kde výnos činil 7,23 t/ha a zlepšení oproti kontrole bylo o 88 %. Varianta Hnůj měla výnos 5,34 t/ha se zlepšením 31 %.

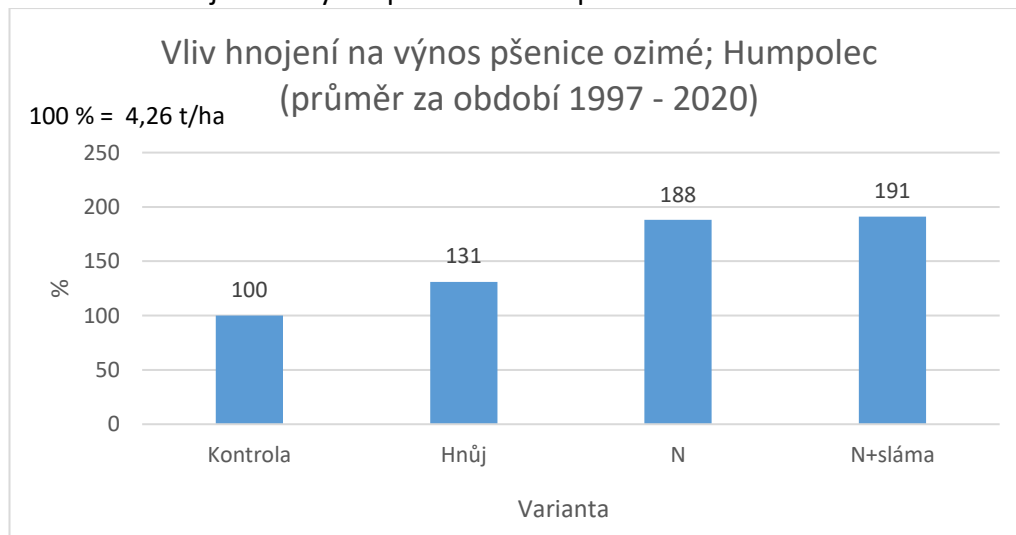
5.1.2.3 Brambory

Na kontrolním stanovišti se sklídilo 5,64 t/ha brambor. Na variantách hnojených minerálním dusíkem byl výnos vyšší o 62 % a sklídilo se tu 8,56 t/ha hlíz. O něco nižších výnosů bylo dosaženo na variantě Hnůj, kde se sklídilo 7,96 t/ha hlíz, se zlepšením 47 % a nejslabší výnos byl u varianty N + sláma, kde se průměrně sklídilo 7,71 t/ha, což je zlepšení o 41 %.

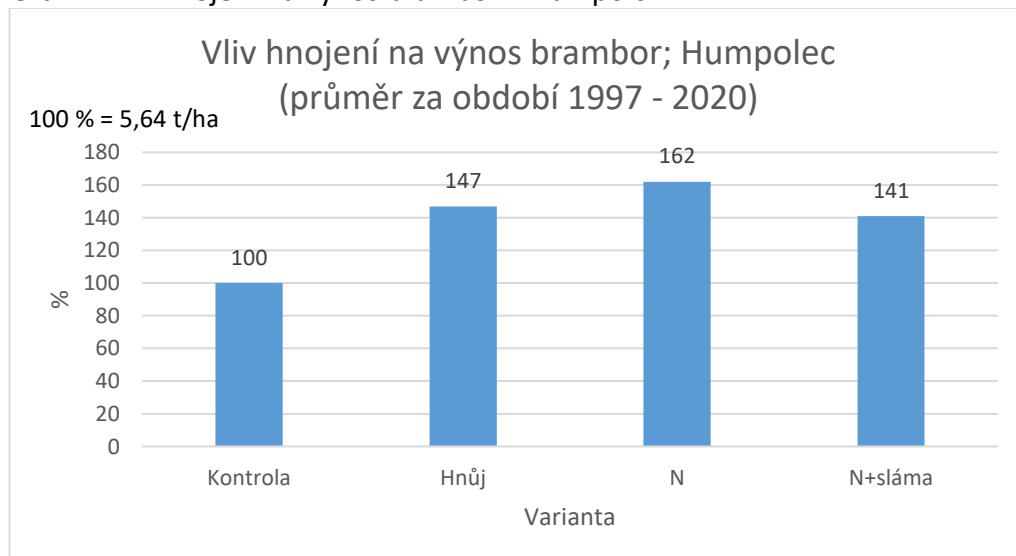
Graf 5. Vliv hnojení na výnos ječmene v Humpolci.



Graf 6. Vliv hnojení na výnos pšenice v Humpolci.



Graf 7. Vliv hnojení na výnos brambor v Humpolci.



5.1.3 Výnosy Suchdol

Vliv hnojení na jednotlivé plodiny dokumentují grafy 8, 9 a 10.

5.1.3.1 Ječmen jarní

Na poli bez aplikace hnojiv byl průměrný výnos 3,26 t/ha. Ke zlepšení výnosu zrna o 45 % došlo u kombinace organických a minerálních hnojiv (N+sláma) s výnosem 4,47 t/ha. Varianta s čistě aplikovaným LAV měla výnos 4,30 t/ha. Zlepšení oproti Kontrolě je 37 %. Nejnižší vliv na výnos zrna je prokazatelný na plochách hnojených hnojem. Výnos zrna činil 3,54 t/ha a zvýšil se tak o pouhých 12 %.

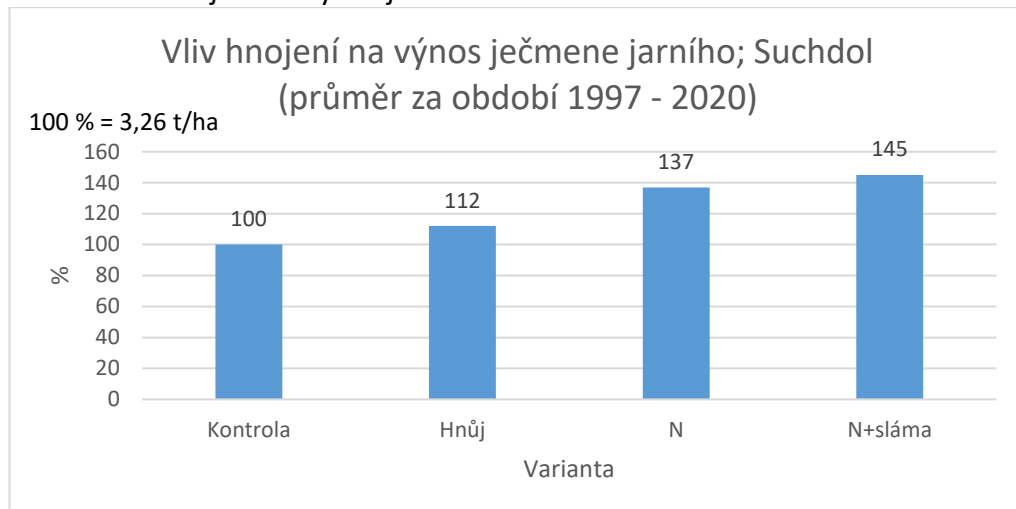
5.1.3.2 Pšenice ozimá

Na kontrolním stanovišti bylo sklizeno 4,66 t/ha zrna. Zlepšení výnosu o celých 38 % bylo dosaženo na variantách N a N+sláma, kdy výnosy byly 6,21 a 6,17 t/ha. Na variantě Hnůj došlo k lepšímu o celých 14 % s výnosem 5,29 t/ha.

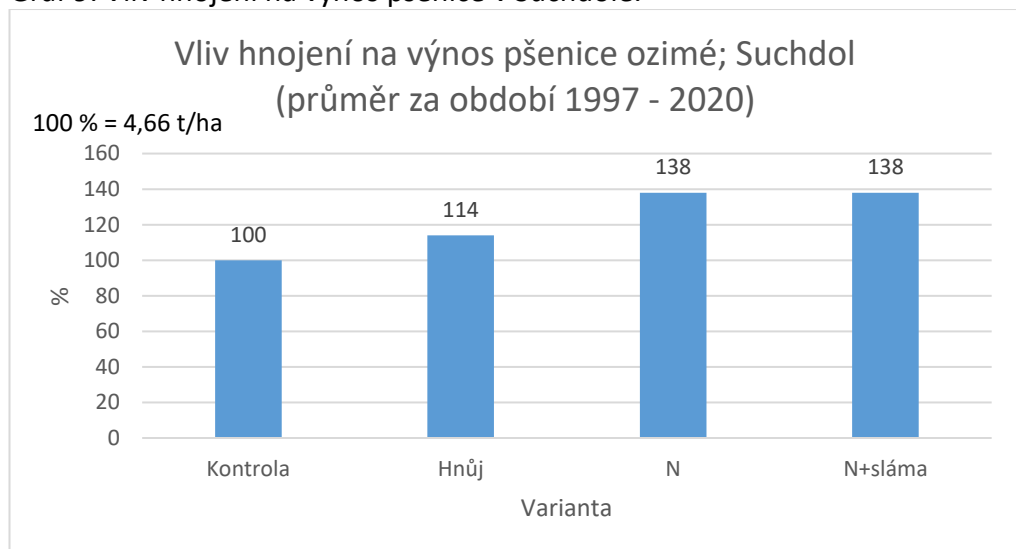
5.1.3.3 Brambory

Výnosu 4,53 t/ha hlíz bylo dosaženo na variantě Kontrola. Nejvyššího zvýšení výnosu brambor bylo dosaženo s aplikací hnoje s výnosem 5,69 t/ha, kdy došlo ke zlepšení o 31 %. O 17 % byl zvýšen výnos na variantě N+sláma se sklizní 5,19 t/ha hlíz. Na variantě s aplikací LAV bylo sklizeno 5,11 t/ha, což je zlepšení o 15 % oproti Kontrolě.

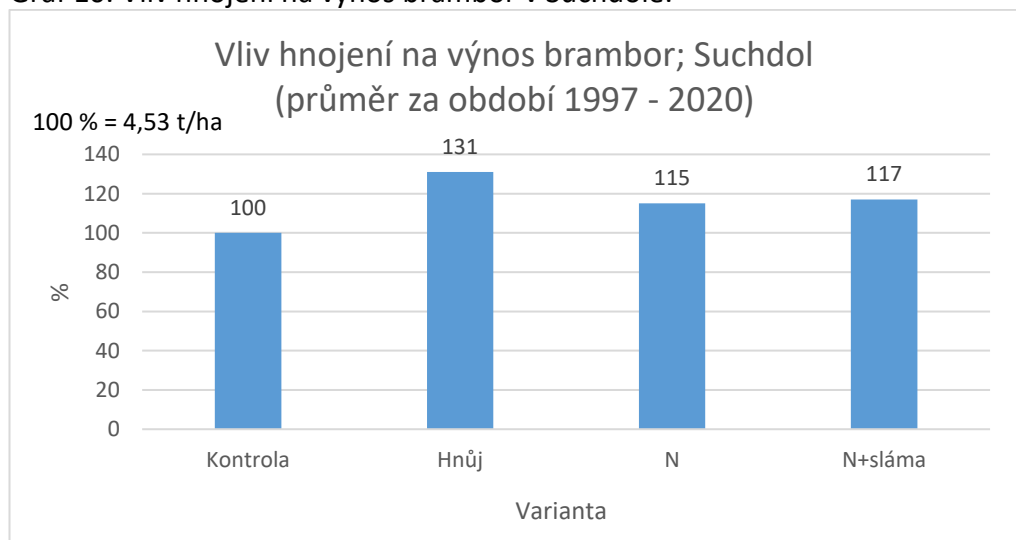
Graf 8. Vliv hnojení na výnos ječmene v Suchdole.



Graf 9. Vliv hnojení na výnos pšenice v Suchdole.



Graf 10. Vliv hnojení na výnos brambor v Suchdole.



5.1.4 Výnosy Lukavec

Vliv hnojení na jednotlivé plodiny je znázorněn v grafech 11, 12 a 13.

5.1.4.1 Ječmen jarní

Průměrné výnosy zrna na kontrolním stanovišti v Lukavci byly 1,81 t/ha. K nejvyššímu zlepšení výnosů došlo u varianty N s aplikovaným LAV, kdy výnos činil 3,42 t/ha a vzrostl tak o 92 %. Varianta N+sláma zvýšila výnos o celých 87 % a bylo sklizeno 3,34 t/ha zrna. O 38 % se zvýšil výnos na polích po aplikaci hnoje, kde výnos činil 2,49 t/ha zrna.

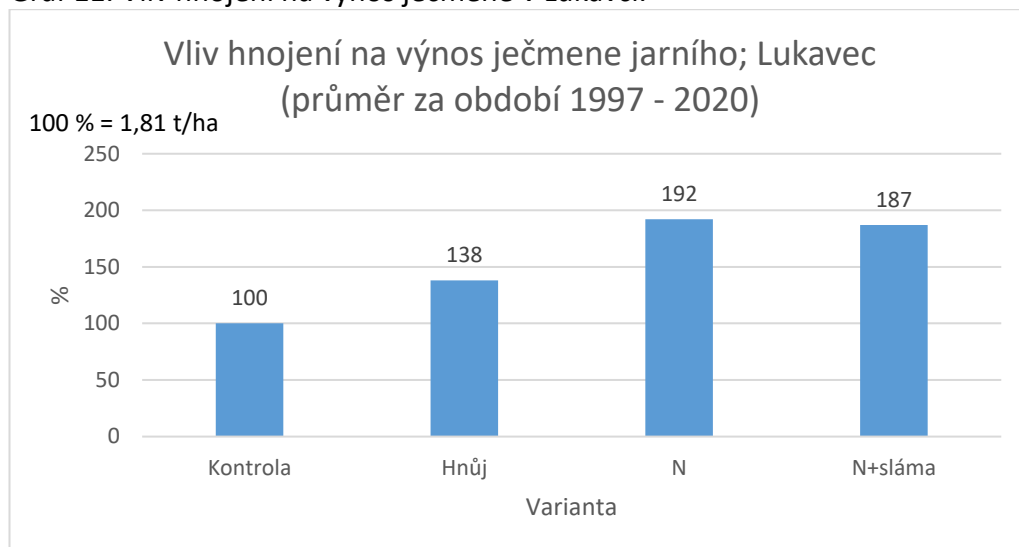
5.1.4.2 Pšenice ozimá

Na kontrolním pozemku činil průměrný výnos zrna 2,58 t/ha. Ke zvýšení výnosu o celých 156 % došlo na variantě N s aplikovaným LAV, kde bylo sklizeno 6,31 t/ha zrna. Hnojiva na variantě N+sláma zvýšila výnos o 150 %, kdy se sklídilo 6,14 t/ha. Varianta Hnůj navýšila výnos zrna o 60 % a sklídilo se na ní v průměru 4,01 t/ha.

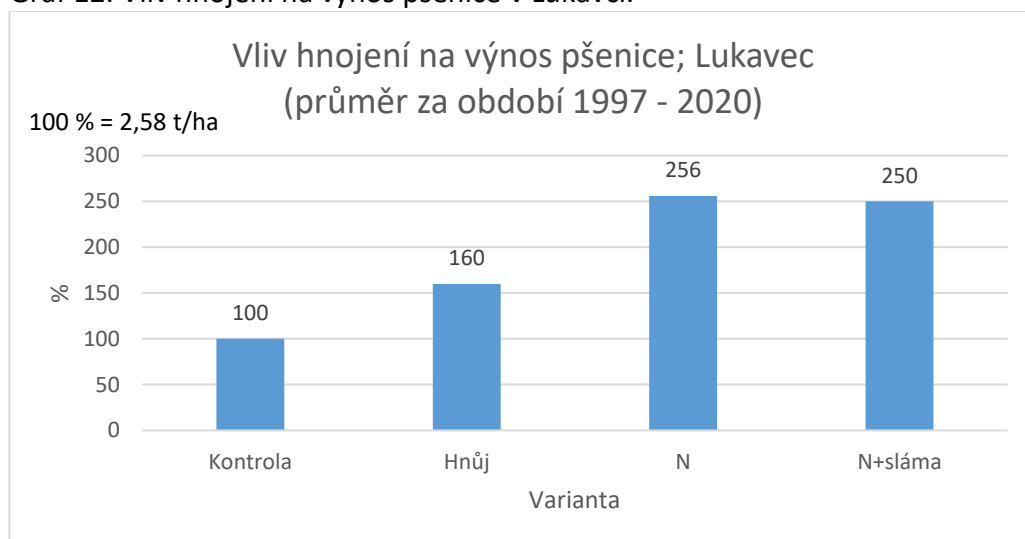
5.1.4.3 Brambory

Na variantě Kontrola bylo vyoráno 5,95 t/ha hlíz. Nejvyšší sklizně bylo dosaženo na variantě N s aplikovaným LAV, kde se sklídilo 8,81 t/ha a výnos se zvýšil o 50 %. Přibližně stejného výnosu brambor, 8,33 t/ha bylo dosaženo u varianty N+sláma, která navýšila výnos o 45 %. V rámci varianty Hnůj bylo sklizeno 7,81 t/ha a tím výnos vzrostl o 34 %.

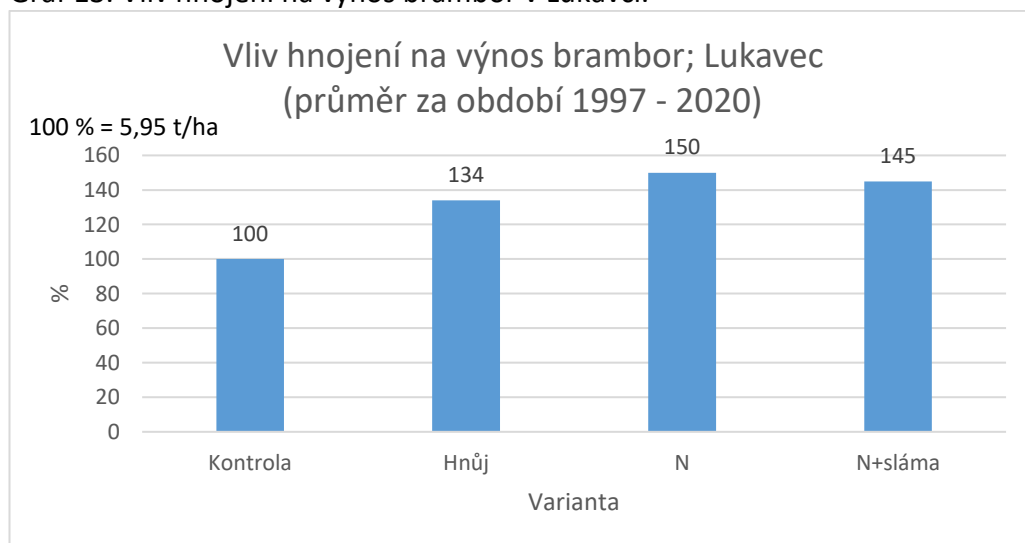
Graf 11. Vliv hnojení na výnos ječmene v Lukavci.



Graf 12. Vliv hnojení na výnos pšenice v Lukavci.



Graf 13. Vliv hnojení na výnos brambor v Lukavci.



5.2 Porovnání jednotlivých stanovišť

5.2.1 Ječmen jarní

Nejvyššího výnosu ječmene na kontrolní variantě bylo dosaženo na stanovišti Suchdol, kde bylo sklizeno 3,26 t/ha zrna.

Ze sledovaných variant hnojení byly nejúčinnější varianty N a N+sláma. Na stanovištích Hněvčeves a Suchdol, bylo nejvyššího výnosu zrna dosaženo na variantách, kde byla aplikována kombinace organického a minerálního hnojiva, a tím se výnos zlepšil o 88 a 45 %. Na stanici Humpolec, byla účinnost hnojiv 96 % a na Lukavci se výnos navýšil o 87 % oproti Kontrole.

Nejvýraznější účinek aplikace samotného LAV byl na stanicích Humpolec a Lukavec, kde na pokusných plochách zajistil výnos zrna o 92 a 101 % vyšší než na kontrolní variantě. V případě Humpolce byl výnos zrna z variant N a N+sláma téměř shodný (4,25 a 4,24 t/ha). Na stanovišti Hněvčeves se výnos zlepšil o 74 % a na stanici Suchdol o celých 37 %.

Zaorávaný hnůj neměl na výnos zrna takový vliv jako minerální hnojivo a sláma. Nejvyššího účinku dosáhl na stanici v Hněvčeves, kde byla úroda zrna o 49 % vyšší než na kontrolním pozemku. V Humpolci a Lukavci byl účinek hnoje téměř shodný, a to navýšením výnosu o 35 a 38 %. Na stanovišti Suchdol bylo sklizeno pouze o 12 % více zrna než na Kontrole.

5.2.2 Pšenice ozimá

Na variantě bez aplikace hnojiv bylo nejvyššího výnosu zrna pšenice dosaženo na stanici Hněvčeves s výnosem 4,71 t/ha

Nejvyšší hnojivý účinek byl opět u N a N+sláma variant. Na stanici Humpolec bylo nejvyššího výnosu dosaženo na poli s aplikovaným LAV a zaoranou slámou, kdy se výnos zlepšil oproti Kontrole o 91 %. V Hněvčevsi byl výnos po slámě o 69 % vyšší a na parcelách v Lukavci se výnos zlepšil, v porovnání s Kontrolou o celých 150 %. Na stanici Suchdol pak bylo zlepšení výnosu zrna u variant N a N+sláma shodné, a to o celých 38 %.

V Lukavci dominoval výnos zrna pšenice na variantách, kde byl aplikován samotný LAV, který výnosy zvýšil o rovných 156 %. V Humpolci bylo na polích s aplikovaným minerálním dusíkem dosaženo 88% zlepšení a v Hněvčevsi bylo v průměru sklizeno o 60 % více zrna než na Kontrole.

Vliv aplikovaného hnoje ani u pšenice nebyl oproti ostatním variantám dominantní. Nejvyšší zlepšení přinesl na stanicích Lukavec a Hněvčeves, kde zvýšil úrodu o 60 a 53 % oproti Kontrole. V Humpolci byl výnos zrna zvýšen o 31 % a na stanici Suchdol o pouhých 14 %.

5.2.3 Brambory

Z kontrolní varianty bylo v průměru nejvíce brambor vyoráno na stanovišti Lukavec v množství 5,95 t/ha.

Výnos brambor byl v rámci jednotlivých stanovišť různý v závislosti na použitém hnojivu.

Varianta N+sláma dosáhla nejvyššího výnosu na stanovišti Hněvčeves, kdy výsledný výnos byl o 85 % vyšší než u kontrolní varianty. Na stanici Lukavec, byl u této varianty výnos hlíz vyšší o celých 45 % a v Humpolci, aplikace minerálního a organického hnojiva zvýšila výnos hlíz o 41 %. Na stanici Suchdol se zvýšil na variantě N+sláma výnos o pouhých 17 %.

Nejlepší výsledky u samotně aplikovaného LAV byly zaznamenány na stanovištích Humpolec a Lukavec se zlepšením 62 a 50 %. V Hněvčevsi byly výnosy vyrovnané a N varianta zvýšila výnos o celých 71 %. Zato na stanici Suchdol se hnojení samotným LAV projevilo jako nejméně účinné a výnos hlíz zde byl navýšen o pouhých 15 %.

Varianta Hnůj s přehledem dominovala na stanici Suchdol, kdy výnos brambor byl vyšší oproti Kontrole o celých 31 %. V Lukavci došlo po aplikaci hnoje ke zlepšení výnosu o 34 % a v Hněvčevsi dokonce o 64 %. Nejvyššího výnosu brambor po aplikovaném hnoji bylo dosaženo ve stanici Humpolec, kde byl výnos vyšší o 47 %.

5.3 Půdní výsledky

5.3.1 Výsledky Hněvčeves

Výsledky jsou zdokumentovány v grafech 14, 15 a 16.

5.3.1.1 Organický uhlík (C_{org})

Na kontrolní variantě byl obsah C_{org} stanoven na 0,971 %. Na variantě s aplikovaným hnojem byl obsah 1,209 %. Varianta hnojená minerálním dusíkem obsahovala 1,000 % C_{org} a varianta s kombinací minerálních a organických hnojiv obsahovala 1,016 % C_{org} .

Nejvyšší nárůst organické hmoty je výrazně patrný u varianty hnojené hnojem, kdy obsah uhlíku byl o cca 20 % vyšší než u varianty hnojené pouze minerálním dusíkem. Nepatrně vyšších výsledků oproti minerálnímu hnojení, dosahovala varianta s kombinací minerálního a organického hnojení.

5.3.1.2 Celkový dusík (N_t)

Na variantě bez hnojiv byl dusík stanoven na 0,104 %. Na plochách, kde byl aplikován hnůj, byl obsah dusíku 0,124 %. U varianty s dodávaným dusíkem v minerálních hnojivech byl stanoven podíl dusíku 0,108 % a na variantě N+sláma byly hodnoty dusíku v půdě totožné, tedy 0,108 %.

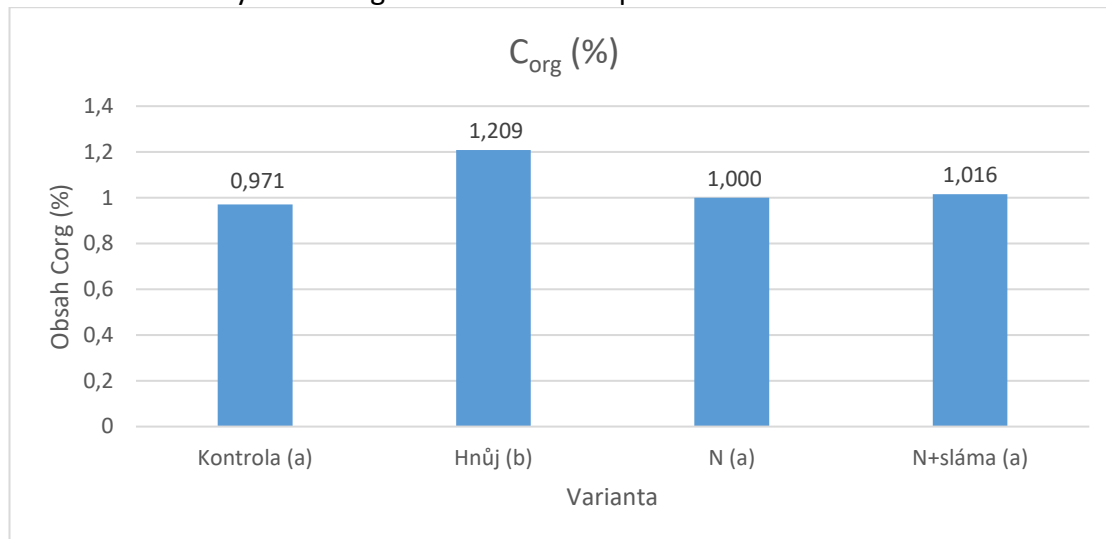
Nejvyšších hodnot dusíku dosáhla varianta hnojené hnojem. Při porovnání s variantou N, je obsah dusíku o přibližně 15 % vyšší. Na variantách s kombinovanou aplikací hnojiv byly naměřeny stejné hodnoty jako u varianty N, tedy v tomto případě neměla sláma na obsah dusíku v půdě žádný vliv.

5.3.1.3 Poměr C:N

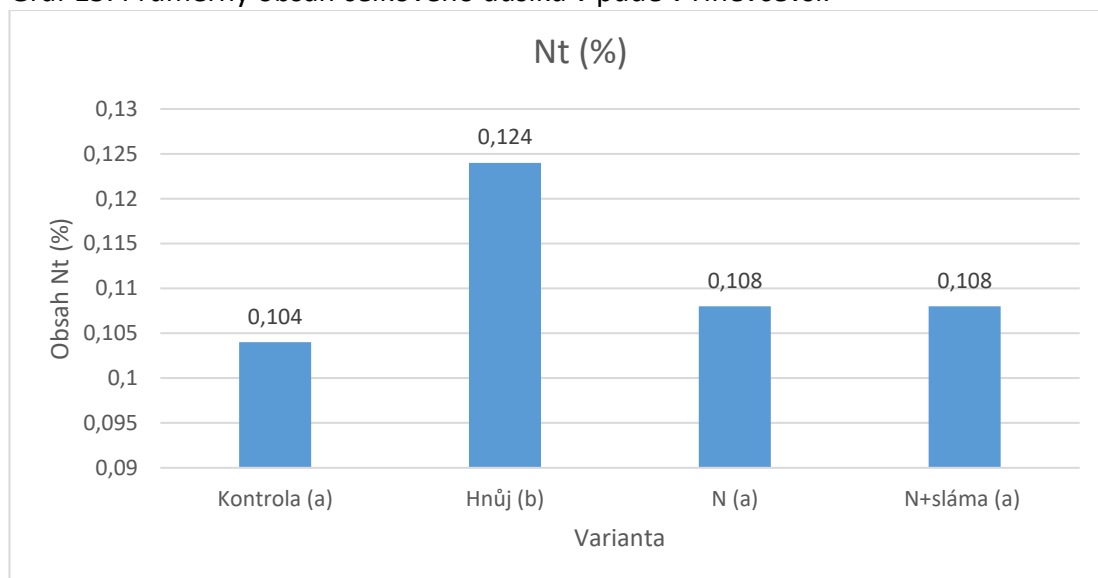
Na Kontrole, byl poměr C:N vypočítán na 9,361:1. Na variantě se zaorávaným hnojem byl stanoven poměr 9,702:1. Na variantě, kde byl aplikován samotný LAV byl poměr 9,409:1 a na variantě, kde byla k minerálnímu hnojivu přidána navíc sláma, bylo na jeden dusík 9,584 uhlíku.

Nejširšího poměru dosáhla varianta s aplikovaným hnojem, která má přibližně o 3 % více uhlíku na jeden dusík než varianta s použitým LAV. Množství C_{org} u varianty N+sláma se pohybuje mezi hodnotami variant Hnůj a N.

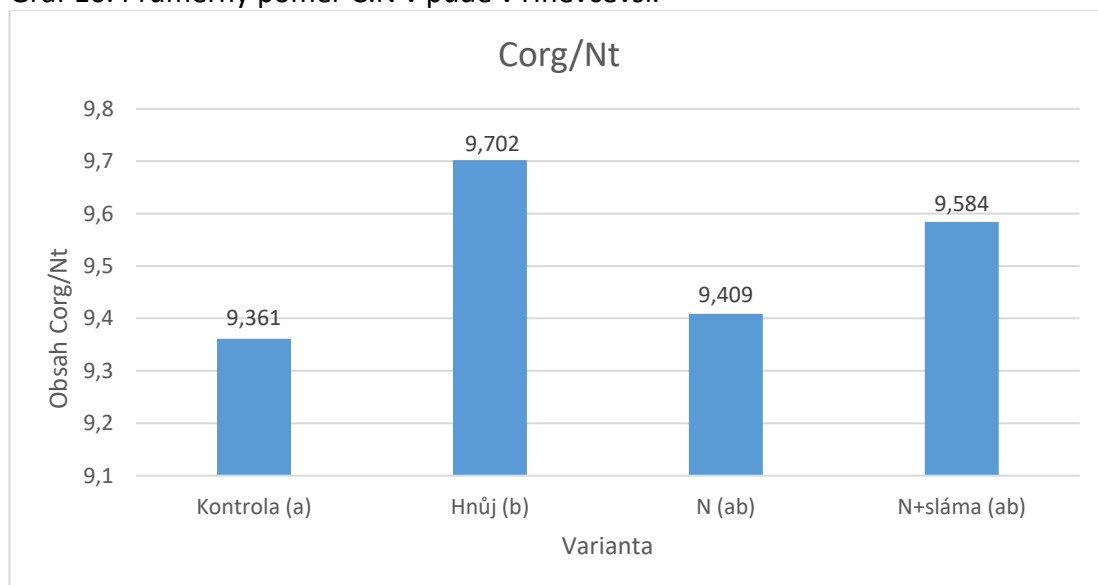
Graf 14. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Hněvčevsi.



Graf 15. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Hněvčevsi.



Graf 16. Průměrný poměr C:N v půdě v Hněvčevsi.



5.3.2 Výsledky Humpolec

Výsledná data jsou znázorněna v grafech 17, 18 a 19.

5.3.2.1 Organický uhlík (C_{org})

Obsah uhlíku v půdě na kontrolní variantě byl 1,925 %. Varianta, kde byl aplikován hnůj obsahovala 2,019 % uhlíku v půdě. Na variantě s dodávaným LAV bylo stanoveno 1,793 % uhlíku a na poslední pozorovaném pokusu s kombinovaným organickým a minerálním hnojivem bylo 1,790 % C_{org} v půdě.

I na tomto stanovišti došlo k největšímu nárůstu uhlíku v půdě na variantách se zaorávaným hnojem. Oproti variantě s aplikovaným minerálním dusíkem je hnůj o přibližně 12,5 % účinnější. Nejnižšího průměrného obsahu uhlíku v půdě dosáhla varianta N+sláma. Kontrolní nehnojená varianta, pouze na tomto stanovišti, převyšovala svou zásobou uhlíku v půdě jak N, tak i N+slámou hnojenou variantu.

5.3.2.2 Celkový dusík (N_t)

Na variantě bez hnojení byla naměřena hodnota dusíku 0,179 %. U varianty hnojené hnojem byla hodnota dusíku v půdě 0,183 %. Na variantě N, s aplikovaným minerálním dusíkem, byla naměřena hodnota dusíku 0,168 % a na variantě N+sláma 0,164 %.

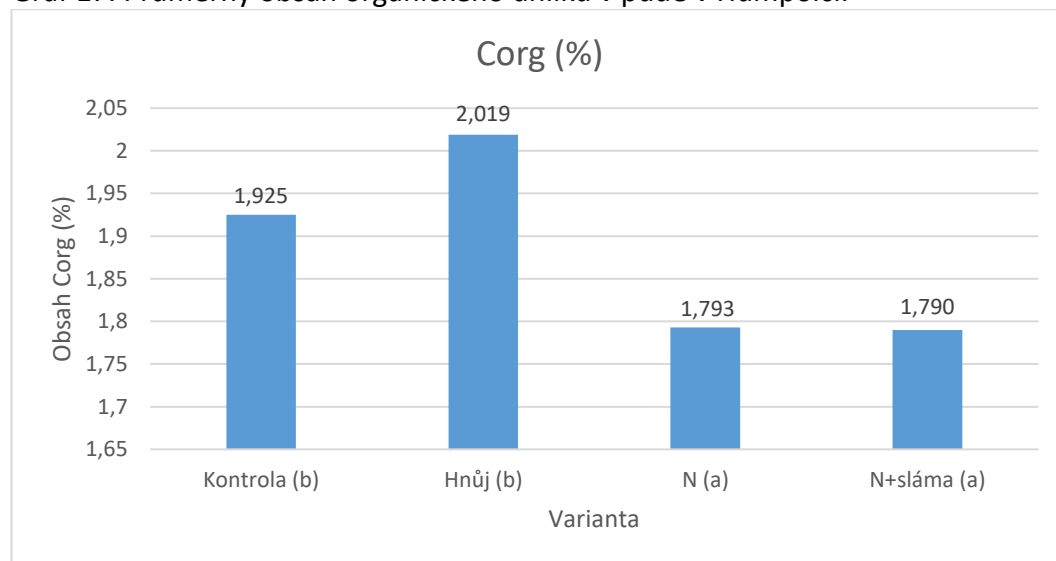
Nejvyšší hodnota naměřeného dusíku v půdě byla u varianty s aplikovaným hnojem s hodnotou 0,183 % N_t . Při porovnání s minerálním dusíkem, je organické hnojení o cca 9 % účinnější. Varianta s kombinací hnojiv se ukázala na obsah dusíku v půdě jako nejméně účinná. Téměř shodnou hodnotu dusíku jako varianta Hnůj mělo kontrolní stanoviště, kde byl rozdíl nepatrný.

5.3.2.3 Poměr C:N

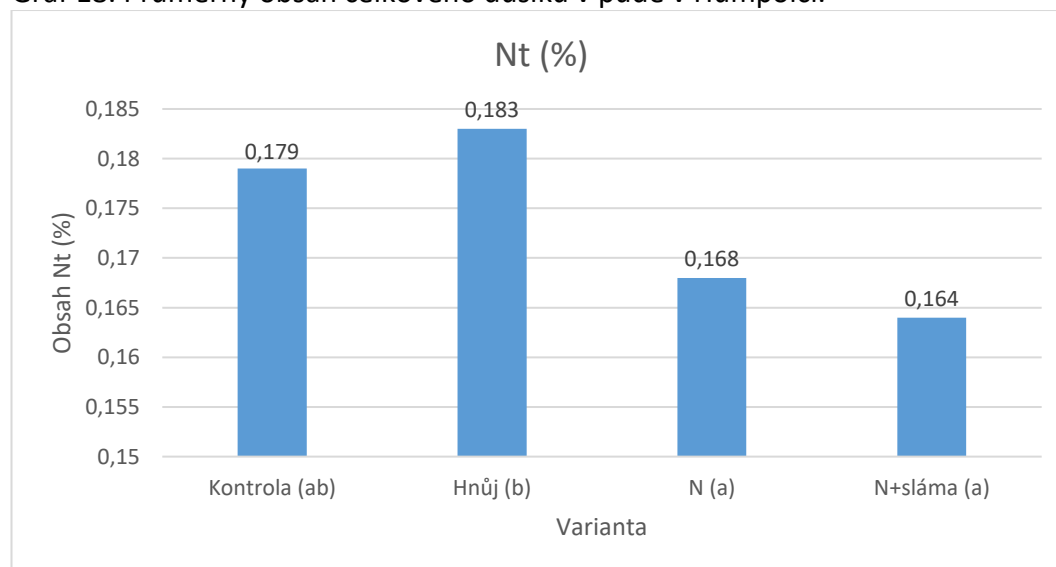
Na kontrolní variantě bylo stanoveno množství uhlíku na jeden dusík 10,912. Na variantě Hnůj byly hodnoty uhlíku 11,042. Varianta s minerálním dusíkem měla stanovený poměr uhlíku 10,800 a na pokusu s aplikací minerálního a organického hnojiva byly hodnoty C_{org} 10,897.

Nejširší poměr byl stanoven u varianty Hnůj. Varianta N+sláma měla poměr pouze nepatrně užší než varianta N.

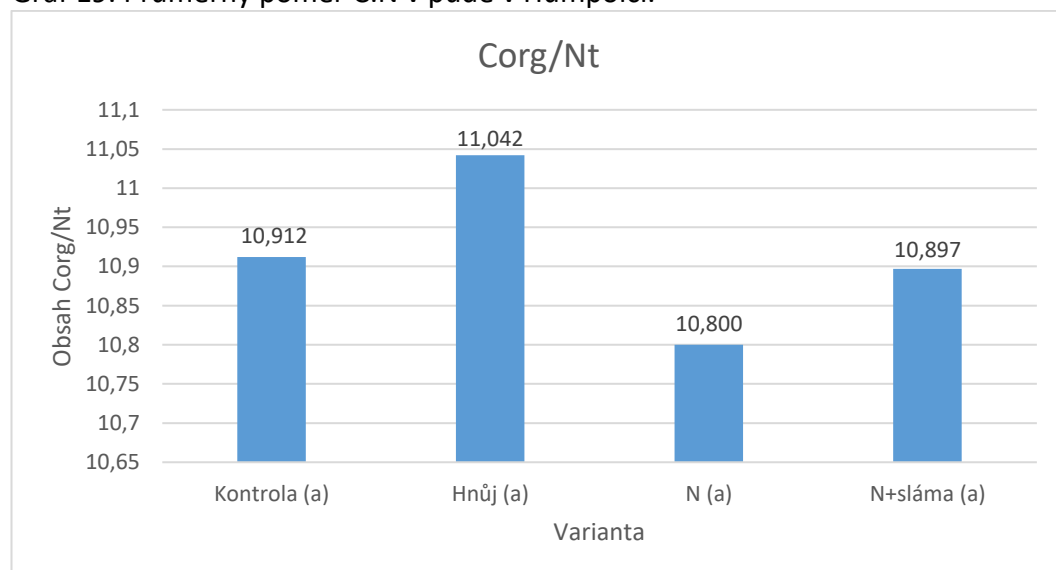
Graf 17. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Humpolci.



Graf 18. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Humpolci.



Graf 19. Průměrný poměr C:N v půdě v Humpolci.



5.3.3 Výsledky Suchdol

Výsledky jsou znázorněny v grafech 20, 21 a 22.

5.3.3.1 Organický uhlík (C_{org})

Naměřená hodnota na kontrolní variantě byla 2,259 % C_{org} . Pokus, kde byl aplikován hnůj, obsahoval v půdě 2,523 % uhlíku. Varianta s minerálním dusíkem obsahovala 2,409 % uhlíku a na variantě s kombinací hnojiv byl obsah C_{org} 2,419 %.

Nejvyššího obsahu dosáhl pokus s hnojem, který má, při porovnání s variantou N, vyšší obsah C_{org} o přibližně 5 %. Druhý nejvyšší obsah uhlíku byl naměřen u varianty s kombinací hnojiv.

5.3.3.2 Celkový dusík (N_t)

Na kontrolní variantě bylo v půdě naměřeno 0,173 % dusíku. Na pokusu s aplikovaným hnojem bylo 0,195 % N. U variant N a N+sláma byla zjištěná hodnota dusíku totožná, tedy 0,188 %

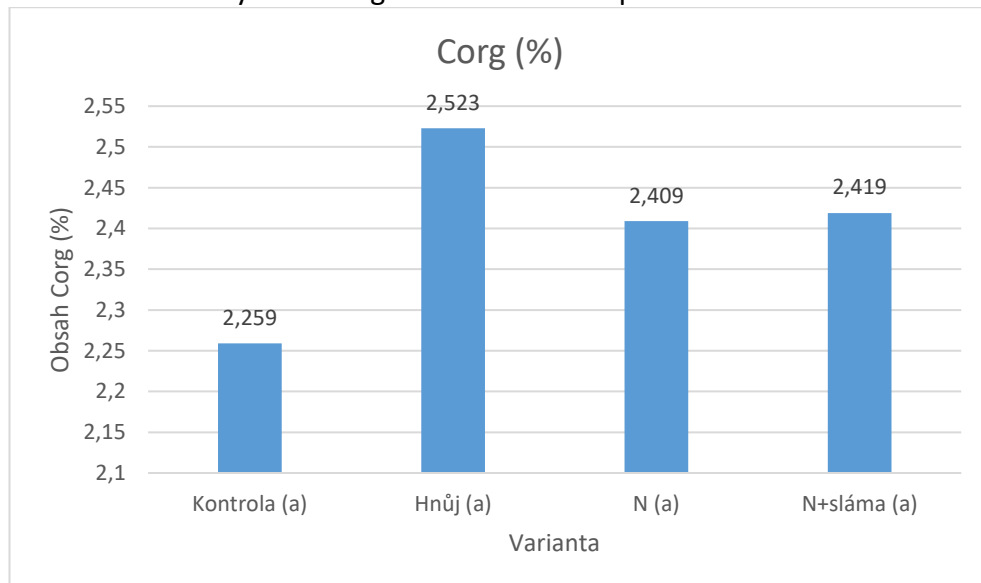
Nejvyšší naměřené hodnoty dosáhla varianta s aplikovaným hnojem. Rozdíly mezi variantou Hnůj, N a N+sláma jsou na tomto stanovišti velmi malé. I tady sláma neměla na obsah dusíku v půdě oproti variantě N žádný vliv.

5.3.3.3 Poměr C:N

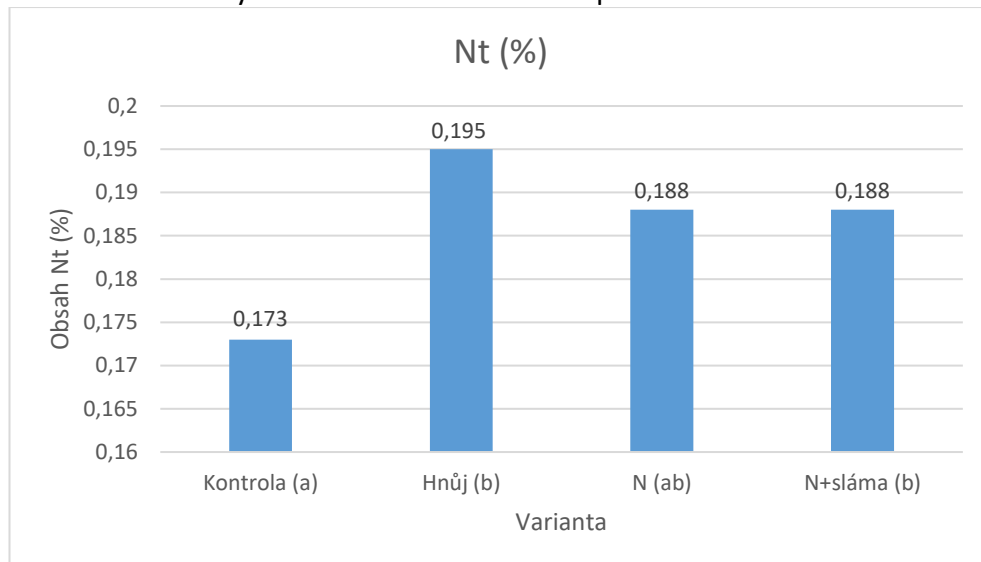
Kontrolní poměr byl stanoven na 13,168:1. V půdě s aplikovaným hnojem byly stanoveny hodnoty uhlíku 12,921 na jeden N_t . Po aplikaci minerálního dusíku bylo v půdě stanoveno 12,978 uhlíku na jeden dusík. Na variantě s kombinací hnojiv byl vypočítaný poměr 12,780:1.

Nejširší poměr C:N byl vyhodnocen u kontrolní varianty. Naopak nejužší poměr obsahovala varianta N+sláma. Rozdíl mezi variantami hnojenými hnojem a minerálním dusíkem je nepatrný, byl však zaznamenán širší poměr u varianty N.

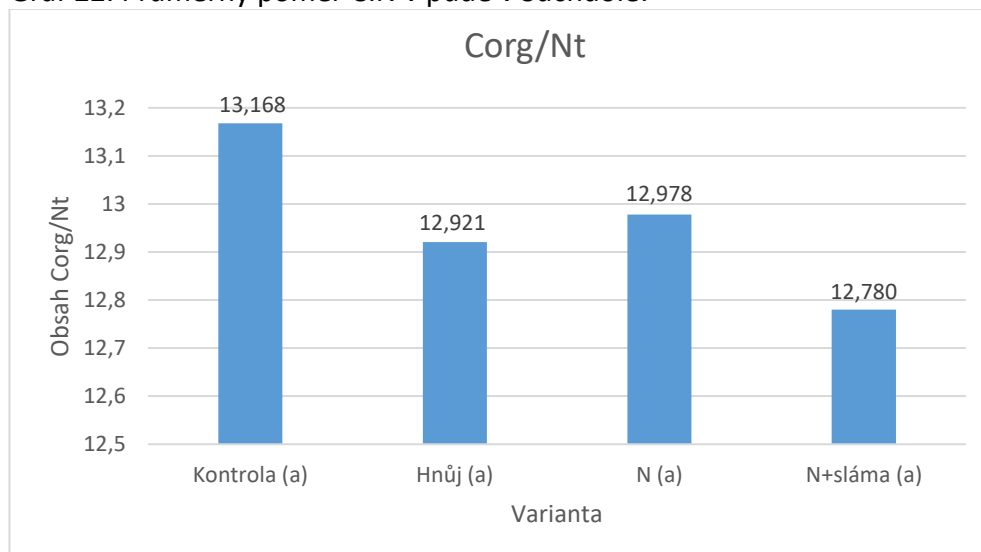
Graf 20. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Suchdole.



Graf 21. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Suchdole.



Graf 22. Průměrný poměr C:N v půdě v Suchdole.



5.3.4 Výsledky Lukavec

Výsledná data dokumentují grafy 23, 24 a 25.

5.3.4.1 Organický uhlík (C_{org})

Na kontrolní variantě byla hodnota uhlíku v půdě 1,484 %. Varianta Hnůj obsahovala 1,978 % C_{org} . Na variantě hnojené samotným LAV byl naměřen obsah uhlíku 1,591 % a na variantě s kombinací organického a minerálního hnojiva byl zjištěn obsah uhlíku 1,645 %.

Největší obsah uhlíku v půdě byl naměřen u varianty s aplikovaným hnojem, která obsahovala o cca 24 % více uhlíku než varianta N. Zaoraná sláma s aplikovaným LAV měla na obsah uhlíku v půdě příznivější vliv než u varianty bez slámy.

5.3.4.2 Celkový dusík (N_t)

Průměrná hodnota dusíku na kontrolní variantě byla 0,158 %. Zpracovaný hnůj zanechal v půdě 0,208 % N_t . Na variantě s aplikovaným LAV, bylo zaznamenáno 0,168 % N_t . Varianta, kde byl aplikován minerální dusík a sláma, obsahovala v půdě v průměru 0,174 % dusíku.

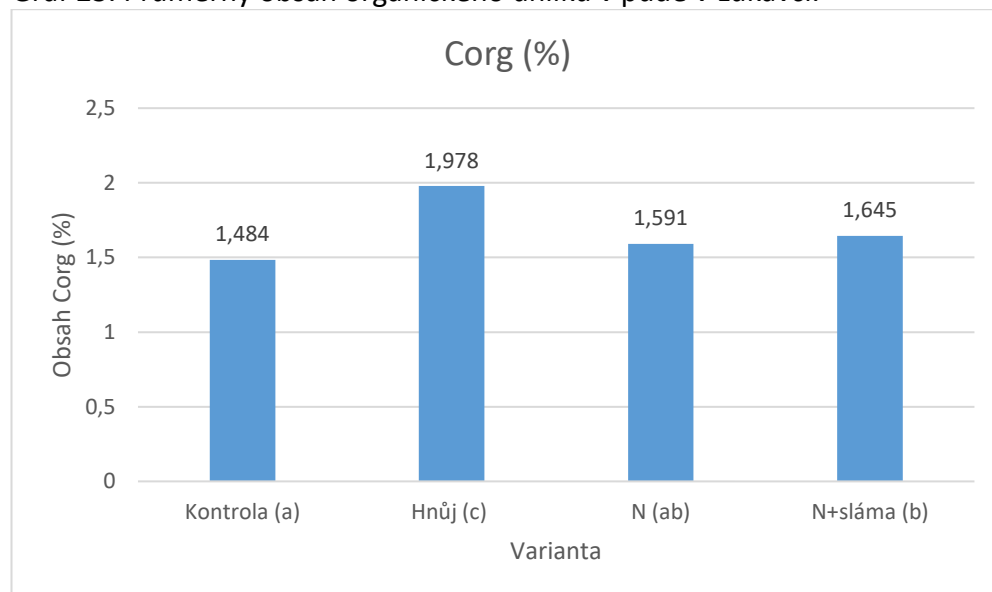
Na stanici Lukavec měla nejpositivnější vliv na obsah dusíku v půdě organická hnojiva. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo u varianty s aplikovaným hnojem, který měl na obsah dusíku v půdě o cca 24 % lepší vliv než samotný LAV. O něco málo lepších hodnot, než varianta N dosáhla i varianta N+sláma.

5.3.4.3 Poměr C:N

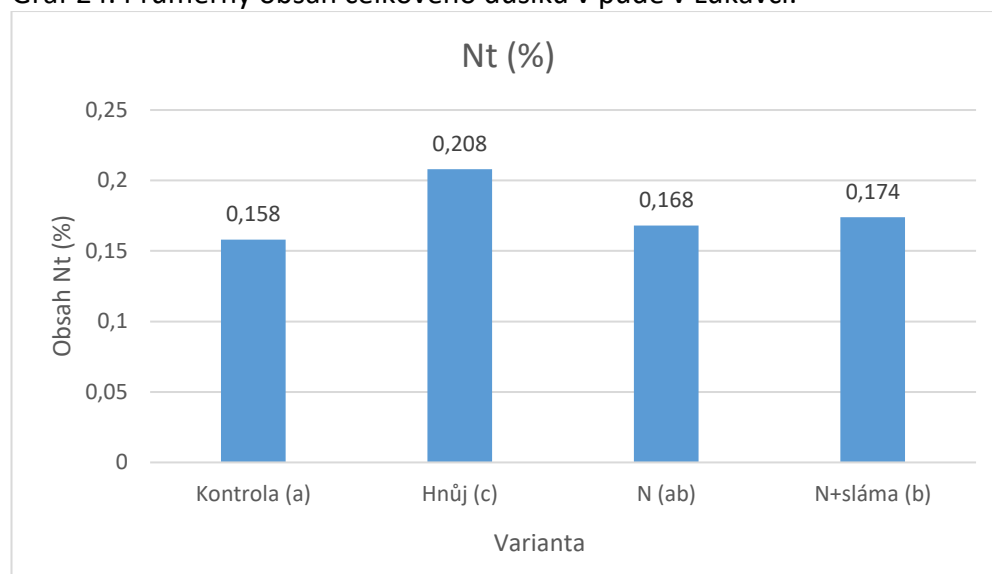
Na kontrolní variantě byl vypočítaný poměr 9,464:1. Na variantě s aplikovaným hnojem byly hodnoty uhlíku na jeden dusík 9,570. V půdě, kde byl aplikován LAV byl stanoven poměr 9,446:1. Na variantě N+sláma byl poměr 9,455:1

Nejširší poměr C:N byl vypočten u varianty s aplikovaným hnojem. Celkově na stanovišti Lukavec byly na všech variantách stanoveny poměry téměř stejné.

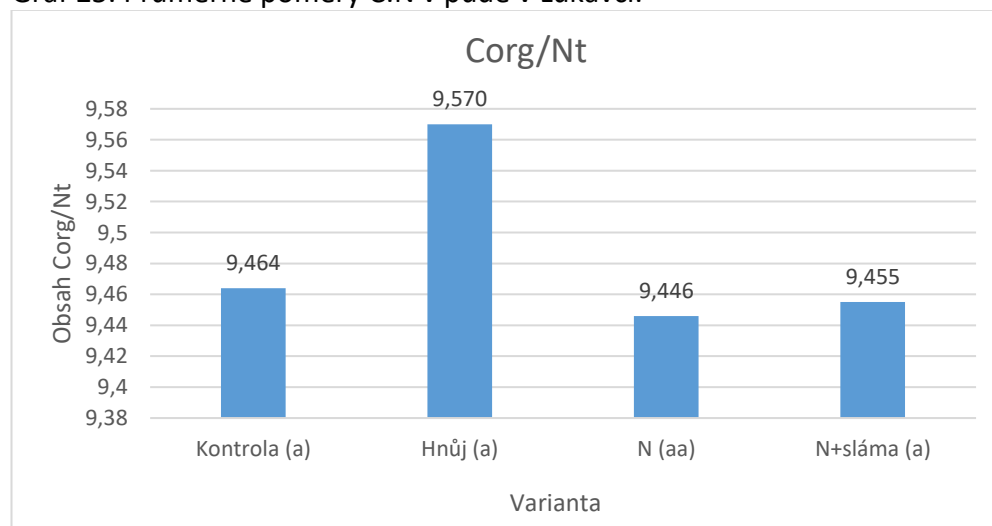
Graf 23. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Lukavci.



Graf 24. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Lukavci.



Graf 25. Průměrné poměry C:N v půdě v Lukavci.



5.4 Porovnávání jednotlivých stanovišť

5.4.1 Organický uhlík v půdě

Nejvíce organického uhlíku v půdě bylo naměřeno u variant Hnůj, a to na všech sledovaných stanovištích. Nejvíce C_{org} bylo na stanici Suchdol s hodnotou 2,523 % a nejméně na stanovišti Hněvčeves s obsahem 1,209 % C_{org} . V Lukavci a Humpolci, byly naměřeny hodnoty uhlíku po aplikovaném hnoji 1,978 a 2,019 %.

V Humpolci byly na kontrolním stanovišti zaznamenány dokonce vyšší hodnoty uhlíku (1,925 %), než na variantách s aplikovaným LAV a slámou. Na zbývajících stanovištích byl průměrný obsah uhlíku na kontrole nižší. V Lukavci a Hněvčevsi bylo naměřeno 1,484 a 0,971 % C_{org} , zatímco v Suchdole byl obsah uhlíku mnohem vyšší, a to 2,259 %

Na variantách s aplikovaným samotným minerálním dusíkem byl pouze v Humpolci zjištěn vyšší obsah uhlíku (1,793 %), než u varianty N+sláma (1,790 %). Rozdíl mezi nimi je ale nevýrazný, obě varianty měly obsahy C_{org} velmi podobné. Na stanicích Lukavec a Hněvčeves se po aplikaci samotného LAV nacházelo v půdě 1,591 a 1,000 % uhlíku. Na stanici Suchdol byl zjištěný podíl uhlíku po minerálním hnojivu 2,409 %.

Zaorávaná sláma s aplikací LAV zanechala v půdě na stanovišti v Humpolci 1,790 % C_{org} . V Hněvčevsi a Lukavci pak podíl uhlíku činil 1,016 a 1,645 %. Na stanici Suchdol byl obsah opět nejvyšší, a to v hodnotě 2,419 % uhlíku.

5.4.2 Celkový dusík v půdě

Nejvyšší hodnoty N_t v půdě byly naměřeny na všech sledovaných stanovištích u variant s aplikovaným hnojem. Na stanici Lukavec byla naměřena nejvyšší hodnota dusíku po aplikaci hnoje 0,208 %. Druhou nejvyšší zaznamenanou hodnotou u této varianty byl obsah 0,195 % na stanici Suchdol. Obsah dusíku v půdě po aplikovaném hnoji, byl na stanici Humpolec s hodnotou 0,183 % a nejnižší obsah byl zaznamenán v Hněvčevsi, a to pouze 0,124 % dusíku.

Na kontrolní variantě byly hodnoty opět nejnižší, až na stanici Humpolec, kde byl obsah N_t v půdě 0,179 %, tedy vyšší než u variant N (0,168 %) a N+sláma (0,164 %). Na stanici Hněvčeves byl obsah dusíku u kontrolní varianty 0,104 %, a byl velmi blízko variantám N a N+sláma (0,108 %), kde byl obsah shodný. Na stanicích Suchdol a Lukavec již byly rozdíly u kontroly (0,173 a 0,158 %) oproti ostatním variantám hnojení patrnější.

Varianty N a N+sláma měly na všech stanovištích zjištěny téměř shodné obsahy. Na stanicích Suchdol a Hněvčeves byly obsahy dusíku v půdě shodné, a to v množství 0,188 a 0,108 %. V Humpolci a Lukavci byly rozdíly nepatrné. V Humpolci bylo v půdě naměřeno u N varianty 0,168 % N_t a u varianty se zaoranou slámou 0,164 % N_t . V Lukavci byly hodnoty v půdě u samostatného N varianty 0,168 % N_t a u varianty s kombinací hnojiv 0,174 % N_t .

5.4.3 Poměr C:N

Rozdíly C:N nebyly na jednotlivých variantách hnojení na všech stanovištích příliš velké. Nejširší poměr byl vypočítán na stanici Suchdol u kontrolní varianty s hodnotou uhlíku 13,168. Na nehnojených variantách byl zjištěn poměr uhlíku v Hněvčevsi 9,361, v Lukavci 9,464 a v Humpolci 10,912.

Obsah uhlíku v poměru C:N u variant s aplikovaným hnojem dosáhl na stanici Suchdol nejvyšší hodnoty 12,921. Naopak nejužší poměr byl vyhodnocen na stanici Lukavec, s hodnotou uhlíku 9,570. Podobný poměr byl na stanovišti v Hněvčevsi s hodnotou 9,702 a na stanici v Humpolci bylo naměřeno 11,042 uhlíku.

Poměry v půdě u variant N a N+sláma byly na všech stanicích velmi podobné. Nejširšího poměru bylo dosaženo na stanici Suchdol, kde byl poměr uhlíku 12,978 u varianty N, a 12,780 u N+slámy. V Lukavci byly hodnoty u N varianty 9,446 a se slámou 9,455. V Hněvčevsi dosahovaly hodnoty uhlíku 9,409 u varianty s samotným LAV, a 9,584 u varianty s kombinovaným hnojením. Na stanici Humpolec bylo v půdě na jeden dusík přítomno 10,800 uhlíku u varianty N, a 10,897 uhlíku u N+slámy.

6 Diskuse

6.1 Výnosy plodin

Z dlouhodobého sledování průměrných výnosů plodin vyplývá, že na variantách s aplikovaným minerálním dusíkem (N a N+sláma varianty) jsou výnosy, téměř na všech stanovištích vyšší než u variant s aplikovaným hnojem.

Na stanici Suchdol má aplikace hnoje dlouhodobě vyšší účinnost na produkci brambor než hnojení minerálním dusíkem. Na stanovišti Humpolec je celkový výnos brambor hnojených hnojem mezi variantami N a N+sláma.

Jak uvádí Ivanič et al. (1984), statková hnojiva zlepšují životní prostředí rostlin a poskytují dlouhodobě se uvolňující živiny, zato průmyslová hnojiva jsou zdrojem okamžitých živin, jejichž potřebu nestačí nahradit přirozená mineralizace.

6.2 Obsahy sledovaných látek v půdě

6.2.1 Organický uhlík (C_{org})

Dle Kozák et al. (2004) se obsah organické hmoty v půdě pohybuje v rozmezí 1-5 %. V našich půdách, dle Šnobl a Pulkrábek (2007) je obsah humusu v průměru 1,8–2,2 %. To znamená, že obsah humusu v našich půdách nízký až střední. Za vysoký obsah humusu v půdě je považována hodnota 3-5 %. Velmi důležitá je i kvalita humusu, která je vyjádřena poměrem huminových kyselin (HK) a fulvokyselin (FK). Jak uvádí Kozák et al. (2004), na černozemi s obsahem 2,6 % humusu je poměr HK:FK 2,4; zatímco na eutrofní kambizemi s obsahem humusu 2,5 % je poměr HK:FK pouze 0,7.

Vyloženě nízké množství organického uhlíku bylo na stanovišti Hněvčeves, kde byl nejvyšší obsah stanoven u varianty Hnůj, 1,209 %. Na variantách N a N+sláma byl podíl uhlíku 1 a 1,016 %. Naopak poměrně vysoký obsah humusu byl stanoven na Suchdole, kde bylo naměřeno 2,523 % organického uhlíku u varianty Hnůj. Vysokých hodnot na Suchdole dosáhly ale i varianty N a N+sláma, které měly podíly uhlíku velmi podobné a to 2,409 a 2,419 %, což je v naší republice nadprůměrné množství. V Humpolci byl stanoven u Kontroly (1,925 %) vyšší obsah uhlíku než u variant hnojených LAV a slámou (1,793 a 1,790 %) a Hnůj pak zvýšil obsah na C_{org} 2,019 %. Na stanici Lukavec se pouze Hnůj s obsahem C_{org} 1,978 % dostal do celorepublikového průměru.

Při porovnávání vlivu hnoje a minerálních hnojiv na obsah humusu v půdě uvádí Škarda (1982) průměrné zvýšení humusu v půdě o 4 % ve prospěch hnoje. Na sledovaných stanovištích bylo zvýšení obsahu organického uhlíku u hnoje v Hněvčevsi o 20 %, Humpolci 12,6 %, Suchdolu o 5 % a Lukavci o 24 % vyšší oproti LAV.

U dlouhodobých pokusů došel Škarda (1982) k výsledkům, že dlouhodobé zaorávání slámy s minerálními hnojivy obsah humusu v půdě zvyšuje oproti samotným minerálním hnojivům o 7 %. Na sledovaných stanovištích byly rozdíly u výše zmíněných variant zvýšeny v Hněvčevsi o 1,6 %, Suchdolu o 0,5 %, Lukavci o 3,3 % a sníženy na stanovišti Humpolec o 0,2 %.

6.2.2 Celkový dusík (N_t)

Průměrný obsah celkového dusíku v půdě je v rozmezí 0,1 - 0,2 % (Ivanič et al. 1984; Vaněk 2007). V tomto rozmezí byly naměřeny veškeré hodnoty celkového dusíku na všech sledovaných stanovištích.

Při porovnání variant Hnůj a N, byl dusík v půdě ve větším množství po aplikaci hnoje, a to v Hněvčevsi o 14,8 %, Humpolci o 8,9 %, Suchdole o 3,7 % a Lukavci o 23,8 %.

Při porovnávání vlivu LAV se slámou na obsah dusíku v půdě oproti N variantě hnojené samotným LAV, je patrné, že sláma má žádný až minimální vliv. V Hněvčevsi a v Suchdole byl podíl dusíku v půdě stejný u obou variant, v Humpolci byl obsah dusíku u slamnaté varianty o 2,4 % nižší a v Lukavci o 3,6 % vyšší.

6.2.3 Poměr C:N

Průměrná hodnota C:N se v našich půdách pohybuje kolem 10:1 (Rejšek & Vácha 2018). Podle Sirového a Facka (1967) lze jako dostatečné zásobení půdy dusíkem považovat poměr 15-18:1. Dle Knittel et al. (2020) je poměr C:N v půdě důležitý při mineralizaci dusíku. Při poměru C:N pod 10:1 se mineralizace dusíku zvyšuje, u poměru 10-15:1 probíhá normální mineralizace dusíku a při poměru nad 15:1 již probíhá imobilizace dusíku

Srovnání obsahů uhlíku u variant Hnůj a N byl podíl vyšší u hnoje v Hněvčevsi o 3,1 %, Humpolci o 2,2 %, Lukavci o 1,3 % a v Suchdole byl nižší o 0,5 %.

Při srovnání variant N a N+sláma byl obsah uhlíku u slamnaté varianty vyšší v Hněvčevsi o 1,8 %, Humpolci o 0,8 %, Lukavci o 0,1 % a na Suchdole byl nižší o 2,6 %.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv organických hnojiv (hnoje a slámy) na kvalitu organické hmoty v půdě a porovnat je s minerálním hnojivem, v tomto případě s ledkem amonným s vápencem. Pozorování probíhalo na dlouhodobých polních pokusech ČZU v Hněvčevsi, Humpolci, Suchdole a Lukavci.

Z dosažených výsledků je možné konstatovat, že významnou roli při zlepšování obsahu organické hmoty v půdě, měly mimo hnojiva také půdní a klimatické podmínky stanovišť.

Na méně úrodných stanovištích, jako jsou Hněvčevs nebo Lukavec, bylo působení hnoje a slámy na obsah organického uhlíku v půdě mnohem vyšší než u kvalitnějších a úrodnějších půd na Suchdole.

Vliv hnoje při pozorování obsahu organického uhlíku v půdě, byl jednoznačně vyšší než u LAV. Kombinace minerálního hnojení (LAV) a slámy, neměla na obsah uhlíku v půdě příliš velký vliv, neboť vzorky půd měly jen o něco málo více uhlíku než po samostatném LAV. V Humpolci byl dokonce obsah uhlíku u slamnaté varianty nepatrně nižší než u N varianty a obě tyto varianty měly nižší podíl uhlíku, než bylo naměřeno na Kontrole.

U pozorovaného obsahu celkového dusíku v půdě měl hnůj vyšší účinnost než LAV a rozdíl byl patrnější na méně úrodných půdách. Dle dosažených výsledků neměla sláma na obsah celkového dusíku v půdě téměř žádný vliv. V Lukavci byl u této varianty naměřen obsah dusíku o něco vyšší, ale v Humpolci bylo naměřeno po N+sláma variantě méně dusíku v půdě než po samotném LAV. V Suchdole a Hněvčevsi nebyl mezi oběma variantami zjištěn rozdíl.

Poměr C:N byl na každém stanovišti u všech variant velmi podobný. Rozdíly v množství uhlíku na jeden dusík byly mezi jednotlivými variantami hnojení v řádech desetin. Na všech stanovištích byly poměry nejširší po aplikaci organických hnojiv (hnůj a sláma), kromě stanice Suchdol, kde bylo v půdě ze všech tří variant hnojení nejvíce uhlíku u varianty N, nepočítaje kontrolní variantu, která v obsahu uhlíku v Suchdole dominovala.

Hypotéza 1) – Různé druhy hnojiva působí na každém stanovišti na výnosy plodin různě. Hnojiva LAV a LAV + sláma dosahují u všech plodin nejvyšších výnosů (mimo brambor na stanici Suchdol, kde byly nejvyšší výnosy po aplikaci hnoje). Působení hnojiv na každém stanovišti je proměnlivé a odvíjí se tedy od půdních a klimatických podmínek jednotlivých stanovišť. Hypotéza byla potvrzena.

Hypotéza 2) - Organickým a minerálním hnojením bylo dosaženo kladných změn v obsahu organických látek v půdě (vyjma stanoviště Humpolec, kde byl C_{org} v půdě u N a N+sláma variant nižší než u Kontroly). Půdní a klimatické podmínky tuto změnu podstatně ovlivňovaly, jelikož na méně úrodných půdách byly rozdíly v působení hnojiv na C_{org} v půdě vyšší než u půd s již vyšším obsahem organických látek. Hypotéza byla částečně potvrzena.

Hypotéza 3) – Hnůj zanechával vyšší obsahy N_t v půdě než samotná minerální hnojiva a sláma, bez rozdílu stanoviště. Zanechával ale také vyšší obsah C_{org} , a tím byl Poměr C:N širší než u minerálních hnojiv. Nejméně uhlíku na jeden dusík tak bylo vypočítáno na všech stanovištích u N varianty, vyjma stanice Suchdol, kde bylo naměřeno nejvíce dusíku v poměru C:N u N+sláma varianty, z důvodu vysoké úrodnosti půd. Hypotéza byla potvrzena.

8 Literatura

- Balík J, Černý J, Kulhánek M, Sedlář O. 2018. Soil carbon transformation in long-term field experiments with different fertilization treatments. *Plant Soil Environ* **12**: 578-586
- Balík J, Pavlíková D, Vaněk V, Černý J. 2009. Vliv hnojení na půdní vlastnosti a půdní úrodnost. Pages 11-16 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. *Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ – Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.
- Balík J, Černý J, Vaněk V, Kulhánek M, Sedlář O, Suran P. 2019. Význam organické složky v půdě. Pages 9-17 in Vaněk V, Balík J, Tlustoš P, editors. *Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ – Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.
- Berner A. 1994. *Ošetřování a využití hnoje*. Agrospoj, Praha.
- Bremner JM. 1965. Organic forms of nitrogen. *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties* **9**: 1238–1255.
- Burton CH, Turner C. 2003. *Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture*. Silsoe Research Institute.
- Černý J. 2014. *Aplikace čistírenských kalů na orné půdě jako jedna z variant zvýšení organických látek v půdě*. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha.
- Černý J, BALÍK J. 2021. 20. Makový občasník - půdní organická hmota v souvislostech s pěstováním máku. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Diaz LF, Savage GM. 2007. Factors that affect the process. *Waste Management Series* **8**: 49–65.

- Duchoň F. 1948. Výživa a hnojení kulturních rostlin zemědělských. Československá akademie zemědělská, Praha.
- Dvořák P, Hamouz K, Hajslová J, Schulzová V, Tomášek J, Kuchtová P. 2009. Mulč v pěstitelské technologii ekologicky pěstovaných brambor. Úroda časopis pro rostlinnou produkci **12**: 151–158.
- Dvorský J, Urban J. 2014. Základy ekologického zemědělství. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Dvorský J, Urban J. 2014. Základy ekologického zemědělství: podle nařízení Rady (ES) č. 834/2007 a nařízení Komise (ES) č. 889/2008 s příklady. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Golueke CG. 1977. Biological reclamation of solid wastes. Rodale Press, Chicago.
- Haider K. 1996. Biochemie des bodens. Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart.
- Hamouz K, ČEPL J, Dvořák P, Hausvater E, Kasal P, Vokál B. 2008. Brambory - Inovace a trendy v pěstování, nové pohledy na kvalitu. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Hanč A, Tlustoš P, Száková J, Balík J. 2008. The influence of organic fertilizers application on phosphorus and potassium bioavailability. Plant Soil Environ. **6**: 247.
- Hillel D, Hatfield JL. 2005. Encyclopedia of Soils in the Environment. Elsevier, Amsterdam.
- Ivanič J, Havelka B, Knop K. 1984. Výživa a hnojenie rastlín. Priroda, Bratislava.
- Jůzl M, et al. 2000. Rostlinná výroba–III (Okopaniny). Mendelova zemědělská, Brno.

- Káš V, Langkramer O. 1964. Zemědělská mikrobiologie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Knittel H, Albert E, Ebertseder T, Voth U. 2020. Praxishandbuch Dünger und Düngung. AgriMedia.
- Kolář L, Vaněk V, Kužel S, Peterka J, Borová-Batt J, Pezlarová J. 2011. Relationships between quality and quantity of soil labile fraction of the soil carbon in Cambisols after liming during a 5-year period. *Plant, Soil and Environment*. **5**: 193–200.
- Konvalina P, Capouchová I, Stehno Z, Moudrý J. 2010. Agronomic characteristics of the spring forms of the wheat landraces (einkorn, emmer, spelt, intermediate bread wheat) grown in organic farming. *Journal of Agrobiology*. **1**: 9–17.
- Kozák J, Němeček J, Matula S, Valla M, Borůvka L. 2004. *Pedologie*. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha
- Krištín J. 1978. *Nauka o prostředí rostlin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Krištín J. 1985. *Nauka o prostředí rostlin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Kuhn V, Skládal V. 1962. *Speciální pěstování rostlin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Kulhánek M, Sedlář O, Suran P, Balík J, Černý J. 2019. Komposty a jejich úloha v současném zemědělství. Pages 29-41 in Vaněk V, Balík J, Tlustoš P, editors. *Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ – Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.
- Máchal A, Slámová G, Husták J. 1996. *Malý ekologický a environmentální slovníček*. Rezekvítek, Brno.

- Mentlík P. 2003. Stručný úvod do pedologie a pedografie pro geografy. Západočeská univerzita, Plzeň.
- Němec J. 2020. Vliv systému hnojení na produkci ozimé pšenice. [MSc. Thesis]. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha.
- Míča B. 1975. Einfluss von Bor, Mangan und Zink auf den Ertrag und die Qualität von Kartoffeln. *Potato Research*. **4**: 565–572.
- Pavlů L. 2019. Základy pedologie a ochrany půdy. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha.
- Rejšek K, Gryndler M, Miko L, Šantrůčková H. 2006. Život v půdě 1. Čtvrtý rozměr bedrušek a škrobáků. *Vesmír*. **85**: 212–219.
- Rejšek K. 1999. Lesnická pedologie: cvičení. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Rejšek K, Vácha R. 2018. Nauka o půdě. Agriprint s.r.o., Olomouc.
- Sedlář O, Balík J, Černý J, Kulhánek M, Vašák F. 2017. Relation between nitrogen nutrition index and production of spring malting barley. *International Journal of Plant Production*. **3**: 379–388.
- Shejbalová Š, Černý J, Vašák F, Kulhánek M, Balík J. 2014. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. *Plant, Soil and Environment*. **7**: 291–296.
- Schachtschabel P, Blume HP, Thiele-Bruhn S. 1976. Lehrbuch der bodenkunde. Enke Stuttgart, Stuttgart.
- Sirový VL, Facek ZB, Pospíšil FR, Kulíková A, Javorský P, Kalaš V. 1967. Průzkum zemědělských půd ČSSR. Ministerstvo zahraničních věcí, Praha.

- Sumner ME. 1999. Handbook of soil science. CRC press, Cleverland.
- Šantrůček J, Šantrůčková H. 2018. Stabilní izotopy biogenních prvků: použití v biologii a ekologii. Academia, Praha.
- Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Škarda M. 1982. Hospodaření s organickými hnojivy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Šnobl J, Pulkrábek J. 2007. Základy rostlinné produkce. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha.
- Tesař S, Vaněk V. 1992. Výživa rostlin a hnojení. VŠZ Praha a H&H Jinočany, Praha.
- Tittarelli F, Petruzzelli G, Pezzarossa B, Civilini M, Benedetti A, Sequi P. 2007. Quality and agronomic use of compost. In: Waste management series. **8**: 119–157.
- Urban J. 2009. Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi, I. díl. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Šilha J, Černý J. 2008. Spatial variability of total soil nitrogen and sulphur content at two conventionally managed fields. Plant, Soil and Environment. **10**: 413–419.
- Vaněk V. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, Praha.
- Vaněk V. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha.
- Vokál B, Hamouz K, Čepl J. 2000. Vliv rozdílných ekologických podmínek pěstování na stolní hodnotu hlíz brambor. Rostlinná výroba. **11**: 487–493.
- Wollnerová J, Kozlovská L, Klír J. 2020. Hospodaření ve zranitelných oblastech, 5. ační program nitrátové směrnice. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Záhora J, Ryant P, Škarpa P. 2015. Půdní úrodnost a biologická aktivita půdy. Pages 21 in Vaněk V, Balík J, editors. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ – Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.

9 Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1. Průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech pšenice ozimé

Tabulka 2. Průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech ječmene jarního

Tabulka 3. Průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech brambor

Tabulka 4. Průměrné chemické složení hlíz a natě bramborů

Tabulka 5. Obsah organických látek (OL) ve statkových hnojivech

Tabulka 6. Obsah sušiny, organických látek (OL) a živin v % v čerstvé slámě

Tabulka 7. Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji

Tabulka 8. Průměrné využití živin z uzcralého hnoje (% celkového obsahu)

Tabulka 9. Obsah organických látek (OL), sušiny a živin v % v kejdě skotu, prasat a drůbeže

Tabulka 10. Obsah sušiny, organických látek (OL) a živin v % v močůvce

Tabulka 11. Obsah základních živin a organických látek v % sušiny při obsahu vody do 50 %

Tabulka 12. Dávky dusíku (kg/ha) na tříletý osevni postup

Tabulka 13. Půdñní a klimatická charakteristika pokusných stanovišť

Graf 1. Složení půdy

Graf 2. Vliv hnojení na výnos ječmene v Hněvčevsi

Graf 3. Vliv hnojení na výnos pšenice v Hněvčevsi

Graf 4. Vliv hnojení na výnos brambor v Hněvčevsi

Graf 5. Vliv hnojení na výnos ječmene v Humpolci

Graf 6. Vliv hnojení na výnos pšenice v Humpolci

Graf 7. Vliv hnojení na výnos brambor v Humpolci

Graf 8. Vliv hnojení na výnos ječmene v Suchdole

Graf 9. Vliv hnojení na výnos pšenice v Suchdole

Graf 10. Vliv hnojení na výnos brambor v Suchdole

Graf 11. Vliv hnojení na výnos ječmene v Lukavci

Graf 12. Vliv hnojení na výnos pšenice v Lukavci

Graf 13. Vliv hnojení na výnos brambor v Lukavci

Graf 14. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Hněvčevsi

Graf 15. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Hněvčevsi

Graf 16. Průměrný poměr C:N v půdě v Hněvčevsi

Graf 17. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Humpolci

Graf 18. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Humpolci

Graf 19. Průměrný poměr C:N v půdě v Humpolci

Graf 20. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Suchdole

Graf 21. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Suchdole

Graf 22. Průměrný poměr C:N v půdě v Suchdole

Graf 23. Průměrný obsah organického uhlíku v půdě v Lukavci

Graf 24. Průměrný obsah celkového dusíku v půdě v Lukavci

Graf 25. Průměrné poměry C:N v půdě v Lukavci