

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Bilance živin v zemědělském podniku při hnojení
organickými hnojivy**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Petr Pejsar

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

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci "Bilance živin v zemědělském podniku při hnojení organickými hnojivy" vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jindřichovi Černému, Ph.D. za cenné rady, čas a trpělivost při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat vedení společnosti Meclovské zemědělské a. s. jmenovitě Ing. Lubomírovi Porvichovi a Ing. Ondřejovi Kučerovi za ochotu a spolupráci a především za poskytnutí důležitých dat, bez kterých by nebylo možné tuto práci vypracovat.

Bilance živin v zemědělském podniku při hnojení organickými hnojivy

Souhrn

Cílem této práce je hodnocení a výpočet bilancí hlavních živin v půdě. Zpracování diplomové práce je zaměřeno na hodnocení vstupu živin, zejména dusíku, fosforu, draslíku, hořčíku a síry v organických hnojivech, a to jak přímé působení těchto živin po aplikaci, tak i dlouhodobé působení s odstupem aplikace nebo při opakované aplikaci organických hnojiv. Ve sledovaných letech 2008 – 2014 byly v zemědělské společnosti hodnoceny tyto půdní bloky - „Březinka“ (68,51 ha), „Jiříkovo“ (16,93 ha), „Kocourovské“ (58,16 ha) a „U Akátu“ (35,84 ha). Bilance dusíku, fosforu, draslíku, hořčíku a síry byly na těchto půdních blocích hodnoceny v rámci metody „bilance na jednotlivých pozemcích“ za období délky jedné rotace osevního postupu. V této bilanci zahrnují vstupy množství živin, které bylo dodáno v organických a minerálních hnojivech, u bilance dusíku rozšířené o množství získané jeho symbiotickou fixací, celkovou depozicí a vstupy osivem (tzv. povrchová bilance dusíku). Výstupy v této bilanci pak tvoří množství jednotlivých živin, které byly odčerpány výnosem dané plodiny, včetně započtených ztrát u povrchové bilance dusíku. V rámci této práce byla provedena jednoduchá bilance organických látek a hodnocení změn stavu zásobenosti P, K, Mg na základě dostupných údajů z agrochemického zkoušení půd v letech 2009 – 2015 a výsledků bilancí jednotlivých živin. Výsledky povrchových bilancí dusíku se na jednotlivých půdních blocích pohybovaly v závislosti na vstupech v organických hnojivech ve výrazně kladných hodnotách, což mohlo způsobit podle výsledné bilance zvýšené až nadměrné ztráty na dusíku. Avšak je obtížné určit přímé a reziduální působení dusíku aplikovaného v organických hnojivech a využitelnost dusíku rostlinami z těchto hnojiv. Bez vstupů v minerálních hnojivech závisely opět výsledné hodnoty bilancí u ostatních živin v jednotlivých letech na množství vstupů v organických hnojivech. V rámci jednoduchých bilancí organických látek na jednotlivých půdních blocích byla, při součtu jednotlivých let, potřeba organických látek splněna.

Klíčová slova: bilance živin, organická hnojiva, agrochemické vlastnosti půd, výnos

The nutrients balance on the farm when fertilizing by organic fertilizers

Summary

The aim of this thesis is the evaluation and balance calculation of the basic nutrients in soil. The content of this thesis is focused on the evaluation of nutrients input, particularly nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and sulphur in organic fertilizers, while taking into account the direct influence of the nutrients after their application as well as long-term effects during delayed and recurring application of the organic fertilizers. During the observed period from 2008 to 2014 the following individual fields were assessed - „Březinka“ (68,51 ha), „Jiříkovo“ (16,93 ha), „Kocourovské“ (58,16 ha) and „U Akátu“ (35,84 ha). The balance of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and sulphur in these certain areas was assessed within the scope of „balance on individual fields” for one crop rotation period. The balance calculation inputs include the amount of nutrients that was provided in form of organic and mineral fertilizers, which in case of nitrogen was furthermore extended by the amount acquired by its symbiotic fixation, overall deposition and sowing inputs (i.e. soil surface balance of nitrogen). The outputs of the balance calculation consist of amounts of major nutrients that were drawn away by crop yield including the calculated losses in case of surface balance of nitrogen. In the thesis an elementary balance of organic compounds was performed together with evaluation of change of the supply state of P, K and Mg based on the available data from agrochemical soil properties conducted in the period of 2009-2015 and balance results for individual nutrients. The results of surface balance of nitrogen in individual fields exhibited notably positive values, which according to the final balance might be the cause of heightened or excessive nitrogen loss. It is however difficult to determine the direct and residual effect of nitrogen applied through the organic fertilizers and its utilization by plants. Without the mineral fertilizer inputs, the resulting values of other nutrients in specific years were dependant on the amount of input through organic fertilizers. Within the scope of simple balance of organic compounds for individual fields, the overall sum of organic compound requirements were achieved over the observed years.

Key words: nutrients balance, organic fertilizers, agrochemical soil properties, crop yield

Obsah

1. ÚVOD	1
2. CÍL PRÁCE A VĚDECKÁ HYPOTÉZA.....	2
3. PŘEHLED LITERATURY	3
3.1 Metody bilancování živin	3
3.1.1 Způsob bilancování jednotlivých živin.....	3
3.1.1.1 Faremní bilance	4
3.1.1.2 Povrchová bilance	4
3.1.1.3 Bilance na jednotlivých pozemcích	6
3.2 Úvod k bilancím jednotlivých živin.....	6
3.2.1 Dusík.....	6
3.2.1.1 Dusík a jeho cyklus.....	7
3.2.1.2 Půdní dusík.....	7
3.2.1.2.1 Minerální dusík.....	8
3.2.1.2.2 Organický dusík.....	9
3.2.1.3 Uvolňování dusíku v půdě	9
3.2.1.3.1 Mineralizace organického dusíku	9
3.2.1.3.2 Nitrifikace	10
3.2.1.3.3 Autotrofní nitrifikace	11
3.2.1.3.4 Heterotrofní nitrifikace	11
3.2.1.3.5 Imobilizace dusíku v půdě	12
3.2.1.3.6 Mineralizačně – imobilizační vztah	13
3.2.1.4 Fixace vzdušného dusíku	13
3.2.1.5 Suchá a mokrá depozice dusíku	14
3.2.1.6 Ztráty dusíku z půdy.....	14
3.2.1.6.1 Denitrifikace	14
3.2.1.6.2 Volatizace	15
3.2.1.6.3 Vyplavování dusíku rostlinou	15
3.2.1.6 Ztráty dusíku vodní erozí	16
3.2.1.6 Odběr dusíku rostlinami.....	16
3.2.2 Fosfor.....	17
3.2.2.1 Fosfor a jeho cyklus.....	17
3.2.2.2 Půdní fosfor	17
3.2.2.2.1 Mineralizace organických forem fosforu	19
3.2.2.3 Ztráty fosforu z půdy	20
3.2.2.4 Odběr fosforu rostlinami	20
3.2.3 Draslík	21
3.2.3.1 Půdní draslík	21
3.2.3.2 Ztráty draslíku z půdy.....	22
3.2.3.3 Odběr draslíku rostlinami	22
3.2.4 Hořčík.....	23
3.2.4.1 Půdní hořčík.....	24
3.2.4.2 Ztráty hořčíku z půdy	24

3.2.4.3 Odběr hořčíku rostlinami	25
3.2.5 Síra.....	26
3.2.5.1 Půdní síra	26
3.2.5.2 Uvolňování síry v půdě.....	27
3.2.5.2.1 Mineralizace a imobilizace síry	27
3.2.5.3 Suchá a mokrá depozice	28
3.2.5.4 Ztráty síry z půdy.....	28
3.2.5.5 Odběr síryrostlinami	29
3.3 Hnojení organickými hnojivy.....	30
3.3.1 Organická hnojiva.....	31
3.3.1.1 Chlévský hnůj	31
3.3.1.2 Kejda.....	33
3.3.1.3 Digestát.....	34
3.3.1.4 Močůvka	36
3.3.1.5 Sláma	37
3.3.1.2 Zelené hnojení	38
3.3.1.1 Bilance organických látek	39
3.4 Agrochemické zkoušení zemědělských půd	40
3.4.1 Používané analytické metody	40
3.3.2.2 Hodnocení obsahu přístupných živin (P, K, Mg, Ca).....	40
4. MATERIÁLY A METODIKA.....	42
4.1 Charakteristika zemědělského podniku	42
4.2 Metodika bilancování živin	44
4.2.1 Bilance živin na jednotlivých pozemcích.....	44
4.2.2 Bilance organických látek	48
4.2.3 Hodnocení změn zásobenostiP, K, Mg, na základě výsledků AZZP	49
5. VÝSLEDKY.....	50
5.1 Bilance živin na jednotlivých pozemcích.....	50
5.2 Hodnocení změn zásobenostiP, K, Mg, na základě výsledků AZZP	70
6. DISKUZE	77
6.1 Povrchová bilance dusíku na jednotlivých pozemcích.....	77
6.2 Bilance P, K, Mg a S na jednotlivých pozemcích.....	78
6.3 Hodnocení změn zásobenostiP, K, Mg, na základě výsledků AZZP.....	79
7. ZÁVĚR	81
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	83
9. SEZNAM PŘÍLOH	91
10. PŘÍLOHY	92

1. Úvod

Bilancování živin a nepřímé hodnocení účinnosti jejich vstupů je vhodným prostředkem pro diagnostiku situace v hospodaření se živinami. Pro zjištění efektivity hospodaření v podniku s těmito živinami přichází v úvahu dlouhodobá bilance pro jednotlivé pozemky (např. za celý osevní postup). Bilance živin na těchto jednotlivých pozemcích je pak nejvíce ovlivněna sklizní, tedy odběrem živin hlavním nebo vedlejším produktem a pak také organickým nebo minerálním hnojením na straně vstupů. Do jisté míry má svůj vliv na živinný režim také zpracování půdy. Nelze také opomenout živiny, které se dostávají do půdy pomocí atmosférických srážek (suchou či mokrou depozicí). V neposlední řadě je to také množství živin, které se uvolní při zvětrávání hornin a minerálů. V bilanci je nutno počítat i se ztrátami způsobenými vyplavováním živin z půdního profilu, proplavováním do spodních vrstev, erozí či volatizací, případně jinými procesy, při kterých vznikají nežádoucí ztráty na již tak cenných živinách (denitrifikace, desulfurifikace...atd.).

2. Cíl práce a vědecká hypotéza

Cílem práce je hodnocení a výpočet bilancí hlavních živin v půdě. Zpracování diplomové práce je zaměřeno zejména na hodnocení vstupu živin v organických hnojivech, a to jak přímé působení po aplikaci, tak i dlouhodobé působení s odstupem aplikace nebo při opakované aplikaci organických hnojiv.

Vědecká hypotéza:

Lze předpokládat, že nejjednodušším indikátorem pro hospodaření se živinami je jejich bilance vtažená na plochu. Za předpokladu určité rovnováhy v půdě lze bilanční přebytky interpretovat jako bilanční ztráty. Rovněž zmiňují nutnost zlepšení půdní zásoby živin nedostatečně zásobených orničních vrstev. Po vyhodnocení bilance výživného stavu půdy můžeme říci, že koncepce dostupných metod a ostatních hodnotících kritérií, podá relevantní údaje o výživném stavu půdy a budou vhodným podkladem pro optimalizaci hnojení.

3. Přehled literatury

3.1 Metody bilancování živin

Nejrůznější bilance jsou sledovány již více než jedno desetiletí. Jejich výsledků je využíváno v různých oblastech zemědělského a environmentálního výzkumu. V rámci sledování toků živin jsou bilanční přebytky považovány za hlavní položky ztrát živin, zvláště dusíku. Zjištěné hodnoty představují důležité indikátory vztahů mezi zemědělstvím a životním prostředím, včetně jejich ekonomických aspektů (Neuberg *et al.*, 1991).

Bilanci živin na poli je ovlivněna sklizní, hnojením a zpracováním půdy. Vedle zbytků pocházející z pěstovaných plodin jsou významným zdrojem živin organická hnojiva. Do půdy se rovněž dostávají živiny z atmosférických srážek a živiny uvolněné při zvětrávání hornin a minerálů. V bilanci je nutné čítat se ztrátami způsobenými vyplavováním živin z půdního profilu, erozí a denitrifikací (Šarapatka *et al.*, 2010).

3.1.1 Způsob bilancování jednotlivých živin

Bilance počítané za účelem agronomických doporučení jsou často založeny pouze na jednoduchých bilancích. Tyto jednoduché bilance a sledování jejich účinnosti jsou vhodným prostředkem pro rychlou diagnostiku situace v hospodaření se živinami na různých úrovních agroekosystému.

Stanovení jednotlivých toků bilance živin v půdě (tj. vstupů a výstupů) vyžaduje rozdílné přístupy. Hodnoty vstupů závisí významně na míře rozborů a dostupnosti dat. Snadno stanovitelná jsou například data výnosu plodin, obsahu živin ve sklizených produktech, ale méně dostupné jsou výsledky např. vyplavování živin, spady, fixace dusíku apod. (Balík *et al.*, 2012).

Při zjišťování bilančních odhadů se používají následující hlavní typy bilancí:

faremní bilance („farm balance“),

povrchová bilance („soil surface balance“),

bilance na jednotlivé pozemky („field balance“).

3.1.1.1 Faremní bilance

V případě výpočtu faremní bilance je hodnocenou jednotkou farma, zemědělský podnik, příp. ve větším měřítku region, stát apod. Započítány jsou všechny toky živin vstupující do farmy a vystupující z farmy. Obvykle se přitom využívá běžných údajů, jež podnik vykazuje v účetnictví. Výhodou této bilance je, že se nemusí sledovat jednotlivé dílčí toky živin uvnitř farmy (stáj – pole, stáj – atmosféra, pole – stáj atd.). Bilančními položkami jsou (Čermák *et al.*, 2007):

VSTUPY	VÝSTUPY
nakoupená krmiva	tržní produkce živočišná
nakoupená minerální hnojiva	tržní produkce rostlinná
nakoupená statková hnojiva	prodaná statková hnojiva
nakoupená organická hnojiva	prodaná organická hnojiva
nakoupená zvířata	<i>ztráty do ovzduší</i>
nakoupené osivo a sadba	<i>ztráty vyplavením</i>

3.1.1.2 Povrchová bilance

U povrchové bilance se sledují a kvantifikují toky živin do a ze systému půda – rostlina. Hranice sledovaného systému mohou být vymezeny na různých úrovních – pole, výměra zemědělské půdy podniku, regionu nebo státu. Z časového hlediska se nejčastěji využívá období jednoho roku (kalendářního či hospodářského), příp. délka jedné rotace osevního postupu. Vstupy se počítají na povrchu půdy (porostu) a představují hnojiva, spady a fixaci dusíku. Výstupy jsou pak živiny ve sklizených produktech a ztráty (volatilizace čpavku, denitrifikace, vyplavení, povrchový odtok a eroze), které jsou např. u dusíku v některých bilancích (OECD Soil surface nutrient balance) považovány za ekvivalentní bilančnímu přebytku. Položky povrchové bilance jsou (Čermák *et al.*, 2007):

VSTUPY	VÝSTUPY
minerální hnojiva	sklizené produkty
statková a organická hnojiva	eroze a povrchový odtok
osivo a sadba	denitrifikace
atmosférické depozice	vyplavení
biologická fixace dusíku	únik plynů (čpavek, oxidy dusíku)

Rozdíl při bilancování na úrovni regionů a podniků je zejména v přístupu k hodnocení vstupů živin ve statkových hnojivech. V celostátní nebo regionální bilanci je ve vstupech započítán přívod živin jen ve statkových hnojivech živočišného původu. Tento přívod je vyjádřen v exkrementech, tedy bez steliva, po odpočtu ztrát živin ve stájích a při skladování statkových hnojiv. V souladu s tím pak není na straně výstupů započítán export živin ve vedlejších rostlinných produktech, které zůstávají buď na pozemku jako statková hnojiva rostlinného původu (sláma apod.), nebo se vracejí do půdy jako stelivo ve hnoji. Pro účely celostátních bilancí tento postup plně postačuje. Na úrovni podniku jsou potřebné údaje k dispozici, takže výpočet bilance může být přesnější. Přitom se musí zohlednit, jestli se vedlejší rostlinné produkty z pozemků odváží, nebo jsou zapravovány do půdy, příp. ponechávány na jejím povrchu. Na úrovni podniku jsou používány tyto položky a zdroje (Balík et al., 2012):

Položky bilance	Použití	Zdroj údajů
<i>Vstupy živin</i>		
Minerální hnojiva	+	evidence hnojení
Organická, příp. organominerální	+	evidence hnojení
Upravené kaly, sedimenty	+	evidence hnojení
Statková hnojiva	+	evidence hnojení
Symbiotická fixace dusíku	+	výpočet podle ploch luskovin a jetelovin
Fixace dusíku volně žijícími fixátory N	-	na úrovni podniku se nehodnotí
Spady živin ve srážkách	-	na úrovni podniku se nehodnotí
Osivo a sadba	-	na úrovni podniku se nehodnotí
<i>Výstupy živin</i>		
Odběr živin hlavním produktem	+	podniková evidence
Odběr živin vedlejším produktem	+	podniková evidence

3.1.1.3 Bilance na jednotlivých pozemcích

Tento způsob hodnocení přihlíží ke vstupům a výstupům dusíku na konkrétních pozemcích (půdních blocích). Z hlediska výpočtu bilance je tento způsob přesnější, neboť jsou posuzovány přesné vstupy a výstupy na každý pozemek, případně je možné zohlednit půdní vlastnosti ve vztahu k přeměnám dusíku v půdě, případně jeho ztráty. Vhodným doplňkem jsou výpočty efektivity dusíkatých hnojiv na konkrétním pozemku ve vztahu k výnosu pěstovaných plodin a odběru dusíku (Balík *et al.*, 2012).

3.2 Úvod k bilancím jednotlivých živin

3.2.1 Dusík

Bilance dusíku jsou často využívány při hodnocení úrovně systémů v efektivitě jeho využití a pro pochopení cyklu dusíku porovnáním vstupů, akumulací a výstupu v rámci toku dusíku systémem. Výsledkem může být deficit N v systému (vstupy < výstupy), a dochází tak k jeho vyčerpávání, nebo přebytek (vstupy > výstupy), kdy nastává obohacení systému.

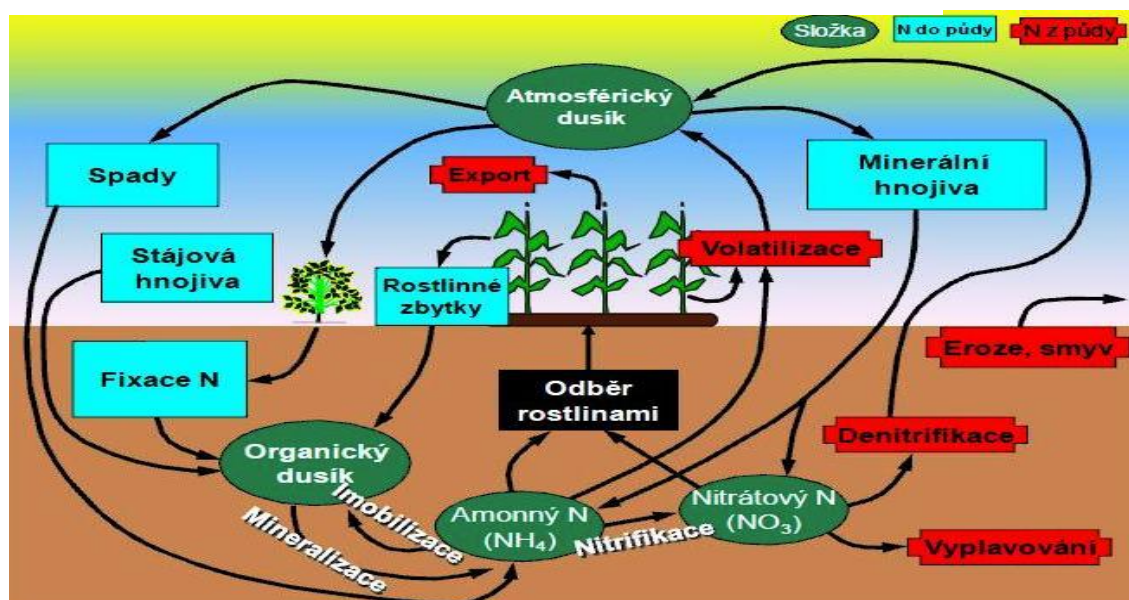
Bilance dusíku může být vypočtena pro rozdílné časové období v jakémkoliv rozsahu od jednotlivých polí (půdních bloků), přes agronomický management a faremní bilance až po národní měřítko. Stupeň hodnocení závisí na účelu bilancí a na zdrojích dostupných ke sběru informací. Například dílčí bilance, které nezahrnují všechny vstupy, mohou být využity pro stanovení například potřeby hnojení, avšak za předpokladu, že jsou dostupné potřebné informace pro určení hlavních položek bilancí a do výpočtu jsou započítány. Zvláště v bilancích dusíku je řada položek, jejichž množství, s ohledem na probíhající procesy, je obtížné kvantifikovat. Denitrifikace, těkání amoniaku a oxidů dusíku, vyplavení živin, eroze, povrchový odtok, jsou přírodní procesy vyskytující se v ekosystému, ale jsou ovlivněny řadou faktorů, které i v dnešní době jsou v dlouhodobém výhledu obtížně předpověditelné, zvláště v lokálním měřítku. Jedná se například o množství srážek (nejen průměrné, ale především jejich rozložení během vegetace), teplotu (nejen vzduchu, ale pro průběh přeměn v půdě pak především teplota půdy) apod. (Balík *et al.*, 2012).

3.2.1.1 Dusík a jeho cyklus

V cyklu dusíku (obr. č. 1) rozlišujeme jednotlivé toky a jednotlivé skupiny dusíkatých látek. Toky dusíku jsou míněny lokální přesuny dusíkatých látek (např.: volatilizace NH_4^+ z půdy do atmosféry nebo jejich kvalitativní změny (např.: nitrifikace NO_3^- na NH_4^+), (Šimek, 2003).

Tento biochemický cyklus je rozdělen na vnější a vnitřní. Vnější cyklus zahrnuje procesy příjmu a ztráty dusíku v ekosystému (mokrý a suchý deště, fixace molekulárního dusíku, hnojení dusíkem, vyplavování, povrchová eroze, denitrifikace a volatilizace). Vnitřní cyklus dusíku se skládá z procesů, které přeměňují chemické formy dusíku nebo přenáší dusík mezi jednotlivými složkami ekosystému (asimilace rostlinou, rostlinný opad, obrát kořenové biomasy, mineralizace, mikrobiální imobilizace, nitrifikace); (Hart *et al.*, 1994).

Obr. č. 1 Dusík a jeho cyklus (Balík *et al.*, 2012)



3.2.1.2 Půdní dusík

Obsah celkového dusíku v našich půdách se pohybuje od 0,1 – 0,2 % (Richter *et al.*, 2003), může však kolísat ve značném rozmezí (0,03 – 0,5) (Ivanič *et al.*, 1984).

Největší podíl dusíku je vázán v organických sloučeninách, a to 90 – 99 % (viz tab. č. 1) z celkového množství dusíku jak uvádí Richter *et al.* (2003), viz tabulka č. . Pouze malá část představuje anorganický dusík. Obě tyto formy podléhají v půdě neustálým

změnám. U organických dusíkatých látek dochází k mineralizaci, naproti tomu u minerálního dusíku dochází k imobilizaci (Bielek, 1984).

3.2.1.2.1 Minerální dusík

Podíl minerálního dusíku v půdě je tvořen ionty NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , které jsou buď v půdním roztoku, nebo jako NH_4^+ výměnným způsobem vázané (Ivanič *et al.*, 1984). Přechodně se v půdě vyskytují též oxidy dusíku a jiné málo důležité meziprodukty mikrobiálních procesů (Fecenko *et Ložek*, 2000). Formy dusíku N-NO_3^- a N-NH_4^+ využívají rostliny přímo. Množství anorganického dusíku představuje malou část z celkového dusíku půdy a je vystavován značným změnám vlivem různých faktorů vlhkostně-teplotní režim půdy, intenzita mineralizačně imobilizačních procesů aj. Část minerálního dusíku je v půdě pevněji poutána ve formě NH_4^+ (F), je fixována nevýměnným způsobem do mezivrstevních prostorů jílových minerálů (Ivanič *et al.*, 1984).

Tab. č. 1 Rozdělení frakcí dusíku v půdě (Vaněk *et al.*, 2012):

Frakce N	% celkového N
I. Minerální dusík NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , NH_4^+ (F)	1 - 10
II. Organický dusík (podle hydrolyzy v 6 mol/L HCl)	90 - 99
Organický dusík nehydrolyzovatelný (N velmi těžko uvolnitelný chemicky mikrobiologicky, často vázaný na aromatická jádra huminových kyselin apod.)	20 - 35
Organický dusík hydrolyzovatelný	65 - 80
NH_3 v hydrolyzátu (NH_4^+ -N uvolněný během hydrolyzy z amidů, aminokyselin a aminocukrů)	20 - 35
N α -aminokyselin (N ninhydrin pozitivních aminokyselin)	30 - 45
N aminocukrů	5 - 10
Zbytek N v hydrolyzátu (N purinových a pyrimidinových derivátů, N aminů, cholinu aj.)	10 - 20

3.2.1.2.2 Organický dusík

Organický dusík v půdě je tvořen rostlinnými a živočišnými zbytky, biomasou mikroorganismů (bakterie, řasy, mikroskopické houby, aktinomyceety, prvoci), produkty biologických a chemických přeměn organických dusíkatých a zejména humusem (Hayes *et al.*, 1989). Podle schopnosti podléhat mineralizaci rozdělujeme půdní organický dusík na hydrolyzovatelný a nehydrolyzovatelný (Bielek, 1984).

Předpokládá se, že do hydrolyzovatelného podílu vstupuje především dusík z průmyslových hnojiv, který byl imobilizován mikroorganismy, dále dusík v kořenech a zbytcích rostlin, včetně různých meziproduktů jejich metabolismu. Určitá část tohoto podílu, aminokyseliny, amidy či aminocukry, podléhá zpětně mineralizaci až na minerální formy (Spitzl *et Garz*, 1974). Ve formě hydrolyzovatelných sloučenin se průměrně nachází 50 – 80 % celkového organického dusíku. Co se týká forem nehydrolyzovatelného organického dusíku, povaha těchto sloučenin nebyla dosud plně vysvětlena. Předpokládá se však, že to mohou být amonné sloučeniny ligninu a chinonu, nebo kondenzované produkty aminokyselin s uhlovodíky (Matušková, 1985).

3.2.1.3 Uvolňování dusíku v půdě

3.2.1.3.1 Mineralizace organického dusíku

Organické sloučeniny dusíku jsou v půdě rozkládány za pomoci mikroorganismů, které využívají tyto sloučeniny jako zdroj energie. Proces, který zde probíhá, je označován jako mineralizace nebo také amonifikace, protože jeho produktem je amoniakální dusík (obr. č. 2). Amonifikace je v půdách jedním z nejrozšířenějších mikrobiálních procesů. Může probíhat za aerobních i anaerobních podmínek. Výchozím materiálem tohoto procesu jsou především proteiny, jež jsou v první fázi štěpeny na jednoduché peptidy s následující hydrolyzou a uvolňováním aminokyselin.

Další fází je biochemická deaminace, kterou se uvolní amoniak a příslušná karboxylová skupina (Bielek, 1984). Proteiny v půdě rozkládá celá řada mikroorganismů, které jsou zastoupeny aerobními i anaerobními bakteriemi na počátku procesu. V období maximální tvorby amoniaku k bakteriím přistupují aktinomyceety, na konci procesu se silně rozvíjejí houby. Při aerobním rozkladu proteinů jsou hlavními konečnými produkty oxid uhličitý, amoniak, sulfáty a voda. Za anaerobních podmínek vzniká amoniak, aminy, oxid uhličitý, organické kyseliny, merkaptany, indol, skatol a sulfan. Mikrobiální rozklad složité molekuly začíná hydrolyzou, kterou způsobují proteolytické enzymy, jež vylučují

amonizační mikroorganismy mimo buňku. Pouze mikrobi, kteří vylučují exoproteasy, mohou působit na přirozené bílkoviny. Jako konečné produkty hydrolýzy bílkovin se uvolňují různé aminokyseliny. Ty pronikají dovnitř mikrobiálních buněk a tam podléhají dalším přeměnám (Leitgeb, 1983).

Rozhodující vliv na aktivitu amonifikační mikroflóry má nejen obsah, ale hlavně kvalita amonifikovaných sloučenin. Jednoduché dusíkaté látky se mineralizují rychleji v porovnání se složitými. Chitin se v půdě například rozkládá velmi pomalu, zatímco močovina, kyselina močová a hipurová se rozkládají velmi rychle (Ladd *et* Jackson, 1982). Proto se za rozhodující považuje poměr C : N v rozkládané organické sloučenině. Čím je v rozkládané látce více celkového dusíku, tím více amoniaku se uvolňuje. Vysoký obsah uhlíku naopak vede k tomu, že uvolňovaný dusík se spotřebovává a váže na mikrobiální těla (Bielek, 1984).

I přes malou specifickou amonifikaci, průměrná mineralizační aktivita nepřesahuje 1 – 5 % ročně. To je dáno jednak tvorbou lipoproteinových komplexů, vazeb proteinů a polyfenolů, komplexu proteinových a humusových látek, adsorpce proteinů na jílové minerály, chemické fixace amoniaku uvolněného amonifikací, inhibicí mikroorganismů nebo adsorpcí jejich exoenzymů na jílové minerály, toxicity některých produktů rozkladu organické hmoty, nedostupností půdní organické hmoty v intermelárních prostorech jílu a další (Kubát, 1980).

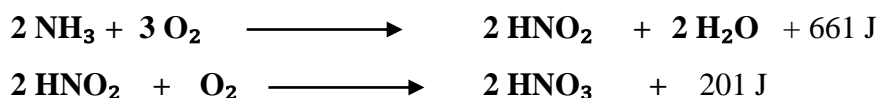
3.2.1.3.2 Nitrifikace

Nitrifikace je oxidační proces, kdy amonný dusík je postupně oxidován autotrofními mikroorganismy až na $N-NO_3^-$. Probíhá ve dvou stupních (obr. č. 2) a nitrifikační mikroorganismy (tzv. nitritační – viz dále) a mikroorganismy druhého stupně (tzv. nitratační – viz dále) využívají kromě dusíku i energii uvolňovanou během oxidace. Nitrifikace je proces velmi citlivý na vnější podmínky, kterými je výrazně ovlivňována. Rozhodující vliv na nitrifikaci má (Vaněk *et al.*, 2012):

- Teplota – optimální je 25 – 30 °C, nitrifikace je značně omezena při nižších teplotách a pod 5 °C téměř ustává.
- Dostatek vzduchu a vody v půdě – dostatek vzduchu, a tím i kyslíku je předpokladem oxidačních procesů a vždy souvisí s obsahem vody, tedy s vyplněním pórů plynnou a kapalnou složkou. Optimální vlhkost se pohybuje většinou okolo 70 % maximální vodní kapacity, proto při jiných poměrech vzduchu a vody je nitrifikace omezena. V suché půdě téměř neprobíhá.

- pH prostředí – vyhovující jsou podmínky slabě kyselé až zásadité reakce, nitrifikace je značně omezena při pH < 5,5.
- Hnojivo – vliv doprovodných iontů a pH hnojiva.

Obr. č. 2 Nitrifikace amonného dusíku



3.2.1.3.3 Autotrofní nitrifikace

Nejdříve je oxidován amoniak na dusitany – nitritace, a poté pokračuje oxidace až na dusičnany – nitratice. Může však dojít k rozdělení obou fází a k hromadění nitritů (NO_2^-) v půdě pokud je omezena 2. fáze nitrifikace (při vysokém pH a vysoké nabídce amonného dusíku v prostředí). Každý stupeň oxidace je samostatně zabezpečován specializovanou fyziologickou skupinou autotrofních mikroorganismů. Nitritace je vykonávána především bakteriemi z rodů *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* a *Nitrosospira*. Prvními meziprodukty oxidace amoniaku jsou hydroxylamin a nebo hyponitrit, které jsou dále oxidovány na dihydroxyamonium a nakonec na kyselinu dusitou (Mengel et Kirby, 1987). Následná oxidace dusitanu na dusičnan je striktně vázáná na skupinu tzv. nitratačních bakterií, především rodu *Nitrobacter*. Při nitrataci je dusitan nejdříve hydratován a následně oxidován a dehydratován.

3.2.1.3.4 Heterotrofní nitrifikace

Rozdíl mezi autotrofní a heterotrofní nitrifikací je nejen v substrátech, ale i v produktech nitrifikace. Substrátem pro heterotrofní nitrifikaci mohou být nejen anorganické redukované sloučeniny dusíku (amoniak), ale i organické (aminy, amidy). U heterotrofní nitrifikace nemusí proběhnout oxidace amoniaku až na nitráty. Tvoří se hydroxylamin nebo až nitrity. Tvorba nitrátů byla prokázána jen u malé skupiny mikrobů, především hub. Proto z hlediska vyprodukovaného množství nitrátů nemůžeme autotrofní a heterotrofní nitrifikaci ani porovnávat.

Heterotrofní nitrifikace má velký ekologický význam především z důvodu produkce fyziologicky účinných látek, čímž ovlivňuje biologickou aktivitu půd. Tyto látky mohou působit stimulačně, inhibičně nebo dokonce toxicky a je velmi pravděpodobné, že jsou

jedním z mechanismů autoregulace společenstev půdních mikroorganismů (Kopčanová, 1987).

3.2.1.3.5 Imobilizace dusíku v půdě

Základní dielektrické principy přeměn dusíkatých látek v půdě předurčují, že žádná z forem dusíku se v půdním prostředí neprodukuje jako inertní dále se neměnící substance. Naopak všechny produkty částečných transformací dusíku podléhají dalším vazbám a přeměnám. Proto i minerální dusíkaté látky v půdě vyprodukované či do půdy dodané nejsou stabilní složkou půdy. Rozhodující měrou na ně navazují především imobilizační procesy. Tyto procesy jsou rozlišeny na imobilizaci biologickou a nebiologickou (Bielek, 1984).

Biologická imobilizace je ve stručném vyjádření reprezentovaná mechanismy enzymatické konverze minerálního dusíku do organických dusíkatých struktur. Probíhá jako výsledek asimilace minerálního dusíku, a to jednak rostlinami, ale především bohatě zastoupenou půdní mikroflórou. Redukce nitrátů na nitrity a amoniak probíhá ihned po jejich vstupu do rostlin především v tenkých kořincích. Pokud však kořeny obsahují nedostatek redukujících látek, nestačí nitrareduktázní aktivita zredukovat veškerý přijatý nitrátový dusík a v nezredukované formě přechází jeho část do nadzemních orgánů rostlin, kde redukce může pokračovat. Při nadbytku přijímaných nitrátů se jen 30 - 50 % z nich redukuje v kořenech a zbytek přechází do stonku a listů (Bielek, 1984).

Nebiologická imobilizace dusíku představuje neenzymatické mechanismy vazeb a přeměn hlavně amoniakálního dusíku, které principiálně probíhají několika způsoby. Jde o fixaci amoniaku na jílové minerály (hlavně illit, vermikulit a montmorillonit), na organickou hmotu a ještě jinými fyzikálně – chemickými reakcemi (Bielek, 1984).

Podstatou fixace amoniaku je proces vniknutí a navázání NH_4^+ iontu do mezivrstevních prostor krystalové mřížky jílových minerálů, v podstatě aluminosilikátů s vrstevnatou krystalovou strukturou dvojího typu (dvojvrstvá, trojvrstvá). Dvojvrstvá struktura (1 : 1) je typická pro kaolinit a halasit, které fixují NH_4^+ ve velmi těžko vyměnitelné formě. Trojvrstvou strukturou (2 : 1) se vyznačuje illit, vermikulit a montmorillonit, které fixují amoniak s větší možností výměnných mechanismů.

Vzhledem k tomu, že amoniak fixovaný na organickou hmotu reprezentuje poměrně stabilní vazbu, málo se mineralizuje a zpřístupňuje rostlinám (Nomnik, 1965). Podstatou uvedené fixace je schopnost některých půdních organických látek vázat volný amoniak (NH_3) na formu relativně rezistentní vůči rozkladu (Bielek, 1984).

3.2.1.3.6 Mineralizačně – imobilizační vztah

Při mineralizaci se na jedné straně spotřebovává organický dusík a uvolňuje se v minerální formě, ale současně tvorbou mikrobiálních těl destruentů se syntetizuje nová organická dusíkatá hmota a minerální dusík se imobilizuje. Může se stát, že mineralizace a imobilizace jsou v dynamické rovnováze a vlastně zjistíme, že ani rozklad ani syntéza dusíkaté organické hmoty v půdě neprobíhá. Naopak, oba dva procesy v půdě probíhají nepřetržitě a simultánně a vytvářejí tak půdní cyklus dusíku a energie, který však není zcela uzavřený.

Existence mineralizačně-imobilizačních vztahů tedy předurčuje, že ne všechen dusík rozkládané organické hmoty se podílí na výživě rostlin. Tuto funkci plní jen dusík tzv. čisté mineralizace, který se v půdním prostředí uvolní jako výsledek převahy mineralizace nad imobilizací. Tato tzv. akumulace minerálního dusíku se vzhledem na svoji senzibilitu k vlastnostem ekologického prostředí jasně limituje půdním typem a jeho stanovištěm. I při hodnocení kvalitativní struktury akumulovaného minerálního dusíku se v dominantním postavení uplatňuje vliv půdního typu (Bielek, 1984).

3.2.1.4 Fixace vzdušného dusíku

Biologická fixace, tedy redukce atmosférického dusíku na amoniak, je hlavním přirozeným zdrojem dusíku v půdě. Je vykonávána mnoha prokariotickými bakteriemi a modrozelenými řasami, a to žijícími buď volně, nebo v symbióze s houbami, kapradinami a vyššími rostlinami (Stewart, 1975). V našich podmínkách má rozhodující význam symbiotická fixace bobovitými rostlinami. Na tuto redukci dusíku bakteriemi je třeba energetické dotace 28 molekul ATP, což je zhruba polovina ve srovnání s průmyslovou výrobou hnojiv.

K nejvýznamnější nesymbiotickým azotofixátorům patří bakterie rodu *Azotobacter chroococcum*, *Azotomonas insolita* (aerobní) a *Clostridium pasteurianum*, *Bacillus amylobacter* (anaerobní) aj. a asi 60 druhů modrozelených řas. Nesymbiotická fixace je výrazně ovlivňována podmínkami prostředí (Vostal *et* Matousch, 1987). Na jednotku plochy je takto běžně poutáno okolo 10 kg N/ha/rok, v našich podmínkách je odhadováno na 5 kg N/ha za rok (Vaněk *et al.*, 2012).

Symbiotická azotofixace se uskutečňuje specializovaných skupinami fixátorů infikujících kořenovou soustavu rostlin. Patří sem bakterie rodu *Rhizobium* obvykle se striktní specifitou k symbiotickému partnerovi. Rostlina vyváří ve svých kořenech hlízky a

chrání symbionta před interakcí s kyslíkem a zároveň zabezpečuje výměnu látek a energie (Vostal *et* Matousch, 1987).

Množství dusíku, které mohou pak jednotlivé plodiny fixovat je u sóji až 450 kg N/ha (Peoples *et al.*, 1995), u vojtěšky a jetele lučního až 250 kg/ha, u ostatních jetelovin až 140 kg/ha a u hrachu či bobu až 110 kg/ha (z toho asi 1/3 zůstává v kořenech a zbytek je uložen v nadzemní hmotě), (Richter *et* Hlušek, 2003).

3.2.1.5 Suchá a mokrá depozice dusíku

Atmosféra je primárním zdrojem většiny dusíku, který v současnosti koluje v biosféře. V ovzduší se vyskytuje řada dusíkatých látek (Mikanová *et* Šimon, 2013). Oxidy dusíku se v malé míře dostávají do ovzduší při lesních požárech, činnosti mikroorganismů v půdách a také při elektrických výbojích v atmosféře. Hlavním zdrojem je však lidská činnost, a to především spalovací procesy (průmysl, doprava, domácí topeniště). Největší podíl netvoří dusík, který je součástí paliv, ale oxidace vzdušného dusíku (N_2), která probíhá při spalování za vysokých teplot. Emise tak závisí na množství paliva a na způsobu spálení. V případě amoniaku (NH_3) jsou hlavním zdrojem emise rozkladné procesy organických dusíkatých látek. Většina pochází ze zemědělské činnosti, konkrétně z chovu skotu, a také z hnojení půd průmyslovými dusíkatými hnojivy. Menší měrou se na produkci podílí spalování biomasy, odpadní vody, domácí a divoká zvířata (Vestreng, 2008).

Suché a mokré depozice jsou podle stupně znečištění ovzduší relativně velkým zdrojem dusíku (Mikanová *et* Šimon, 2013). Průměrná hodnota depozičního toku N v ČR, kterou v roce 2014 uvádí Český hydrometeorologický ústav, činila 8,24 kg N/ha.

3.2.1.6 Ztráty dusíku z půdy

3.2.1.6.1 Denitrifikace

Při denitrifikaci se dusík uvolňuje do ovzduší ve formě oxidů (N_2O , NO, NO_2), respektive molekulárního dusíku (N_2). Existuje několik mechanismů denitrifikace, tedy redukce oxidovaných forem dusíku. Základní rozdělení je na přímou neboli biologickou a nepřímou neboli chemodenitrifikaci. Biologická denitrifikace probíhá prostřednictvím saprofytických mikroorganismů. Jde o fakultativní anaeroby, kteří v aerobních podmínkách zabudovávají dusík do svých těl, ale v anaerobním prostředí redukují nitráty (Nelson *et* Bremner, 1970). Jedná se především o bakterie rodu *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus denitrificans* apod. (Bielek, 1984). Tento typ denitrifikace závisí tedy na aeraci

půdy a také na obsahu organických látek v půdě, které jsou zdrojem energie pro mikroorganismy. Oproti tomu podstatou chemodenitrifikace je rozklad v půdě obsažené nestabilní kyseliny dusité na oxid dusíku při okyselení, případně alkalizaci prostředí. Kromě této reakce existuje ještě řada dalších, které způsobují vznik oxidů dusíku. (Nelson *et* Bremner, 1970). Avšak v jakém poměru budou vznikat v procesu denitrifikace tři hlavní plynné formy dusíku, závisí na převládajícím pH, teplotě, stupni provzdušnění půdy a koncentraci dostupných nitrátů a nitritů v půdě. Optimální teplota pro průběh denitrifikace je 25 – 35 °C, ale může probíhat v rozpětí od 2 – 50 °C. V případě velmi kyselé půdní reakce (pH < 5) jsou plynné ztráty hlavně ve formě oxidů NO a N₂O. Procesu denitrifikace, v jehož důsledku dochází ke ztrátám dusíku únikem do atmosféry, je možné předcházet zabráněním vyššímu obsahu nitrátů, hlavně koncem vegetace a v mimovegetačním období, kdy je vyšší obsah vody v půdě a méně kyslíku (Nyle *et* Ray, 2002). Pokud se nitrátový dusík dostane mimo kořenovou zónu (pod 80 - 100 cm), je denitrifikace jediným způsobem snížení obsahu nitrátů v podzemních vodách. Na druhou stranu, denitrifikací se ztrácí ročně v průměru až 8 % mineralizovaného půdního dusíku a až 20 % dusíku z hnojiv v závislosti na celkové dávce dodaného dusíku (Richter *et* Hlušek, 1999).

3.2.1.6.2 Volatizace

Volatizace je proces úniku amoniaku z půdního prostředí do atmosféry a nastává, jakmile je volný NH₃ přítomen v blízkosti povrchu půdy (Nelson, 1982). Volatizace amoniaku, stejně jako všechny ostatní aktivity přeměn dusíku v půdě, závisí na půdně-ekologických podmínkách, dávkách, času a formy aplikovaných dusíkatých hnojiv, způsobu zapravení do půdy apod. Se zvyšováním koncentrace solí v půdě se zlepšují podmínky pro únik amoniaku. Proto je v zasolených půdách jednoznačně vyšší únik amoniaku než v nezasoleném půdním prostředí. Volatizací amoniaku se v průměru ztrácí 5 -25 % dusíku z aplikovaných hnojiv (Bielek, 1984).

3.2.1.6.3 Vyplavování dusíku

K vyplavení dusíku z půdy dochází v závislosti na druhu půdy, úrovni srážek a na způsobu využití půdy. Při nadbytku vody v půdě (po intenzivních atmosférických srážkách nebo nadměrné závlaze) se půdní roztok a s ním i rozpuštěné látky posouvají pod kořenový systém rostlin, čímž se snižuje účinnost a efektivnost hnojení a současně roste potenciál ohrožení vod znečištěním (Fecenko *et* Ložek, 2000).

Možnosti vertikálního posunu a vyplavování dusíku z půdního prostředí primárně podmiňuje přirozená existence biologických nitrifikačních procesů uvolňujících rozpustné a

spolu s půdní vodou mobilní dusičnany. Nitrátový iont vzhledem ke svým fyzikálně-chemickým vlastnostem není schopen v půdě se specificky sorbovat, a tak chránit před vyplavováním. V půdě formované, respektive do půdy přidané nitráty se obvykle hromadí v půdním roztoku. I dusík z amonných solí, jako další rozpustná forma dusíku, se může vyplavovat z půdního prostředí. Další rozpustná forma dusíku jsou dusitany, a v půdě se obvykle neakumulují, proto se ani nemůžou z půdy vyplavovat. Celkově nejvyšší předpoklady pro vyplavování z půdy mají nitráty (Bielek, 1984). Množství vyplaveného dusíku se pohybuje na orné půdě, jak uvádí Richter *et* Hlušek (1999), mezi 1,0 – 54 kg N na ha/rok. Ve vyplaveném dusíku se celkově nachází 90 – 97 % nitrátů, jen 0,5 – 3 % amoniaku a jen stopy ostatních forem dusíku (Bielek, 1984).

3.2.1.6.4 Ztráty dusíku vodní erozí

Erozi půdy, především vodní erozí, dochází ke ztrátám půdního dusíku jako celku, bez ohledu na typ sloučeniny. Ztráty dusíku vodní erozí jsou totiž přirozenou součástí celkového odnosu půdního materiálu. Přitom z půdy uniká nejen dusík jako živina pro rostliny, ale i organická hmota, nejdůležitější, a jen těžko obnovitelná složka půdního dusíku. Současně se také odnášejí aplikovaná hnojiva, a to často jen běžným povrchovým stokem srážkové vody. Velikost ztrát dusíku vodní erozí úzce souvisí se svažitostí terén a množstvím jednorázových srážek (Movsumov, 1982).

3.2.1.7 Odběr dusíku rostlinami

Obsah dusíku v rostlinách je významným ukazatelem při hodnocení kvality pěstovaných plodin. Je ovlivněn nejen hnojením, ale významný vliv zde má i vliv ročníku (Balík *et al.*, 2012).

Rostlina přijímá dusík převážně ve formě NO_3^- a NH_4^+ . Obě tyto formy jsou mobilní, dobře metabolicky využitelné, ale mají značně rozdílný význam, úměrný rozdílu oxidace obou iontových forem (Richter *et* Hlušek, 1994). O efektivnosti využití jedné, anebo druhé formy dusíku rostlinami, rozhoduje celá řada faktorů, např. půdní reakce, teplota půdy, vlhkost a provzdušněnost půd, samotná rostlina, apod. (Fecenko *et* Ložek, 2000).

Nároky většiny rostlin na dusík jsou vysoké, zvláště u těch druhů, které vytvářejí velké množství biomasy, jež může být také jejich určitým ukazatelem (Vaněk *et al.*, 2012). Množství dusíku v sušině rostlin se v průměru pohybuje v rozmezí 1 – 3 %. Dusík je živinou,

kteřá nejvíce limituje rostlinnou produkci, a proto je všeobecně aplikován do půdy ve velkém množství (Mikanová *et* Šimon, 2013).

S ohledem na produkci biomasy a některé zvláštnosti jsou dosti výrazné rozdíly v potřebě dusíku mezi jednotlivými druhy rostlin a mnohdy i odrůd. Např. odběr N u některých druhů zelenin (košťáloviny), jak uvádí Vaněk *et al.* (2012) se může pohybovat ve stovkách kilogramů (až 300 kg N/ha).

3.2.2 Fosfor

Bilance fosforu podobně tak jako je tomu u dusíku, jak uvádí OECD/EUROSTAT, (2007) je počítána jako rozdíl mezi celkovým množstvím fosforu vstupujícího do půdy a množství fosforu, který půdu každoročně na základě jeho cyklu opouští. Tento rozdíl či přebytek, může zůstat v půdě, nebo být proplaven do nižších vrstev půdy až do podzemních vod. Ke ztrátám fosforu může také docházet v důsledku povrchového odtoku.

3.2.2.1 Fosfor a jeho cyklus

Cyklus fosforu (obr. č. 3), na rozdíl od cyklu C nebo N, nezahrnuje masivní přenos P mezi vodními a suchozemskými ekosystémy a atmosférou. Naproti tomu, podobně jako v případě C a N, v cyklu fosforu mají významnou úlohu půdní mikroorganismy. Podstatně se podílejí na rozpouštění anorganických sloučenin P a na mineralizaci organických sloučenin. Dočasné vázání fosforu v biomase mikroorganismů zabraňuje ztrátám rozpuštěného fosforu vyplavením nebo imobilizací vazbou na půdní sorpční komplex (tj. na jílové minerály a humusové látky). Vzhledem k poměrně rychlým životním cyklům půdních mikroorganismů se po odumření mikrobiálních buněk relativně mnoho fosforu průběžně uvolňuje a tento fosfor může být přijat rostlinami (Šimek, 2003).

3.2.2.2 Fosfor v půdě

Celkové množství fosforu v půdě kolísá od 0,01 – 0,15 %. Vyšší obsah P vykazují většinou půdy s vyšším obsahem organické hmoty, zatímco půdy lehké s malým obsahem organické hmoty mají obsah P nízký. Převážná část celkového fosforu v půdách je pro rostliny nepřijatelná. Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a jen v menší míře vazby kyseliny difosforečné ($H_4P_2O_7$).

Sloučeniny fosforu sloužící jako potenciální zdroj pro výživu rostlin a půdních mikroorganismů, jsou minerální a organické (Vaněk *et al.*, 2012).

Poměr, který je mezi jednotlivými formami fosforečnanů, je do značné míry závislý na půdní reakci, tedy pH. Jestliže pH stoupá, ubývá fosforečnanů železa a hliníku, avšak přibývá vápenatých fosfátů. V půdě se anorganické fosfáty přeměňují vždy od méně stabilních forem k stabilnějším formám, tzn. těžko rozpustným sloučeninám. Z toho plyne, že v zásaditých půdách převládají vápenaté fosforečnany a v kyselých půdách převládají fosforečnany železa a hliníku (Rikanová, 1992).

Z hlediska přeměn aplikovaného fosforu v půdě a z hlediska jeho příjmu rostlinami, má stěžejní význam fosfor v kapalně fázi – v půdním roztoku. V půdním roztoku přítomný fosforečnan ($\text{HPO}_4 / \text{H}_2\text{PO}_4^-$) je rostlinám dostupný přímo, tvoří ale malou část zásoby půdního fosforu. V neustálém kontaktu s půdním roztokem se nachází labilní frakce fosforu, např. primární nebo sekundární vápenaté fosforečnany a výměnně vázané fosforečnany. Také tato frakce je brána jako rostlinám přístupná. Frakce, která zahrnuje největší část v půdě převažujících fosforečnanů (cca 90 %), nejsou většinou prakticky rostlinám přístupné. Následující formy fosforečnanů jsou řazeny do těchto stabilních frakcí (Mengel *et Kirkby*, 2001):

- Organicky vázaný P (např. fyтин)
- Ca-, Fe-, Al-fosforečnany (např. apatit, strengit, vivianit, variscit)
- Adsorbované fosforečnany (kovalentní vazba) (Fe- und Al-oxidy / -hydroxidy)
- Okludované fosforečnany (krystalicky uzavřené fosforečnany)

Organicky vázaný fosfor činí mezi 25 % a 65 % celkového obsahu půdního fosforu (Schachtschabel *et al.*, 1998). V půdě je převážně tvořen čtyřmi formami organofosfátů: fyтинem (polyfosfáty myoinositolu s převahou penta a hexamyoinositolů), fosfolipidy, nukleovými kyselinami a fosforylovanými cukry (Novák, 1970), které se nacházejí v kořenové hmotě a dále se do půdy dostávají posklizňovými zbytky (opad listů, strniště, vedlejší produkty – sláma chrást, nať apod.) a statkovými hnojivy (Vaněk *et al.*, 2012). Ve všech případech je fosforečnan v těchto sloučeninách vázán s organickou molekulou esterovou vazbou různě pevnou (Novák, 1970).

Samotný fyтин je chemicky velmi málo reaktivní a půdou téměř nemigruje. Je pokládán za potenciální zdroj využitelného fosforu pro rostliny. V intenzivně využívaných půdách přitom obsah fyтину narůstá. Tento nárůst je v pozitivní korelaci s dávkami

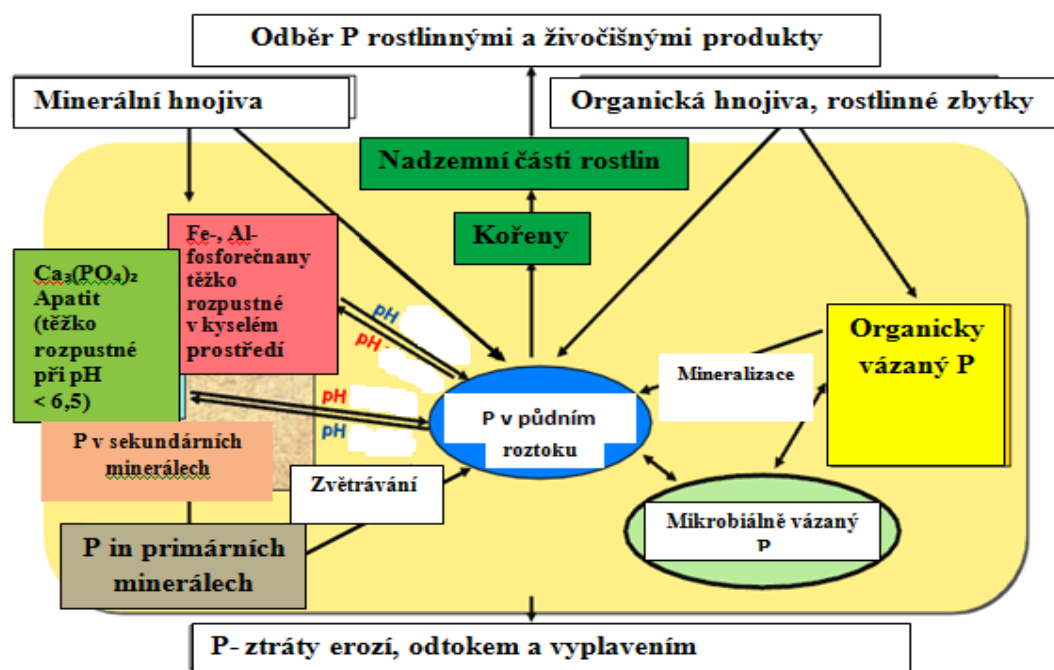
používaných hnojiv (Ivanič *et al.*, 1984). Organická hnojiva mohou obsahovat až 12 % celkového fosforu v této formě (Anderson, 1975).

3.2.2.2.1 Mineralizace organických forem fosforu

Příjem fosforu rostlinami z organických forem je možný až po jeho přeměně na formy minerální. Tato přeměna se uskutečňuje převážně dvěma hlavními směry, a to hydrolyzou a mikrobiálním rozkladem organofosfátů působením půdních mikroorganismů.

Mineralizace organofosfátů v půdě je významným procesem mobilizace fosforu (Kubát, 1973). Největší schopnost uvolňovat (zpřístupňovat) P_{org} mají půdní houby, aktinomycety a bakterie (Cosgrove *et Irving*, 1976). Fosfatázová aktivita půdních mikroorganismů, zvláště micromycet, jejichž aktivita je 5x vyšší než bakterií, je neobyčejně vysoká; všechny známé organické sloučeniny fosforu v půdě jsou za vhodných podmínek rozkládány enzymy půdní mikroflóry (Cosgrove *et Irving*, 1976; Domergues *et Mangelot*, 1970), přičemž jednotlivé složky organického fosforu mají význam úměrný své hydrolyzovatelnosti, čili vlastně rychlosti přeměny na minerální formu přístupnou rostlinám (Kolář *et Kužel*, 2003).

Obr. č. 3 Fosfor a jeho cyklus (Kolbe, 2013)



3.2.2.3 Ztráty fosforu z půdy

Největší množství ztrát fosforu vzniká erozí půdy. Tyto erozi zapříčiněné ztráty závisí především na celkovém množství půdy, které je podrobena erozi a také z velké části na obsahu fosforu v půdě. Při těchto podmínkách lze takto předpokládat průměrné ztráty fosforu okolo 0,44 kg P/ha za rok (Baumgärtel *et al.*, 2003). Podle Götz *et Zethner* (1996), může množství fosforu, které se erozí půdy dostane do povrchových vod dosahovat až 0,7 kg P/ha za rok. Jak uvádějí dále autoři, v případě že, ihned po aplikaci kejdy, kdy vlivem nadměrného množství srážek, které mohou spadnout v bouřce, může dojít ke zvýšení ztrát fosforu až na 1,2 kg/ha.

Fosfor, který se pevně váže na sorpční půdní komplex a komplex humusových látek podléhá taktéž nevyhnutelným ztrátám vysrážením a proplavením do spodních vrstev půdy. Avšak tyto ztráty jsou nízké a pohybují se pod hodnotou 0,44 kg P/ha za rok (Auerswald *et Weigand*, 1999).

3.2.2.4 Odběr fosforu rostlinami

Příjem fosforu rostlinami ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} je ovlivňován půdní reakcí, stupněm rozpustnosti fosforečných sloučenin a příjmovou kapacitou rostlin. Ačkoli fosfor v půdě je málo pohyblivý, značně pohyblivý je v rostlinách (Ivanič *et al.*, 1984).

Rostliny jsou schopny přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Musí však překonávat značný koncentrační gradient (sto- až tisíckrát vyšší koncentrace v rostlinách než v půdním roztoku). Příjem fosforu je aktivní proces, vyžadující dostatek energie.

Rostliny přijímají fosfor během celé vegetace poměrně rovnoměrně, pro dobrý výnos a kvalitu produkce je však rozhodující jeho obsah v mladých rostlinách (většinou nad 0,4 % v sušině). Později se pohybuje v rozmezí 0,3 – 0,4 %.

Nároky jednotlivých druhů rostlin na fosfor se výrazně neliší. Odběr fosforu sklizněmi se většinou pohybuje v závislosti na dosahovaném výnosu v rozmezí 15 – 40 kg P/ha. Nejvíce fosforu je soustředěno v semenech, nastává tudíž jeho největší export sklizněmi u obilnin a dalších semenných kultur (Vaněk *et al.*, 2012).

3.2.3 Draslík

Stanovení objektivní bilance draslíku není jednoduchý úkol. Kromě přesných vstupů (vklad živin do půdy prostřednictvím minerálních a organických hnojiv) a výstupů (odvoz živin z půdy s dosaženou úrodou) probíhají v půdě mnohé procesy, které na jedné straně přinášejí do půdy další živiny, ale na straně druhé živiny z ní odebírají. K uvedeným procesem patří především uvolnění draslíku z jílových minerálů a jeho fixace na jílové minerály, ztráty draslíku vyplavováním (zejména na lehkých, písčitých půdách) a odplavování při působení vodní eroze (Čermák *et* Torma, 2006).

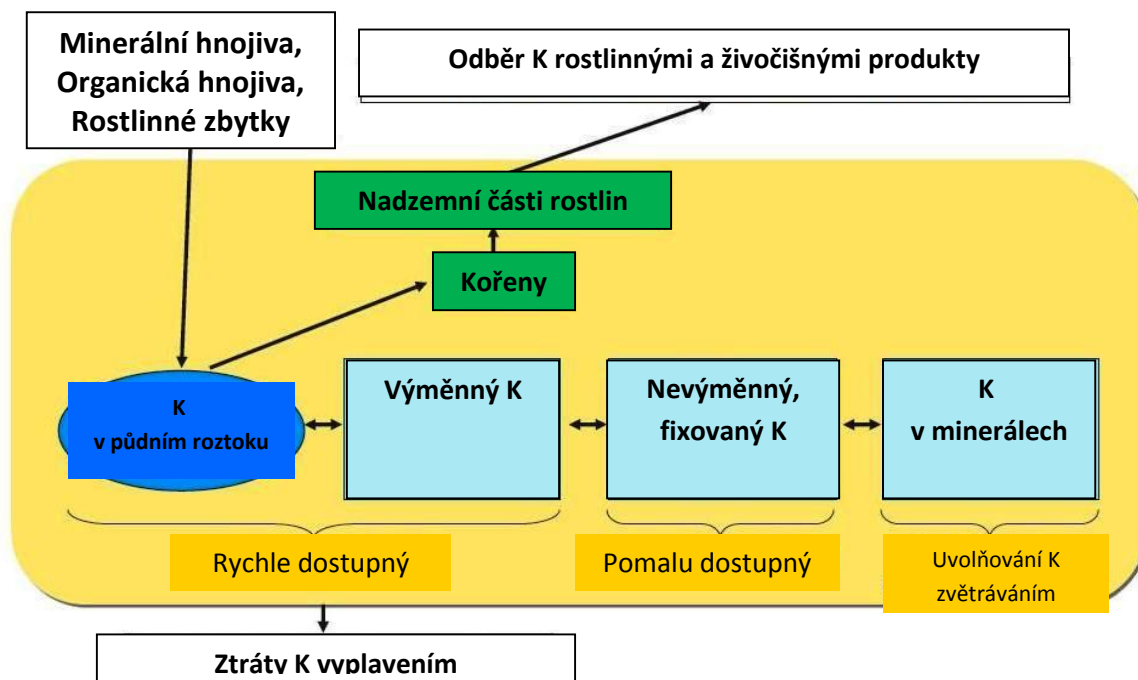
3.2.3.1 Draslík v půdě

Z celkového množství K v půdě je více než 98 % vázáno v půdních minerálech a jenom méně než 2 % se nachází v půdní organické hmotě, ve výměnné formě nebo půdním roztoku. Organický podíl zahrnuje K v nerozložených rostlinných pletivech a 25 – 50 % kg K/ha v mikrobiální biomase. Samotné humusové látky neobsahují téměř žádný draslík (Madaras *et al.*, 2012).

Draslík v půdách je možné rozdělit do několika kategorií (obr. č. 4): draslík v půdní vodě, výměnný draslík a strukturní draslík, obsažený v mřížce minerálů. Tyto kategorie jsou vyčleněny na základě různé přístupnosti draselného kationtu rostlinami.

Pro rostliny je přímo přijatelný zejména vodorozpustný draslík. Koncentrace K^+ v půdním roztoku je velmi nízká a dosahuje podílu méně než 0,3 % celkové zásoby draslíku a 1 – 10 % z výměnného draslíku. Z hlediska příjmu pro rostliny je tedy nejvýznamnější formou draslíku. V půdním roztoku se draslík vyskytuje v hydratovaných formách. Z rozpuštěných forem je uvolněný K^+ přijímán rostlinami. Půdní roztok není prakticky nikdy nasycen draslíkem. Většina sloučenin K je dobře rozpustná ve vodě a z nich uvolněný draslík je okamžitě sorbován z půdního roztoku výměnou sorpcí mnohem dříve, než dojde k nasycení půdního roztoku (Madaras *et al.*, 2012).

Obr. č. 4 Draslík a jeho cyklus (Kolbe, 2013)



3.2.3.2 Ztráty draslíku z půdy

Pro vyplavování kationtů z půdy platí sestupné pořadí – $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$, přičemž draslík se vyplavuje méně než dusičnany, ale více než fosforečnany (Ivanič *et al.*, 1984; Ondříšek, 1991). K největším ztrátám draslíku, v návaznosti na vstupech draslíku průmyslovými a organickými hnojivy a na množství srážek, dochází v zrnitostně lehkých půdách. Ztráty dosahují 7 – 70 kg K/ha za rok (Quémener, 1986). V podmínkách středně těžkých a těžkých půd dochází k vyplavení draslíku v mnohem menším rozsahu a to od 0,2 – 10 kg K/ha za rok (Johnson *et Gouling*, 1990). K významným ztrátám draslíku dochází i po aplikaci minerálních a organických hnojiv. Jak uvádí Karniš (1982), eroze může odnést až 60 % draslíku z aplikovaných hnojiv.

3.2.3.3 Odběr draslíku rostlinami

Draslík je přijímán rostlinami jako kationt K^+ . Jeho příjem se uskutečňuje jak aktivně (převládá při nižších koncentracích draslíku v půdním roztoku), tak pasivně. Při vysokých koncentracích draslíku v půdním roztoku převažuje pasivní příjem, může docházet ke zvýšenému příjmu draslíku a jeho hromadění v pletivech rostlin, což je nazýváno „luxurní konzum“ a vede k omezení příjmu jiných kationtů (Na, Mg, Ca). Vlastní příjem draslíku je

kromě jeho koncentrace v půdním roztoku ovlivňován výrazně vlhkostí, teplotou a intenzitou slunečního záření.

Celková potřeba draslíku je u jednotlivých druhů rostlin značně rozdílná. Vysoké nároky a vysoký odběr mají plodiny, u kterých je sklizňovým produktem hmota vegetativního charakteru, a plodiny s dlouhou vegetační dobou, tedy některé zeleniny, především košťálová a celer, brukvovité rostliny – řepka, tuřín a vodnice, dále pak řepa (přes 220 kg K/ha). Obilniny odčerpávají asi okolo 100 kg K/ha a malý odběr vykazují rostliny s nižší produkcí biomasy, jako hrách, fazol atd. Nároky na výživu draslíkem během vegetace narůstají s tvorbou biomasy a většinou vrcholí před květem. Charakteristické je, že převážnou většinu draslíku přijmou rostliny ve velmi krátké době (Vaněk *et al.*, 2012)

3.2.4 Hořčík

V příjmu hořčíku z půdy existují značné interakce s ostatními kationty, zvláště draslíkem. Na půdách s nadměrnou zásobou výměnného draslíku a taktéž při intenzivním hnojení draslíkem a amoniakálními formami dusíku dochází k depresi příjmu hořčíku, která je ještě více zesilována na kyselých půdách v důsledku zvýšené koncentrace hydroxoniových kationtů (H_3O^+) a aktivních forem hliníku (Al^{3+} , ...). Na rozdíl oproti draslíku je dominantním mechanismem přívodu hořčíku do rhizosféry kořenů tok půdního roztoku, který je aktivovaný transpirací vody porosty. Stěžejním předpokladem bezproblémové výživy rostlin hořčíkem na konkrétním stanovišti (s důrazem kvality – obsahu Mg v produkci) je proto specifikace výše zásoby výměnného draslíku v půdě k pravděpodobnému vláhovému režimu během vegetace a patřičná saturace sorpčního komplexu hořčíkem. Potřeba hnojení vychází ze stavu zásoby výměnného Mg^{2+} v půdě. Kladná výnosová reakce plodin na hnojení hořčíkem je běžně při zásobě nižší než 6 % ekvivalentů hořčíku z výše sorpční kapacity. Optimální zásoba z hlediska kvality produkce (pícnin a zelenin) je vyšší. Pohybuje se v oblasti 10 až 15 % ekvivalentů hořčíku z výše sorpční kapacity.

Deficience Mg při jeho nedostatečné návratnosti do půdy přichází v úvahu nejdříve na lehkých půdách s nízkou sorpční kapacitou, promyvných a kyselých. Rovněž však i na půdách lehkých při převápnění, které umožní fixaci Mg do málo rozpustných uhličitánů. Naopak nadbytek, toxicita hořčíku je spojena s půdami na seprentinitech a dolomitech (Matula, 2007).

3.2.4.1 Hořčík v půdě

Hlavní zásoba přijatelného hořčíku v půdě je představována kationtem Mg^{2+} výměně sorbovaným na pevné fázi půdy. Přirozená zásoba hořčíku v půdě je dána mineralogickou historií, tj. půdotvorným substrátem, zastoupením minerálů a hornin, jejichž zvětráváním se uvolňuje.

V porovnání s ostatními významnými kationty (K^+ , Ca^{2+}) je síla výměnné sorpce hořčíku na půdních koloidech slabší, zejména při zvýšené koncentraci monovalentních kationtů (K^+ , NH_4^+). Příčinou je značný rozměr hydratovaného iontu hořčíku v porovnání s vlastní velikostí iontu. Hořčík je tak dále od pozic záporných nábojů sorbentu oproti ostatním hydratovaným kationtům, je proto pohyblivější, a tím je i snadněji vyplavován. Běžný je proto vyšší obsah hořčíku ve spodnějších vrstvách profilu půdy než v horních (Matula, 2007).

Zastoupení jednotlivých forem Mg v půdách se pohybuje v těchto hodnotách:

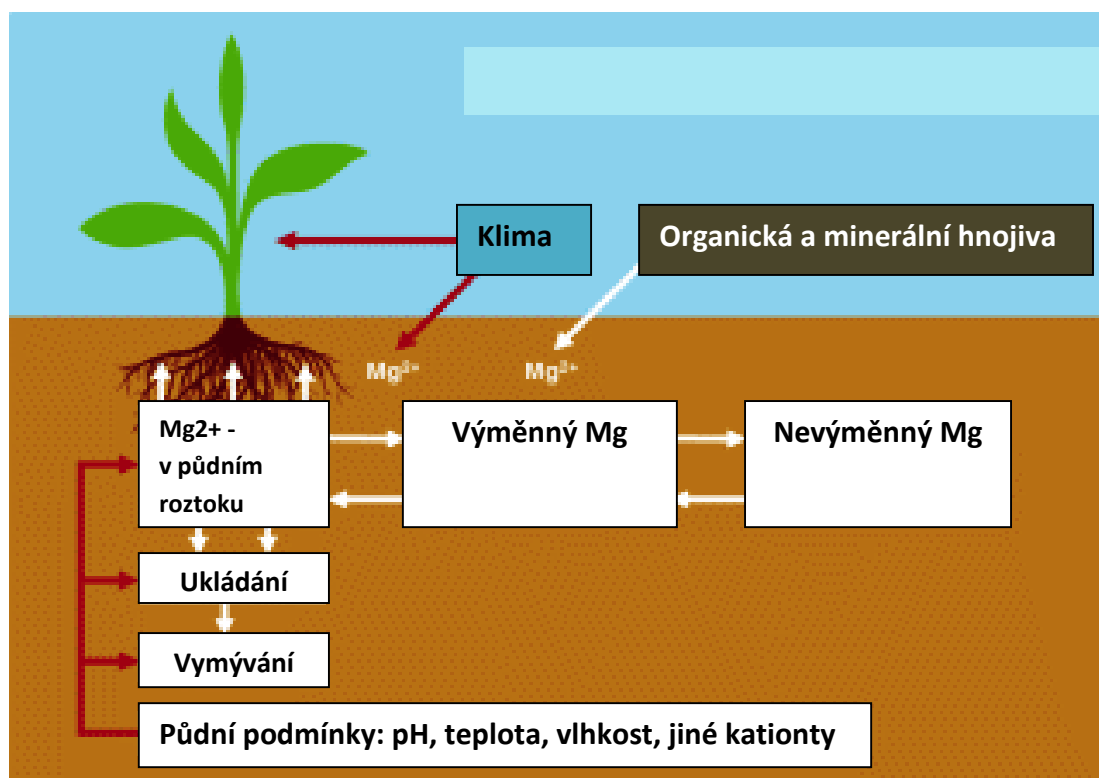
- Celkový obsah Mg 0,4 – 0,6 %,
- Výměnný – do 5 % celkového Mg (2 – 20 % KVK),
- Vodorozpuštěný – 1 – 10 % výměnného Mg

Mezi hořčíkem v půdním roztoku a výměně sorbovaným v sorpčním komplexu se ustavují dynamické rovnováhy (obr. č. 5), a pokud je dostatek sorbovaného Mg, jsou předpoklady dobrého zajištění výživy rostlin touto živinou, protože se dostatečně rychle doplňuje odčerpaný Mg do půdního roztoku. Přísun Mg do blízkosti kořenů se děje hmotovým tokem, a proto má transpirace velký vliv na jeho příjem (Vaněk *et al.*, 2012).

3.2.4.2 Ztráty hořčíku z půdy

Ztráty hořčíku z půdy podléhají významným výkyvům. V podstatě jsou závislé na matečné hornině a také na podmínkách zvětrávání (Baumgärtel *et al.*, 2003). Ztráty hořčíku jsou zpravidla vyšší než u draslíku a mohou dosahovat hodnot 9 – 32 kg/ha. Vertikální ukládání hořčíku v půdě a s tím spojené vymývání kationtů je tím nižší, čím vyšší je obsah jílovitých a humusových koloidů na které je hořčík adsorbován (Mengel, 1991). Hořčík je také v mnohem větší míře proplavován do spodních vrstev půd, než je tomu u fosforu a draslíku (Beer, 1995).

Obr. č. 5 Hořčík a jeho cyklus (Kolbe, 2013)



3.2.4.3 Odběr hořčíku rostlinami

Hořčík přijímají rostliny jako kationt Mg^{2+} převážně pasivně, tj. na základě elektrochemického gradientu (uvnitř buňky převládá záporný elektrický náboj a je snaha o jeho vyrovnání kationty). Příjem je značně ovlivňován koncentrací jednotlivých iontů v půdním roztoku. Výrazně antagonisticky působí K^+ . Také amonný iont omezuje příjem Mg, a naopak nitrátový aniont podporuje příjem všech kationtů, včetně Mg. V kyselém prostředí je příjem Mg značně omezován jednak vyšší koncentrací H^+ , ale také kationtů, které se v kyselé oblasti pH snadněji dostávají do roztoku, tedy Al, Fe a Mn. Vápník většinou nepůsobí negativně na příjem Mg.

Příjem hořčíku rostlinami je rovnoměrný během vegetace a vrcholí těsně před zralostí a sklizní. V dynamice jeho příjmu nejsou tedy výrazná období jeho hromadění ani poklesu ke konci vegetace, jako např. u draslíku a dusíku. Celkový odběr hořčíku sklizní je většinou nižší než u vápníku a několikanásobně nižší než v případě draslíku. Nejvyšší odběr, a tím i nároky na hořčík mají u nás cukrovka a jetel, které odčerpávají podle dosaženého výnosu většinou více než 30 kg Mg/ha za rok, a dále zelí a kapusta. Obilniny odčerpávají méně hořčíku – odběr se pohybuje mezi 10 – 15 kg Mg/ha za rok, nižší je u ječmene a vyšší u ozimé pšenice (Vaněk *et al.*, 2012).

3.2.5 Síra

Pokud je hodnocena bilance síry ve vztahu k rostlinám, je nutné posuzovat její přístupnost, nikoliv jen celkovou síru v půdě, neboť tato forma je z větší části ve stabilním stavu. Vstupy zahrnují atmosférickou depozici, většinou ve formě srážek a síru z hnojiv. Zpřístupnění představuje mineralizaci, kdy rozkladem organické hmoty je síra zpřístupňována pro rostliny, ale též pro mikroorganismy.

Z dlouhodobých sledování jednoznačně vyplývá, že mezi hlavní zdroje výstupů síry patřilo vyplavování. Zvláště v minulosti, nadbytek síry z atmosférické depozice vedl ke ztrátám síry vyplavením ve formě SO_4^{2-} .

K výraznějším výstupům, které jsou započítávány v bilancích síry, patří odběr rostlinami. Množství odebrané síry je ovlivněno jednak druhem pěstované plodiny, jejím výnosem, ale také obsahem síry ve sklizeném produktu (Černý *et al.*, 2011).

3.2.5.1 Síra v půdě

V půdě se síra nachází ve formě anorganické a organické. Anorganická síra je ve většině zemědělských půd zastoupena méně než organicky vázaná síra. Zatímco organická síra tvoří hlavní zásobu síry v půdě, anorganická síra je vysoce dynamickou složkou, která je hlavním přístupným zdrojem síry pro rostliny a tvoří většinou pouze 10 – 20 % z celkové síry (Tisdale *et al.*, 1993). Anorganická síra je v zemědělských půdách přítomna zpravidla ve formě síranů a v nižších oxidačních stavech sulfidů, polysulfidů, siřičitanů, thiosíranů a elementární síry. V dobře provzdušněných půdách je nejběžnější síranová forma. Síraný se v půdách vyskytují jako vodorozpustné soli, síraný adsorbované na půdní koloidy nebo nerozpustné formy síranů (Barber, 1995). Síraný v půdním roztoku jsou v rovnováze se síraný v pevné fázi a podobně jako fosforečnany jsou sorbovány na oxidy železa a hliníku dvěma základními mechanismy. V prvním případě dochází k výměně síranových iontů za hydroxylové na povrchu minerálů a v druhém případě dochází k tvorbě síranových komplexů na oxidech hliníku. Síraný jsou též vytěšňovány z vazebných míst fosforečnany, proto jak úprava pH, tak i aplikace fosforečných hnojiv mohou vést k růstu koncentrace síranů v půdním roztoku (Tlustoš *et al.*, 2001).

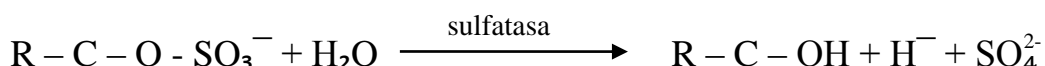
Více než 90 % veškeré síry v půdě je vázáno organicky, takže pro rostliny přístupná forma síry tvoří pouze nepatrnou část jejího celkového množství v půdě. Organická síra se v půdě nachází v rozmanitých sloučeninách, jako jsou sírné aminokyseliny metionin a cystein, cholinsulfát, sulfolipidy, sulfonové kyseliny a sulfátované polysacharidy. Organická síra se dělí do dvou skupin: první tvoří estericky vázaná síra, která není přímo vázaná na

uhlík (např. sulfátové estery C-O-S, sulfamáty C-N-S, sulfátové thioglyceridy N-O-S) a druhou tvoří síra přímo vázaná na uhlík (např. v sirných aminokyselinách, merkaptanech, disulfidech a sulfonových kyselinách), (Freney, 1986). Malý podíl S je vázán v biomase mikrobů (1 – 3 %). Je to však nejdynamičtější část organických sloučenin v půdě, které se mohou významně podílet na výživě rostlin sírou (po mineralizaci), (Vaněk *et al.*, 2012).

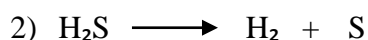
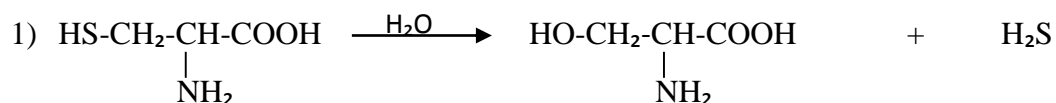
3.2.5.2 Uvolňování síry v půdě

3.2.5.2.1 Mineralizace a imobilizace síry

Síra vázaná v organických sloučeninách nemůže být využívána rostlinami, a proto musí být nejprve přeměněna na volnou síranovou formu, která je jediná přístupná rostlinám (viz obr. č. 6). Vzhledem k pestrosti vazeb síry existuje celá řada cest jak ji z organických sloučenin uvolnit a oxidovat na síran. Rozklad sirných sloučenin závisí na vnějších podmínkách a může probíhat buď pouze enzymaticky nebo za účasti mikroorganismů. Zatímco enzymatická hydrolýza je nejběžnější při rozkladu sirných esterů a podílí se na ní celá řada sulfatas, mikrobiální mineralizace je nejčastější u vazeb síry v redukované podobě aminokyselin. Estery síry podléhají velmi rychlým změnám a jsou považovány za zdroj přístupné síry rostlinám. Podle typu S esteru se na jeho rozkladu podílejí odlišné enzymy nejméně tři typů sulfatas s vysokou specifikou k organickému zbytku molekuly. Mineralizace probíhá podle následujícího schématu (Tlustoš *et al.*, 2001):



Mineralizace redukováných organických sloučenin síry je složitější a probíhá v několika krocích. Prvním je zpravidla hydrolýza bílkovin a uvolnění sirných aminokyselin. V dalším kroku dochází k uvolnění sulfanu, který je v aerobních podmínkách oxidován na síran, v případě anaerobního prostředí dochází k oxidaci sulfanu na elementární síru pomocí sirných bakterií (Tlustoš *et al.*, 2001).



Mikrobiální mineralizace je ovlivněna nejen oxidačně redukčními podmínkami, které jsou v úzké korelaci s půdní vlhkostí, ale i teplotou. K nejintenzivnější mineralizaci organické síry dochází při teplotách okolo 36 °C (Tlustoš *et al.*, 2001). Mikroorganismy využívají k syntéze protoplasmy organické i anorganické sloučeniny síry. Z anorganických sloučenin jsou to hlavně sirmé aminokyseliny a z anorganické hlavně sírany, hydrogensířičitany, peroxysířany, ale i elementární síru i sulfidy. Jako součást mikroorganismů je síra dočasně imobilizována a po jejich odumření se navrácí zpátky do koloběhu. Imobilizaci síry dochází i při tvorbě humusových kyselin a humusu (Fecenko *et Ložek*, 2000).

V závislosti na podmínkách se mineralizací organicky vázané síry může uvolnit do prostředí od 5 do 49 kg S/ha. Přístupnost síry rostlinám a její dynamika je ovlivněna obsahem půdní organické hmoty a poměrem C : S. V případě, že poměr C : S je užší než 200 : 1 dochází k uvolňování síranů do vnějšího prostředí, v případě širšího poměru obou prvků než 400 : 1 dochází naopak k imobilizaci přístupné síry. K imobilizaci přístupné síry v půdě dochází i po zapravení rostlinných zbytků s obsahem síry nižším než 0,13 % (Tlustoš *et al.*, 2001).

3.2.5.3 Suchá a mokrá depozice síry

Sirmé atmosférické spady jsou významným zdrojem síry pro rostliny. Atmosférická síra se vrací zpět na zemský povrch suchou depozicí jako SO₂ nebo mokrou depozicí jako SO₄²⁻ rozpuštěného ve srážkové vodě (Eriksen *et al.*, 1998).

Vstup SO₂ do půdy na území České republiky v roce 1990 činil 1 870 tis. t/rok. To odpovídalo po přepočtu přibližně 120 kg čisté síry na hektar. V důsledku odsíření elektráren došlo k postupnému poklesu vstupů S až do roku 1998, kdy se hodnoty zastavily na zhruba 230 tis. t SO₂ za rok, tj. cca 15 kg S/ha za rok. V letech 2008 – 2009 klesly celkové emise dokonce pod hodnotu 200 tis. t SO₂ za rok (Kulhánek *et al.*, 2011). V roce 2014, jak uvádí Český hydrometeorologický ústav, byla průměrná hodnota depozičního toku S v ČR 6,36 kg/ha.

3.2.5.4 Ztráty síry z půdy

Hlavními faktory ovlivňující stupeň vyplavování je především půdní textura, způsob obdělávání půdy, hnojení sírou, intenzita mineralizace, imobilizace, zvětrávání a řada dalších půdních procesů. Roční ztráty vyplavením se pohybují dle odhadů od 1 do 60 kg S/ha

(Eriksen *et al.*, 1998). S ohledem na aplikovaná hnojiva, jak uvádí Kulhánek *et al.* (2011), se ztráty mohou pohybovat od 4 do 45 kg S/ha za rok. Byly však dokumentovány roční ztráty síranů vyplavením z ornice v hodnotách přes 100 kg/ha (Matula, 1999).

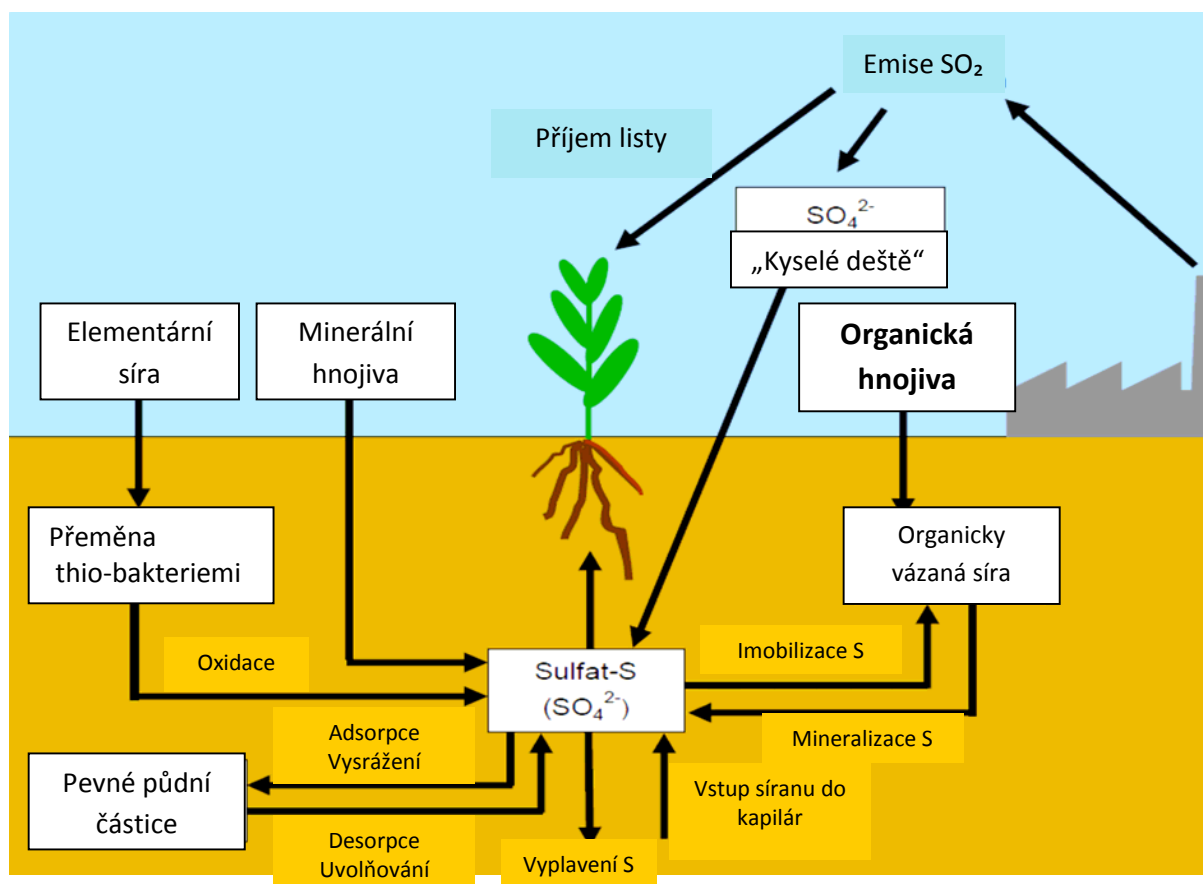
Ztráty síry byly v pokusech sledovány i volatizací, kdy přítomné sírany mohou být redukovány na plynné formy, především v anaerobních podmínkách. Tyto složky, jako např. dimethylsulfid, dimethyldisulfid, mehylmerkaptan, sulfan představují v bilancích síry záporné hodnoty (Kulhánek *et al.*, 2011). Autoři Janzen *et Ellert* (1998) stanovili emise síry z půdy na úrovni 0,2 kg S/ha za rok a v porostu 0,1 – 3 kg S/ha za rok.

3.2.5.5 Odběr síry rostlinami

Síra je přijímána rostlinami z půdy převážně jako aniont SO_4^{2-} . Zanedbatelné množství síry může být přijímáno ve formě nízkomolekulárních organických látek, např. cysteinu nebo metioninu (Matula, 1999). Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku a půdními vlastnostmi. Rozhodující je ale obsah síranového aniontu v půdě. Síra se v půdě postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin, včetně organických, a je oxidována až na sírany, které jsou hlavním zdrojem síry pro rostliny (obr. č. 4). Rostliny jsou schopny využívat i oxid siřičitý z ovzduší, ovšem jen určitou část celkové potřeby (asi do 30 %).

Požadavky a celková potřeba síry je rozdílná podle jednotlivých skupin rostlin. Odpovídá tomu i obsah síry v rostlinách, který se pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,5 % S v sušině. Lze konstatovat, že nejvyšší nároky na síru mají rostliny produkující více bílkovin, silic a pryskyřic – tedy řepka a brukvovité zeleniny, dále chmel, jeteloviny, cibule a česnek. Těmto nárokům odpovídá i obsah síry v jejich semenech, který se pohybuje v rozmezí 1,1 – 1,7 % u brukvovitých, 0,25 – 0,30 % u bobovitých a 0,18 – 0,19 % u obilnin v sušině. U rostlin náročných na síru, jako je řepka a zelí, činí odběr 40 – 70 kg S/ha, u krmných leguminóz 15 – 25 kg S/ha a u obilnin 12 – 15 kg S/ha (Vaněk *et al.*, 2012).

Obr. č. 6 Síra a její cyklus (Olf s *et al.*, 2012)



3.3 Hnojení organickými hnojivy

Statková hnojiva je třeba aplikovat na pozemky v přiměřených dávkách (rozhodující je obsah dusíku, popřípadě draslíku - dávka by neměla poskytovat více N, resp. K, než je potřeba plodiny na tuto živinu) a v určitých časových odstupech. Obecně je třeba zdůraznit, že pro dobrý efekt organického hnojení v rámci určitého osevního postupu (i každého pozemku za určité časové období) je nutné respektovat tyto zásady:

- Pravidelně hnojit pozemky v určitých časových intervalech (asi čtyři až pět let).
- Aplikovat jen doporučené dávky hnojiv (při nedostatku hnojiv raději dávky nižší a hnojit větší plochy než opačně).
- Hnojiva urychleně zapravit do půdy.

Organické hnojení má v systému rostlinné produkce nezastupitelnou úlohu. Z hlediska udržování či zvyšování půdní úrodnosti nelze dlouhodobě úspěšně hospodařit bez přísunu organických látek do půdy. Hlavním zdrojem organických látek (OL) jsou posklizňové a kořenové zbytky (tvoří až 60 % celkové potřeby) a dále organická hnojiva. Nejvíce kořenových zbytků zanechávají víceleté pícniny, méně obilniny a nejméně

okopaniny. Množství organických látek, které je v posklizňových zbytcích zanecháno v půdě na pozemku za určitý časový úsek, je tedy závislé na plodinách, které tam byly pěstovány.

V půdách intenzivně obhospodařovaných je každoročně mineralizováno okolo 4,0 t OL/ha. Nechceme-li, aby se snížila půdní úrodnost, musíme vracet uvedené množství organických látek zpět do půdy, aby zmineralizovaná část organické hmoty byla doplněna. Rozklad organických látek, které jsou dodávány do půdy, probíhá rozdílně podle půdních podmínek a charakteru materiálu (Vaněk *et al.*, 2012).

3.3.1 Organická hnojiva

3.3.1.1 Chlévský hnůj

Hnojem se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v pohotové formě. Na orné půdě je na lehčích půdách doporučováno hnojení menšími dávkami v kratších cyklech a na těžších vyšší dávky s intervalem delším. Střední dávky průměrně kvalitního hnoje na hektar závisí na nárocích pěstovaných plodin, množství vyprodukovaného hnoje, cyklu hnojení a zrnitostním složení půdy. U obilnin činí 20 t na hektar, u okopanin 35 – 45 t na hektar, u kukuřice 30 – 35 t na hektar (Vaněk *et al.*, 2007).

Hnůj obsahuje makrobiogenní (viz tab. č. 2) i mikrobiogenní prvky. Organický podíl chlévského hnoje je z 85 – 90 % ve formě polorozložené, ale nehumifikované organické hmoty. Zbytek tvoří humusové látky. Poměr uhlíku k dusíku se pohybuje mezi 20 – 30 : 1, přitom kvalitní hnůj má poměr užší pod 17:1 a hnůj horší kvality poměr širší nad 24 : 1. Rostlinné živiny jsou v hnoji obsaženy v minerální i organické formě. Dusík je ze 70 % v organické formě a z 29 % ve formě amoniakální. Obsah nitrátového dusíku nepřekračuje 1 %. Fosfor i draslík je obsažen v labilnějších organických formách (Richter *et Kubát*, 2003). Ve hnoji je síra vázána ze 40 % v organických vazbách na uhlík, 20 % je ve formě sulfidů a zbylých 40 % ve formě organických a anorganických síranů (Pedersen *et al.*, 1998). Chlévský hnůj obsahuje také značné množství mikroorganismů (1 – 2 % ze sušiny), dále některé biologicky aktivní látky jako auxiny, enzymy aj. (Richter *et Kubát*, 2003).

Rozklad organických látek nemá na hnojišti proběhnout úplně a měl by být přerušen ve fázi, kdy jsou lehce rozložitelné látky v určité rovnováze (chemicko-biologické) k jejich rozkladným produktům. Tohoto stavu lze dosáhnout podle roční doby asi za 2 – 3 měsíce zrání mrvy (Richter *et Římovský*, 1996).

Tab. č. 2 Průměrný obsah* OL a živin v hnoji (Vaněk *et al.*, 2012).

Hnůj	Obsah v čerstvém stavu (%)						
	sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Hovězí	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08
Hovězí (hluboká podestýlka)	25	20	0,70	0,15	0,66	0,50	0,13
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

* obsah OL i živin může kolísat podle kvality a množství steliva, krmiva a ošetřování

Hnůj je řazen mezi organická hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem (Klír *et al.*, 2008). Působí v půdě více let. Většinou se počítá s působením tří až pěti let, a to v lehčích půdách kratší dobu a v těžších půdách delší období. Z praktického hlediska lze konstatovat, že v prvním roce se využívá hnůj na středních půdách asi z 50 % a v následujících letech vždy dalších 50 %, tedy 50 %, 25 %, 12 % atd. Značnou výhodou hnoje je, že část organických látek je ve zralém hnoji již stabilizována, a nepodléhá tak rychlé mineralizaci v půdě, čímž je lépe transformována do humusových substancí.

Také využití živin z hnoje je rozloženo na delší období. Nejčastěji se uvažuje s využitím živin po dobu tří let (tab. č. 3). Nejvyšší je využití u draslíku, následuje dusík, přičemž u fosforu se zdá využití nejnižší, nicméně je podstatně vyšší než z minerálních hnojiv. V biologicky činných a lehkých půdách je nejvyšší využití rozloženo do dvou let, a naopak v těžších půdách na delší období. Jestliže aplikujeme 40 t hnoje skotu/ha, tak při uvažovaném využití v prvním roce bude mít hnojená plodina k dispozici okolo 48 kg N, 6,6 kg P a 83 kg K (Vaněk *et al.*, 2007).

Tab. č. 3 Průměrné využití živin z hnoje (% celkového obsahu) (Vaněk *et al.*, 2007)

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

3.3.1.2 Kejda

Kvalitní kejda (skotu, prasat, drůbeže) je vysoce hodnotné organicko-minerální hnojivo, spojující vlastnosti hnoje a živin z průmyslových hnojiv a obohacující půdu o organické látky a živiny (Richter *et* Římovský, 1996).

Složení kejdy je velmi rozdílné. Limitující pro obsah živin kejdě je % sušiny, které je hlavně ovlivněno podílem technologické vody. O vysoké hnojivé hodnotě kejdy rozhoduje i poměr uhlíku k dusíku (C : N), který se pohybuje v rozmezí 4 – 8 : 1. Poměr C : N ovlivňuje rychlost přeměn organických látek v půdě. Přitom dochází nejen k uvolňování dusíku z organických vazeb, ale i k jeho vazbě (imobilizaci) do organických látek s širším poměrem C : N. Při této reakci vznikají stabilnější organické látky (Richter *et* Římovský, 1996).

Jak uvádí tab. č. 4, nejvíce živin obsahuje kejda drůbeže. Kejda skotu a prasat vykazuje podstatně nižší obsah živin. Vyšší obsah N a P je v kejdě prasat, kejda skotu má vyšší obsah K (Vaněk *et al.*, 2012). U kejdy skotu a prasat je žádoucí obsah sušiny od 7,5 do 15 %, u drůbeže od 15 do 20 %. Organické látky tvoří asi 70 až 80 % sušiny. Živiny obsažené v kejdě jsou pro rostliny snadno přístupné (Hlušek, 2004). Z celkového obsahu dusíku je 50 – 60 % v rozpustné formě, převážně v uhličitanu amonném. V příznivých podmínkách probíhá intenzivně nitrifikace jak amonné složky, tak i organicky vázaného dusíku po předchozí mineralizaci organických látek. Fosfor, převážně organicky vázaný, je rostlinami lépe využitelný než fosfor z průmyslových hnojiv. Dobře využitelný rostlinami je i labilněji vázaný draslík. Významný je i obsah rostlinám přístupného hořčíku, který při pravidelném hnojení kejdou hradí veškerou potřebu rostlin. Kejda prasat obsahuje pro výživu rostlin i nezbytné mikroelementy, zejména, B, Cu, Mn, Co, Zn a Mo (Římovský, 1989).

Tab. č. 4 Průměrný obsah sušiny, OL a živin v kejdě (Vaněk *et al.*, 2012).

Kejda	Obsah v čerstvém stavu (%)						
	sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Skotu	7,8	6,0	0,32	0,07	0,4	0,14	0,04
Prasat	6,8	5,3	0,50	0,13	0,19	0,24	0,04
Drůbeže	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94	0,06

Perspektivní a z hygienického i ekologického hlediska správný způsob hnojení kejdou je založen na jejím přímém zapravení do půdy speciálními aplikátory, kdy se omezí ztráty na minimum. I když jsou vyšší náklady na vlastní aplikaci, jsou vyrovnány vyšším využitím živin.

Po aplikaci kejdy dochází velmi rychle k rozvoji mikrobiální činnosti v půdě, a proto je nezbytné ji kombinovat se zaorávkou slámy tak, aby měly mikroorganismy dostatek uhlíkatých skeletů potřebných pro jejich metabolismus a nedocházelo k rozkladu stabilních organických látek v půdě. Aplikace kejdy s nižší sušinou (pod 5 %) působí negativně na strukturu půdy, způsobuje rozplavování půdních částic (Hřivna *et al.*, 2003). Kejdu je možné aplikovat na podzim k ozimým plodinám anebo meziplodině. Oproti jaru mohou rostliny na podzim přijímat jen omezené množství dusíku, takže aplikované množství je limitováno celkovou dávkou 80 kg/ha popř. 40 kg/ha amoniakálního dusíku (množství dusíku bez ztrát po aplikaci). Také na TTP, převážně na několika sečných loukách, je možné kejdu aplikovat (Zorn *et al.*, 2007). Jak potvrzuje Škarda (1980), kejda má velký význam pro výživu TTP. Dočasná čtyřletá louka výrazně reagovala na stupňované dávky kejdy (225, 420 a 633 kg N/ha) výnosem čerstvé hmoty a sušiny (10,7; 11,7 a 13,2 t /ha). Na rozdíl od hnojení průmyslovými hnojivy zlepšilo hnojení kejdou poměr živin ve sklizené píce (Na : K, Ca : P, Mg : Ca a K : N).

3.3.1.3 Digestát

Látkové složení digestátu úzce souvisí nejen s parametry ovlivňujícími samotný průběh anaerobní digesce uvnitř reaktoru, ale také s kvalitou, složením a původem surovin vstupujících do procesu anaerobní digesce (Poffet, 2008). Výčet těchto materiálů je velice široký a zahrnuje, zejména z hlediska ekonomiky produkce bioplynu a nabídky vhodných materiálů v konkrétních podmínkách (Amon *et al.*, 2007). Jsou to substráty ze zemědělské prvovýroby (statková hnojiva, cíleně pěstované energetické plodiny), bioodpady ze zemědělsko-potravinářského zpracovatelského průmyslu a biologicky rozložitelné komunální odpady. Vzhledem k zastoupení jednotlivých technologií chovu hospodářských zvířat v ČR jsou nejpoužívanějšími druhy statkových hnojiv využitelných v BPS kejda prasat, kejda skotu, hnůj skotu, hnůj prasat a drůbeží hnůj (Kratochvílová *et al.*, 2009).

Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivy má digestát vzhledem k použitým surovinám poměrně vysoký celkový obsah dusíku (0,2 ale až i 1 % ve hmotě), jak uvádí tab. č. 4; vyšší pH (7 – 8), nižší obsah uhlíku a sušina se pohybuje v rozmezí od 2 – 13 % (Marada *et al.*, 2008). Obsah fosforu, draslíku a vápníku zůstává v plném rozsahu zachován (viz

srovnání některých hodnot v tab. č. 5). Obdobně i síra, která je důležitá pro tvorbu bílkovin, se při odsiřování bioplynu vrací zpět na pole (Babička *et* Poustková, 2009). Při průměrném obsahu 0,5 % celkového dusíku v hnojivu se dodá při dávce 1 t (1m³) digestátu 5 kg dusíku na ha. Složení digestátu představuje riziko ztrát dusíku v plynné formě, proto se u digestátu a fugátu doporučuje aplikace hadicovými aplikátory (obr. 3.1). Kvalitní digestát je hnojivo, které obsahuje hodnotné organické látky a minerální živiny a projevuje pouze malé znaky zápachu, popř. v ideálním případě nezapáchá vůbec. Toho je dosaženo díky vhodné skladbě vstupních surovin, jejich předúpravě a zejména dostatečné době zdržení vstupních surovin ve fermentoru při mezofilních (cca 40 °C) nebo termofilních teplotách (cca 55 °C).

Tab. č. 5 Průměrné složení digestátů ve VČ regionu a v Německu (% č. ž.) v letech 2005-10 (Dostál, 2010)

Původ digestátu	Suš.	OL	C	Ncelk	N-NH₄	Podíl N-NH₄	*účinný N	C : N	P	K
dig. z kejdy skotu (2005 – 9)	4,4	3,2	1,9	0,38	0,22	58 %	68 %	4,9	0,066	0,216
dig. z kuk. (2006-9)	5,9	4,2	2,5	0,5	0,31	62 %	72 %	4,9	0,062	0,365
dig. z kuk. (2006-9)	8,1	6	3,5	0,53	0,25	47 %	60 %	6,5	0,088	0,374
fugát	5,6	4,2	2,4	0,48	0,27	56 %	67 %	5	0,066	0,299
separát	22,6	19,1	11,1	0,68	0,26	38 %	54 %	16,3	0,202	0,374
porovnání se statkovými hnojivy (normativy)										
kejda skotu	7,8	6	3,5	0,32	0,14	45 %	59 %	10,9	0,066	0,398
kejda prasat	6,8	5,3	3,1	0,5	0,3	60 %	70 %	6,2	0,132	0,191
hnůj skotu	23	17	9,9	0,5	0,05	10 %	33 %	19,8	0,136	0,59
porovnání s údaji z Německa										
dig. z KjS	6	4,2	2,4	0,41	0,25	61 %	71 %	6	0,079	0,44
dig z KjS + kuk.	7,3	5,3	3,1	0,46	0,26	57 %	67 %	6,7	0,11	-
dig. z KjP +kuk.	5,6	4,1	2,4	0,46	0,31	67 %	76 %	5,2	0,154	-
dig. z kuk. (2006-10)	7	5,1	3	0,47	0,27	57 %	68 %	6,3	0,079	-

*účinný N v prvním roce se počítá jako celkový obsah N-NH₄ + 25 % z organického N

Ke hnojení je možné používat pouze stabilizované digestáty produkované při dosažení správného technologického postupu a přiměřeného organického zatížení fermentorů. Hlavním zdrojem problémů jsou substráty s vysokými obsahy organicky vázaného dusíku, a proto je nutné věnovat velkou pozornost skladbě vstupních surovin a především celkovému poměru C:N. Vsádka do fermentorů by v zájmu kvalitního digestátu měla mít poměr C:N minimálně 10 nejlépe kolem 20, čehož je možné docílit například kofermentací kejdy s rostlinnými materiály.

Volba dávky digestátu musí vycházet z obsahu dusíku a musí se dávat pozor, zda jsou procenta dusíku v absolutní, tedy stoprocentní sušině, či v čerstvé hmotě digestátu. Použití i dávkování digestátu jako hnojiva se do značné míry podobá použití a dávkování kejdy, samozřejmě vždy s přihlédnutím k obsahu živin, zejména dusíku a potřebám pěstovaných rostlin (Marada *et al.*, 2008).

Pro určování potřeby množství digestátu se vychází:

- z potřeby živin porostu pro předpokládaný výnos a kvalitu produkce,
- z množství přístupných živin v půdě a stanovištních podmínkách (zejména vlivu klimatu, půdního druhu a typu),
- z půdní reakce (pH), poměru důležitých kationtů (vápníku, hořčíku a draslíku) a množství půdní organické hmoty (humusu),
- z pěstitelských podmínek ovlivňujících přístupnost živin (předplodina, zpracování půdy).

3.3.1.4 Močůvka

Podle chemického složení řadíme močůvku k velmi účinným dusíkato-draselným hnojivům (viz tab. č. 6), (Richter *et Římovský*, 1996). Obsah organických látek a fosforu je zde zanedbatelný. Dávky močůvky se proto řídí náročností hnojené plodiny na dusík, případně draslík (Vaněk *et al.*, 2007). Dávka 10 t/ha močůvky při střední jakosti se vyrovná 23 kg dusíku a 33 kg draslíku v průmyslových hnojivech. Její výživářská hodnota je však vyšší, protože obsahuje i některé další biologicky aktivní látky ze skupiny heteroauxinů (růstových stimulantů).

Tab. č. 6 Obsah živin v močůvce v kg/t čerstvé hmoty (Beer *et al.*, 1990)

Obsah živin	močůvka skotu	močůvka prasat
Sušina	12 - 30	11 - 20
Organické látky	7 - 15	5 - 10
N-celkový	1,5 - 2,5	2,5 - 3,2
N-NH ₄	1,0 - 2,0	1,8 - 2,6
P	0,1	0,1 - 0,2
K	2,8 - 6,0	2,0 - 4,0

Dusík v močůvce je ve formě kyseliny hipurové, močové a močoviny. V průběhu zkvašování moči se postupně tyto látky rozkládají až na amoniak. V močůvce je až 85 % dusíku ve formě volného amoniaku, který snadno uniká. Pouze 10 % dusíku je vázáno na organické látky.

Živiny jsou v močůvce obsaženy v přijatelném stavu pro rostliny a plně využitelné ihned po hnojení (Richter *et* Římovský, 1996). Při hnojení travních nebo jetelotravních porostů po seči se používají menší dávky než při jarním hnojení. Výhodné je využití močůvky k jednoletým pícninám na orné půdě a k meziplodinám či k zelenému hnojení. Časté hnojení pozemků při vynechání hnojení fosforem a vápněním vede k nadměrnému rozšíření plevelů.

3.3.1.5 Sláma

Chemické složení slámy je rozdílné a závisí na druhu pěstované plodiny, úrovni hnojení a obsahu přístupných živin v půdě (viz tab. č. 7).

Sláma obsahuje v průměru 80 % organických látek, které podléhají rozkladu (mineralizaci), ale jsou i cennou surovinou pro vznik trvalého humusu. Půdy hnojené slámou jsou vzdušnější (kypřejší), rychleji vysychají a snadněji se obdělávají (Richter *et* Římovský, 1996).

Tab. č. 7 Průměrné chemické složení slámy v % (Richter *et* Římovský, 1996).

Druh slámy	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg	C:N
Obilnin	86	82	0,45	0,09	0,79	0,24	0,06	80-100
Kukuřičná	85	80	0,48	0,16	1,26	0,32	0,14	60-80
Řepková	84	80	0,56	0,11	0,85	0,81	0,16	60-80
Luskovin	86	80	1,33	0,16	1,07	0,91	0,016	20-25

Sláma je významný zdroj organických látek, a proto je účelné ji zapojit do koloběhu látek a živin. O efektivnosti hnojení slámou rozhodují především tyto skutečnosti (Vaněk *et al.*, 2012):

- úroveň rozdrčení a rozprostření slámy po pozemku
- kvalita zapravení orbou
- přihnojení dusíkem k podpoře rozkladu slámy v půdě
- vlhkostní poměry v půdě (zaorávat pokud možno slámu vlhkou)

Je žádoucí aplikovat asi 4 – 6 kg N na t slámy. Přednostně kryjeme potřebu dusíku k rozkladu slámy statkovými hnojivy – močůvkou, hnojůvkou nebo kejdou. Značnou výhodou aplikace tekutých organických hnojiv je, že současně před zaorávkou slámu ovlhčíme. Pokud nejsou k dispozici statková hnojiva, je nutné dodat dusík v minerálních hnojivech, především s amidovou nebo amonnou formou. Na půdách s nízkým obsahem fosforu je výhodné hnojit také fosforečnými hnojivy (Vaněk *et al.*, 2012).

3.3.1.6 Zelené hnojení

Mezplodiny pěstované na zelené hnojení mají zúrodňovací efekt, jsou významným přínosem v obohacování půdy o organickou hmotu a v zadržování mobilních živin, zejména N a Ca v organické hmotě. Zaoráním kořenových a strništních zbytků dochází k určitému omezení ztrát živin vyplavováním, k mobilizaci fosforu i dalších prvků z půdní zásoby z obtížně dostupných forem. Mezplodiny se také významným způsobem uplatňují při obnově mikrobiálního života půdy a mají příznivý efekt pro zvýšení, či alespoň zachování obsahu humusu v půdě (Vach *et Javůrek* 2007). Mezi nejčastěji pěstované mezplodiny patří hořčice, řepka, ředkev, svazenka a z podsevů jetel plazivý (Vaněk *et al.*, 2012).

Význam zeleného hnojení pro výživu rostlin je mnohostranný (Baier, 1969):

- Půda se obohatí organickou hmotou.
- Bobovité rostliny obohacují půdu o dusík poutaný hlízkovými bakteriemi ze vzduchu.
- Bobovité rostliny uvolňují z půdy živiny (především fosfor) ostatním rostlinám těžko dostupné.
- K obohacení ornice živinami přispívá i příjem živin z hlubších vrstev, především vápníku a fosforu hlubokokořenícími bobovitými rostlinami. Tím se tlumí i okyselování ornice.
- Zvýšením obsahu organické hmoty a vápníku v ornici zelené hnojení přispívá ke zlepšení půdní struktury.

- Hluboké prokořenění spodiny (především bobovitými) přispívá k jejímu nakypření a provzdušnění.
- Zvýší se schopnost půdy jímat živiny a vláhu,lepší se její biologické vlastnosti a sníží se vyplavení živin, především dusíku, po sklizni hlavní plodiny.
- Rozkladem organické hmoty se zvýší produkce CO₂, čímž selepší podmínky asimilace i zpřístupňování živin z půdních zásob kyselinou uhličitou.
- Zastínění půdy (2 až 5krát větší než u obilnin) ji chrání před vysycháním a nepříznivými mechanickými účinky deště, popřípadě větru.

Množství živin obsažené v nadzemní hmotě (zejména u bobovitých rostlin) je po rozkladu (mineralizaci) v půdě z velké části rostlinám přístupné a zhruba se vyrovná obsahu živin ve stejném množství hnoje (viz některé hodnoty živin v tab. č. 8).

Tab. č. 8 Přívod, popř. návrat živin do půdy zeleným hnojením některých bobovitých rostlin, upraveno dle Baiera (1969).

plodina \ živiny (v kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	při výnosu zelené hmoty v t/ha
jetel luční	109,1	10,2	100	87,9	16,56	23,9
hrách, vikev	104,9	9,6	64,9	55,2	13,8	22,05

3.3.2 Bilance organických látek

V bilanci je víceméně porovnána potřeba organických látek a jejich úhrada v posklizňových zbytcích a statkových hnojivech. Posklizňové zbytky a organická hnojiva mají krýt potřebu organických látek. Podle zastoupení plodin a produkce stájových hnojiv je pochopitelně dosaženo různého krytí potřeby organických látek.

Pro stanovení celkového množství organických látek, které jsou dodávány do půdy, je kromě vyčíslení množství posklizňových zbytků nutné pro celý podnik zjistit produkci organických hnojiv a dále požití těchto hnojiv pro určitou část pozemků či jeden pozemek (Vaněk *et al.*, 2012).

3.4 Agrochemické zkoušení zemědělských půd

V České republice je agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP) prováděno od r. 1961 v pravidelných cyklech, které byly v minulosti tří až pětileté, od roku 1993 byl zaveden šestiletý cyklus zkoušení. V současné době představuje systém AZZP moderní systém kontroly půdní úrodnosti, jehož plasticita dovoluje v relativně krátké době podávat potřebné informace orgánům státní správy a podnikatelům hospodařícím na zemědělské půdě.

AZZP metodicky a organizačně zabezpečuje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), který organizuje odběr půdních vzorků, provádí analýzy, zpracovává výsledky, které pravidelně vyhodnocuje a porovnává (MZe, 2015).

3.4.1 Používané analytické metody

V odebrané a upravené zemině (usušená, prosetá jemnozem) se standardně stanovuje:

- pH (v 0,01 M roztoku CaCl_2),
- obsah uhličitanů - CaCO_3 , MgCO_3 v % (v roztoku HCL),
- obsah přístupného fosforu v mg/kg půdy,
- obsah přístupného draslíku v mg/kg půdy,
- obsah přístupného hořčíku v mg/kg půdy,
- obsah přístupného vápníku v mg/kg půdy,

Obsah výše uvedených přístupných živin (P, K, Mg, Ca) je stanovován prostřednictvím chemické metody MEHLICH III.

3.4.2 Hodnocení obsahu přístupných živin (P, K, Mg, Ca)

Zdrojem živin v půdě jsou matečné horniny, hnojiva, atmosféra, zbytky rostlin apod. Z celkového obsahu živin v půdě je ovšem pro rostliny aktuálně využitelný pouze velmi malý podíl (přibližně asi 5 %). Platí tedy stav, že fosforem, draslíkem, hořčíkem a vápníkem hnojíme půdu, ne rostliny. Rozborem jsou zjišťovány živiny v čisté formě (ne ve formě oxidů, které jsou udávány u minerálních hnojiv - např. P v P_2O_5 , K v K_2O). Kategorie zásobenosti přístupnými živinami a kritéria hodnocení výsledků pro ornou půdu prezentuje tabulka č. 9 (Klement *et al.*, 2012).

Tab. č. 9 Kategorie zásobenosti živinami – orná půda (Klement *et al.*, 2012)

Obsah	Fosfor (mg/kg)	Draslík (mg/kg)			Hořčík (mg/kg)			Vápník (mg/kg)		
		půda			půda			půda		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
Nízký	do 50	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120	do 1000	do 1100	do 1700
Vyhovující	51-80	101-160	106 - 170	171- 260	81-135	106-160	121- 220	1001- 1800	1101-2000	1701- 3000
Dobrý	81-115	161-275	171-310	261- 350	136- 200	161-265	221- 330	1801- 2800	2001-3300	3001- 4200
Vysoký	116-118	276-380	311-420	351- 510	201- 285	266-330	331- 460	2801- 3700	3301-5400	4201- 6600
Velmi vysoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460	nad 3700	nad 5400	nad 6600

4. Materiály a metodika

4.1 Charakteristika zemědělského podniku

Meclovská zemědělská, a. s. podniká v Plzeňském kraji, v okrese Domažlice. Hlavní činností firmy je živočišná a rostlinná výroba. Nosným odvětvím podniku je chov dojného skotu (holštýnské plemeno). Meclovská zemědělská a. s. vznikla 30. 4. 1996 na základě transformace ZD Meclov. Původní JZD Meclov vzniklo sloučením bývalých jednotných zemědělských družstev Meclov, Srby a Třebnice v průběhu 60 a 70 let minulého století. V roce 1997 začala společnost obhospodařovat cca 800 ha zemědělské půdy v okolí obcí Horní Metelsko a Dolní Metelsko. V srpnu roku 2003 pak společnost koupila v dražbě majetek společnosti ZIR Hostouň, s. r. o., provozující zemědělskou činnost na pozemcích kolem Hostouně u Horšovského Týna a začala zde hospodařit cca na 600 ha zemědělské půdy. V současné době (2014) Meclovská zemědělská, a. s. užívá cca 3.730 ha zemědělské půdy, v působnosti 7 obecních (městských úřadů) a celkově v 30 katastrálních územích.

Roční obrát firmy se pohybuje okolo 220 mil. Kč a zaměstnává 109 osob. Základní kapitál společnosti je 128.083 tis. Kč, je tvořen zaknihovanými akciemi na jméno o nominální hodnotě 1000 Kč.



Rostlinná výroba

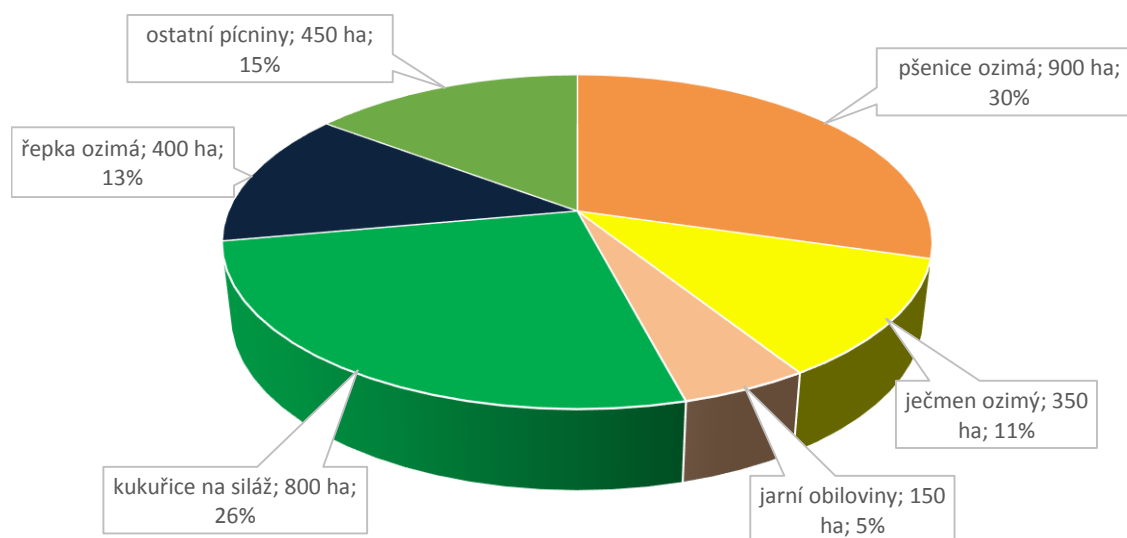
Meclovská zemědělská, a. s. hospodaří v podmínkách výrobního typu bramborářského, subtypu ječného. Průměrná nadmořská výška je 430 m. n. m., celkový úhrn srážek činí 650 mm za rok, průměrná roční teplota je 6,8 °C. Společnost se zabývá pěstováním obilovin, olejnin a plodin určených k výživě skotu.

Struktura zemědělské půdy (stav 2014):

- zemědělská půda celkem: 3.729,16 ha
- orná půda: 3.075,27 ha
- trvalé travní porosty (TTP): 653,89 ha
- zemědělská půda v méně příznivých oblastech (LFA): 3.057,45 ha, z toho 531,90 ha TTP
- zemědělská půda v nitrátově zranitelných oblastech (NZO): 3.694,72 ha

Zastoupení jednotlivých plodin v podniku (graf č. 1)

Graf č. 1 Zastoupení jednotlivých plodin na orné půdě



Ve vztahu k půdnímu druhu hospodaří společnost na:

- 35 % lehkých půd
- 25 % středních půd
- 25 % těžkých půd
- 15 % velmi těžkých půd

Převažující půdní typy jsou: fluvizemě, podzolové půdy, oglejené půdy, kambizemě.

Živočišná výroba

Chov skotu

Meclovská zemědělská, a. s. chová cca 2.700 kusů skotu holštýnského plemene, z toho 950 dojnic. Průměrná užitkovost na dojnici a den činí 26,5 litru (květen 2013). Dojnice jsou ustájeny v Srbech u Horšovského Týna (600 kusů) a ve Březí u Meclova (350 kusů). Veškerá roční produkce 8,5 milionů litrů kravského mléka je prodávána do Mlékárny Klatovy, a. s. Další kategorie skotu jsou pak ustájeny na farmách v Třebnicích, Dolním Metelsku, Roudné u H. Týna, Vítání a v Hostouni u H. Týna. V Hostouni jsou pak v množství 40 kusů chovány krávy bez tržní produkce mléka, je také využit tamní pastevní areál.

Chov prasat

Druhým odvětvím živočišné výroby je chov prasat. V současnosti je v podniku chováno cca 3.000 kusů prasat, z toho 270 prasníc. Roční odchov se pohybuje okolo 23,50 kusů na prasnici ročně, v žíru prasat je dosahováno přírůstků 780 g na kus a den. Rekonstrukce objektu teletníku v Mašovicích v letech 2000-2001 umožnila Meclovské zemědělské, a. s. koncentrovat chov prasníc a následný odstav selat do jednoho místa. Navazující výkrm prasat je realizován na farmách v Třebnicích, v Hostouni a v Poběžovicích.

Provoz bioplynové stanice

Vlastní výstavba bioplynové stanice, včetně instalace technologie, byla dokončena v březnu roku 2012. K následnému spuštění do provozu pak došlo dne 8. května 2012. Bioplynová stanice disponuje rezervovaným výkonem 1000 kW.

Bioplynová stanice je stavebně řešena pomocí dvoustupňového fermentoru "kruh v kruhu" a koncového skladu na digestát. Fermentor a koncový sklad jsou propojeny pomocí tzv. technického sklepa, kde je umístěna přečerpávací jednotka umožňující přečerpávání substrátu mezi fermentory a koncovým skladem. Srdcem celé bioplynové stanice je pak budova kogenerace, ve které jsou umístěny dvě kogenerační jednotky - motory na bioplyn s generátory a ovládací prvky bioplynové stanice.

K procesu vzniku bioplynu využívá bioplynová stanice: kukuřičnou siláž, travní a jetelovou senáž, chlévskou mrvu a kejdu skotu, případně také kejdu prasat. K případnému ředění substrátu jsou k dispozici silážní štávy. K mezofilní fermentaci (při 40 °C), při které vzniká bioplyn, tak využívá bioplynová stanice minimálně z 30% celkové hmotnosti vstupu surovin vedlejší produkty živočišné výroby.



4.2 Metodika bilancování živin

4.2.1 Bilance živin na jednotlivých pozemcích

- Pro výpočet bilance jsou požita data poskytnutá vedením podniku z evidence hnojení zemědělské společnosti (viz Přílohy - tab. č. 23, a tab. č. 25 - 29) .
- Výnosy jednotlivých plodin na jednotlivých půdních blocích uvádí tab. č. 17 – 20 (viz Přílohy).
- Průměrný odběr živin ve sklizených produktech pak uvádí tab. č. 21 (viz Přílohy).

Povrchová bilance dusíku

Metodika stanovení

Výpočet bilance dusíku se provádí podle vzorce:

$$N_b = (N_i + N_o + N_f + N_{mh} + N_{oh} + N_{org}) - (N_o + N_z)$$

N_b – bilance na daném pozemku (kg N/ha),

N_i – přísun dusíku imisemi (kg N/ha)¹,

N_o – přísun dusíku osivem (kg N/ha),

N_f – fixace vzdušného dusíku (kg N/ha),

N_{mh} – přísun dusíku v minerálních hnojivech (kg N/ha),

N_{oh} – přísun dusíku v organických hnojivech (kg N/ha),

N_o – odběr dusíku z daného pozemku hlavními a vedlejšími produkty (kg N/ha),

N_z – ztráty dusíku (kg N/ha)².

¹Pro výslednou bilanci dusíku z hlediska přísunu dusíku imisemi budou použity údaje ČHMÚ (www.chmi.cz).

²Pro výslednou bilanci dusíku z hlediska jeho ztrát budou použita data, které uvádí autoři Klement *et Prchalová* (2013).

- Výsledná hodnota bilance bude vyhodnocena podle Křen *et al.* (2011), jak uvádí tab. č. 10.

Tab. č. 10 Podklady pro interpretaci výsledků bilance dusíku

Bilance N	kg N/ha	Komentář
nedostatek N	- 50 – 0	pokles zásob N v půdě a snížený výnosový potenciál
optimální rozsah	0 – 50	nevyhnutelné ztráty N
přebytek N	50 – 150	zvýšené ztráty N
kritéria pro vyloučení	> 150	nadměrné, neúnosné ztráty N

Bilance fosforu

Metodika stanovení

Výpočet bilance fosforu bude proveden podle vzorce:

$$P_b = P_h - P_o$$

P_b – bilance fosforu na daném pozemku,

P_h – přísun fosforu v organických a minerálních hnojivech,

P_o – odběr fosforu hlavními a vedlejšími produkty odvezenými z pozemku,

- Výsledná hodnota bilance je pak vyhodnocena dle Křen *et al.* (2011), jak uvádí tab. č. 11.

Tab. č. 11 Podklady pro interpretaci výsledků bilance fosforu

Rozsah	kg P/ha	Komentář
optimální rozsah	- 5 - 5	optimální bilance P
udržitelný rozsah	- 25 - 25	tolerovatelná bilance P
nevhodný rozsah	< - 25 > 25	nedostatečný, nadměrný přísun P
kritéria pro vyloučení	< - 60 > 60	neúnosný přísun, deficit P

Bilance draslíku

Metodika stanovení

Výpočet bilance draslíku na daném pozemku bude proveden podle vzorce:

$$K_b = K_h - K_o$$

K_b – bilance draslíku na daném pozemku,

K_h – přísun draslíku v organických a anorganických hnojivech,

K_o – odběr draslíku hlavními a vedlejšími produkty odvezenými z pozemku,

- Výsledná hodnota bilance je pak vyhodnocena dle Křen *et al.* (2011), jak uvádí tab. č. 12.

Tab. č. 12 Podklady pro interpretaci výsledků bilance draslíku

Rozsah	kg K/ha	Komentář
optimální rozsah	- 20 - 20	optimální bilance K
udržitelný rozsah	- 50 - 50	tolerovatelná bilance K
nevhodný rozsah	< -140 > 140	nedostatečný, nadměrný přísun K

Bilance hořčíku

Metodika stanovení

Výpočet bilance hořčíku na daném pozemku bude proveden na základě postupu:

$$M_{gb} = M_{gh} - M_{go}$$

M_{gb} – bilance hořčíku na daném pozemku,

M_{gh} – přísun hořčíku v organických a anorganických hnojivech,

M_{go} – odběr hořčíku hlavními a vedlejšími produkty odvezenými z pozemku,

Bilance síry

Metodika stanovení

Výpočet bilance síry bude proveden na základě postupu:

$$S_b = (S_i + S_o + S_{mh} + S_{oh} + S_{org}) - S_o$$

S_b – bilance na daném pozemku (kg S/ha),

S_i – depozice síry (kg S/ha)¹,

S_{mh} – přísun síry v minerálních hnojivech (kg S/ha),

S_{oh} – přísun síry v organických hnojivech (kg S/ha),

S_o – odběr síry z daného pozemku hlavními a vedlejšími produkty (kg S/ha),

¹Pro výslednou bilanci síry z hlediska její depozice budou použity údaje, které v jednotlivých letech uvádí ČHMÚ (www.chmi.cz).

4.2.2 Bilance organických látek

- Na vybraných půdních blocích bude dále provedena jednoduchá bilance organických látek (OL), jak uvádí Vaněk *et al.* (2007). V bilanci bude porovnána potřeba organických látek (4 t OL za rok/ha) a jejich úhrada organickými hnojivy. Průměrný přísun organických látek ve vybraných statkových hnojivech uvádí tab. č. 16.

Tab. č. 16 Průměrný přísun organických látek (t/ha), (Vaněk *et al.*, 2012).

Druh organické hmoty	Organické látky (t/ha)
Posklizňové zbytky po:	
- obilninách	1,5 – 2,0
- kukuřici	1,5 – 2,0
- řepce ozimé	1,0 – 1,5
- jetelovinách	3,0 – 4,0
Sláma:	
- obilnin	4,0
- kukuřice	5,0
- řepky ozimé	4,0
Zelené hnojení	1,0 – 3,0

4.2.3 Hodnocení změn zásobenosti P, K, Mg na základě výsledků AZZP

- Hodnocení změn zásobenosti přístupných živin bude provedena na základě porovnání dostupných výsledků agrochemického zkoušení půd na čtyřech vybraných půdních blocích v letech 2008 – 2014 (tab. č. 30 – 33). Vychází se z obsahů přístupných živin v půdě (P, K, Mg, (Ca)) vyhodnocených metodou Mehlich III.

5. Výsledky

5.1 Bilance živin na jednotlivých pozemcích

PB – Březinka (68,51 ha)

Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 17 zobrazuje výslednou povrchovou bilanci dusíku na PB „Březinka“ (68,51 ha) v jednotlivých letech. Ve sledovaných letech 2008 – 2009 a 2011 - 2014 se bilance pohybovala ve výrazně kladných hodnotách (kromě roku 2013) a to v závislosti na hnojení organickými hnojivy a také vlivem fixace vzdušného dusíku ve sledovaných letech. V roce 2011 činily vstupy +423,4 kg N/ha (nejvíce ze všech hodnocených let). V tomto roce bylo hnojeno hnojem (25 t/ha), kejdou (40 t/ha) a slámou z ozimé pšenice (4,53 t/ha). Pouze v roce 2010 se pohybovala výsledná bilance v záporné hodnotě, a to -13,2 kg N/ha (vyšší odběr N hlavním produktem na straně výstupů, než hodnota vstupů v minerálních hnojivech).

Tab. č. 17 Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	96	-	89	124	181,2	108,5	144
organická hnojiva	-	-	-	288,2	-	58,5	180,4
fixace vzdušného dusíku	240	240	-	-	-	-	-
vstupy osivem	4,4	-	4	3	8	4	1
atmosférická depozice	8,71	10,71	10	8,17	9,53	8,84	8,24
suma	349,1	250,7	103	423,4	198,7	179,8	333,6
výstupy (kg/ha)							
hlavní produkt	41,8	41	97	101,3	70,3	110,5	140,6
vedlejší produkt		-	-	-	-		
průměrné ztráty	4,2	4,2	14,9	14,9	14,9	14,9	17,2
suma	87	101,2	116,2	126,3	85,2	125,4	157,8
Bilance (kg/ha)	262,1	149,5	- 13,2	297,1	113,5	54,4	175,8

Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 18 zobrazuje výslednou bilanci fosforu na PB „Březinka“ (68,51 ha) v jednotlivých letech. Bilance fosforu se v hodnocených letech pohybovaly v záporných hodnotách - v roce 2008 (-12,5 kg/ha), 2009 (-16,65 kg/ha), 2010 (-18,7 kg/ha), 2012 (-14,7 kg/ha) a 2013 (-12 kg/ha). Kromě roku 2014 (+11,44 kg P/ha) nebylo na půdním bloku fosforem minerálně hnojeno. Největší množství fosforu v organických hnojivech bylo dodáno v roce 2011 (+57 kg P/ha), nejméně pak v roce 2013 (8 kg P/ha). Největší množství odebraného fosforu hlavní produktem bylo zaznamenáno v roce 2014, a to 22,8 kg P/ha (kukuřice na siláž). Dále pak také v roce 2011 (+21 kg P/ha) a 2013 (+20 kg P/ha).

Tab. č. 18 Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	11,44
organická hnojiva	-	-	-	57	-	8	30,6
suma	0	0	0	57	0	8	42
výstupy (kg/ha)							
hlavní produkt	8,5	4	16,65	21	14,7	20	22,8
vedlejší produkt		-	-		-		
suma	12,5	16,65	18,7	21	14,7	20	22,8
Bilance (kg/ha)	-12,5	-16,65	-18,7	36	-14,7	-12	19,2

Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 19 zobrazuje výslednou bilanci draslíku na PB „Březinka“ (68,51 ha) v jednotlivých letech. V hodnocených letech 2008, 2010, 2012 a 2014 se hodnoty bilance draslíku pohybovaly v záporných hodnotách. Nejvyšší záporná hodnota bilance, která byla zaznamenána v roce 2009, činila -146,4 kg/ha (vstupy bez organického a minerálního hnojení). Naproti tomu v roce 2011, v závislosti na množství draslíku v aplikovaných organických hnojivech (kejda + hnůj + sláma), byla výsledná hodnota bilance +200,3 kg K/ha a +47,7 kg K/ha v roce 2013. Největší množství odebraného draslíku hlavním produktem bylo zaznamenáno v roce 2009 (jetel), a to 146,4 kg K/ha a také v roce 2014 (kukuřice na siláž) 144,4 kg K/ha.

Tab. č. 19 Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	268	-	108,8	118,8	
suma	0	0	0	268	0	108,8	118,8	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	26,4	35,6	146,4	20,9	67,7	40	58,5	144,4
vedlejší produkt		-	-	-		-		
suma	62	146,4	20,9	67,7	40	58,5	144,4	
Bilance (kg/ha)	-62	- 146,4	-20,9	200,3	-40	47,7	-25,6	

Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 20 zobrazuje výslednou bilanci hořčíku na PB „Březinka“ (68,51 ha) v jednotlivých letech. Ve sledovaných letech 2008, 2010, 2012, 2013 a 2014 se hodnoty bilance Mg pohybovaly v záporných hodnotách (-1,3 kg/ha, -6,8 kg/ha, -6,3 kg/ha, -4,8 kg/ha a -4,2 kg/ha), nejvíce však v roce 2009, a to -30 kg Mg/ha. V tomto roce nebylo k plodině organicky ani minerálně hnojeno, rovněž jako v roce 2010 a 2012. Pouze v roce 2008 bylo na půdním bloku minerálně hnojeno +10,5 kg Mg/ha. Tato hodnota se také projevila na výsledné bilanci hořčíku v tomto roce, kdy odběr hořčíku činil 11,8 kg Mg/ha. Naproti tomu rok 2011 vykazoval, v závislosti na organickém hnojení výrazně kladnou bilanci, a to +34,9 kg Mg/ha. Největší množství odebraného hořčíku hlavním produktem byl zaznamenán v roce 2009, kdy byl na půdním bloku pěstován jetel (30 kg Mg/ha) a v roce 2014 (silážní kukuřice), a to 28 kg Mg/ha.

Tab. č. 20 Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	10,5	-	-	-	-	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	46,6	-	6,2	23,8	
suma	10,5	0	0	46,6	0	6,2	23,8	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	4,6	7,2	30	6,8	11,7	6,3	11	28
vedlejší produkt		-	-	-		-		
suma	11,8	30	6,8	11,7	6,3	11	28	
Bilance (kg/ha)	-1,3	-30	-6,8	34,9	-6,3	-4,8	-4,2	

Bilance síry v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 21 zobrazuje výslednou bilanci síry na PB „Březinka“ (68,51 ha) v jednotlivých letech. V hodnocených letech 2008 – 2010 se výsledky bilance pohybovaly v záporných hodnotách, nejvíce však v roce 2009 (- 27 kg S/ha), tedy v roce bez organického a minerálního hnojení. Pouze v roce 2012 bylo na půdním bloku minerálně hnojeno (+16,8 kg S/ha). V letech 2011 – 2014 nabývaly již výsledné bilance kladných hodnot (v závislosti na množství dodané síry v organických hnojivech), nejvíce však v roce 2011 (+47,8 kg S/ha). V roce 2009 (jetel) bylo pak zaznamenáno největší množství odebrané síry z hektaru, a to +33,3 kg S/ha.

Tab. č. 21 Bilance síry v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	-	-	16,8	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	47,8	-	10,24	32	
atmosférická depozice	5,88	6,28	6,67	5,72	5,79	6,25	6,36	
suma	5,88	6,28	6,67	53,5	22,6	16,5	38,36	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	6,7	8	33,3	11,32	17	10,5	16	19
vedlejší produkt		-	-	-		-		
suma	14,7	33,3	11,32	17	10,5	16	19	
Bilance (kg/ha)	-8,82	-27	-4,65	36,5	12,1	0,5	19,36	

Bilance organických látek

Tabulka č. 22 zobrazuje jednoduchou bilanci organických látek na PB „Březinka“ (68,51 ha) v jednotlivých letech. Potřeba organických látek za celý osevní postup činí zhruba 28 t OL. Pouze v roce 2008 a 2013 nebyla roční úhrada organických látek (4t OL za rok/ha) splněna – 2,5 t OL/ha a 3,2 t OL/ha. Při součtu jednotlivých let činí úhrada organických látek na tomto půdním bloku zhruba 37 t OL (v průměru je to zhruba 5,3 t OL/ha). Bilanci lze tedy považovat za vyrovnanou.

Tab. č. 22 Bilance organických látek v letech 2008 - 2014

Organická hnojiva	Přísun OL v organických hnojivech (t/ha)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Posklizňové zbytky - jetele, obilnin, řepky ozimé, kukuřice	1,5	4	2	2	1,5	2	2
Sláma – obilniny, řepka ozimá	-	-	3,6	-	3,7	-	-
Zelené hnojení	1	1	1	1	1	1	1
Hnůj	-	-	-	4,25	-	-	-
Kejda skotu	-	-	-	1,45	-	-	-
Močůvka prasat	-	-	-	-	-	0,2	-
Digestát	-	-	-	-	-	-	2,15
suma	2,5	5	6,36	8,7	6,2	3,2	5,15

PB Jiříkovo (16,93 ha)

Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 23 zobrazuje výslednou povrchovou bilanci dusíku na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v jednotlivých letech. Bilance dusíku se ve sledovaném roce 2008 a dále v letech 2011 - 2014 pohybovala v kladných hodnotách, a to v závislosti na množství dusíku aplikovaného v organických hnojivech a fixaci vzdušného dusíku ve sledovaných letech. V roce 2014 činily vstupy +374,44 kg N/ha, následná bilance pak +227,74 kg N/ha (nejvíce ze všech hodnocených let). V tomto roce byl aplikován hnůj (20 t/ha) a digestát (20 t/ha). V roce 2012 bylo množství aplikovaného dusíku v minerálních hnojivech +186,6 kg N/ha, tedy nejvíce ze všech hodnocených let. Naopak nejvyšší hodnota odebraného dusíku hlavním produktem činila 256 kg N/ha, a to v roce 2009. V hodnocených letech 2009 a 2010 se výsledné bilance pohybovaly v záporné hodnotě, nejvíce však v roce 2010 (-22,1 kg N/ha), a to z důvodu vyššího odběru N hlavním a vedlejším produktem na straně výstupů (93,7 kg N/ha), než činila hodnota vstupů v minerálních hnojivech (+72,5 kg N/ha).

Tab. č. 23 Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	72,5	91,5	186,6	142	150	
organická hnojiva	-	-	-	175	-	129,7	215,2	
fixace vzdušného N	240	240	-	-	-	-	-	
vstupy osivem	11,35	-	4	3	8	4	1	
atmosférická depozice	8,71	10,71	10	8,17	9,53	8,84	8,24	
suma	260	250,71	86,5	277,7	204,13	284,54	374,44	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	120	42,5	256	93,7	91,3	69	74,3	129,5
vedlejší produkt	-	-	-			-		
průměrné ztráty	4,2	4,2	14,9	14,9	14,9	14,9	17,2	
suma	166,7	259,2	108,6	106,2	83,9	89,2	146,7	
Bilance (kg/ha)	93,3	-8,49	-22,1	171,5	120,23	195,34	227,74	

Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 24 zobrazuje výslednou bilanci fosforu na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v jednotlivých letech. Bilance fosforu se v těchto hodnocených letech pohybovala v záporných hodnotách - v roce 2008 (-19,2 kg/ha), 2009 (-25 kg/ha), 2010 (-17 kg/ha) a v roce 2012 (- 14,4 kg/ha). Kromě hodnoceného roku 2014 (+11,44 kg P/ha) nebylo na půdním bloku fosforem minerálně hnojeno. V tomto roce bylo také v organických hnojivech dodáno nejvyšší množství fosforu (+50,3 kg P/ha), což se projevilo také na výsledné kladné bilanci (+40,74 kg P/ha). V ostatních letech (kromě roku 2013) nebylo na straně vstupů aplikováno žádné množství fosforu v organických hnojivech. Největší množství odebraného fosforu hlavní produktem bylo zaznamenáno v roce 2014, a to 25 kg P/ha (jetel), nejméně pak v roce 2013, a to 13,4 kg P/ha u pšenice ozimé (hlavní + vedlejší produkt).

Tab. č. 24 Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	11,44
organická hnojiva	-	-	-	-	49	-	33,85	50,3
suma	0	0	0	0	49	0	33,85	61,74
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	15	4,2	25	17	17,5	14,4	13,4	21
vedlejší produkt	-	-	-			-		
suma	19,2	25	17	17,5	14,4	13,4	21	
Bilance (kg/ha)	-19,2	-25	-17	31,5	-14,4	20,45	40,74	

Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 25 zobrazuje výslednou bilanci draslíku na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v jednotlivých letech. V hodnocených letech 2008, 2009, 2010 a 2012 se hodnoty bilance draslíku pohybovaly v záporných hodnotách. V těchto hodnocených letech a dále pak v letech 2011, 2013 a 2014 nebylo na půdním bloku draslíkem minerálně hnojeno, což se následně projevilo i ve výsledné bilanci. Nejvýrazněji však v roce 2008 (-146,4 kg K/ha) a v roce 2009 (-220 kg K/ha). V těchto hodnocených letech a v roce 2014 byl také zaznamenán nejvyšší odběr draslíku hlavním produktem (plodiny sklízené na zelenou hmotu). Naproti tomu nejnižší odběr byl zaznamenán v roce 2012, a to 17 kg K/ha (řepka ozimá).

Tab. č. 25 Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	-
organická hnojiva	-	-	-	-	206,5	-	203,5	207
suma	0	0	0	0	206,5	0	203,5	207
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	97,5	36,7	220	49,6	55,5	17	39,3	133
vedlejší produkt	-	-	-			-		
suma	134,2	134,2	220	49,6	55,5	17	39,3	133
Bilance (kg/ha)	-134,2	-134,2	-220	-49,6	151	-17	164,2	74

Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 26 zobrazuje výslednou bilanci hořčíku na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v jednotlivých letech. Ve sledovaných letech 2008, 2010 a 2012 se hodnoty bilance hořčíku pohybovaly v záporných hodnotách (-15 kg/ha, -9,3 kg/ha a -6,2 kg/ha). Nejvýrazněji však v roce 2009, a to -45 kg/ha. V těchto hodnocených letech a dále pak v letech 2011, 2013 a 2014 nebylo na půdním bloku draslíkem minerálně hnojeno, což se následně projevilo i ve výsledné bilanci. Roky 2011, 2013 a 2014 vykazovaly, v závislosti na organickém hnojení kladnou bilanci, a to +22 kg Mg/ha, +14,6 kg Mg/ha a +8,5 kg Mg/ha. Nejvyšší množství dodaného hořčíku v organických hnojivech bylo zaznamenáno v roce 2014, a to +34,5 kg Mg/ha (hnůj + digestát). Naproti tomu nejvyšší množství odebraného hořčíku hlavním produktem bylo zaznamenáno v roce 2009 (45 kg/ha), kdy byl na půdním bloku pěstován jetel luční. Nejnižší pak v roce 2012, a to 6,2 kg Mg/ha (řepka ozimá).

Tab. č. 26 Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	-
organická hnojiva	-	-	-	-	31,5	-	22	34,5
suma	0	0	0	0	31,5	0	22	34,5
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	7,5	7,5	45	9,3	9,6	6,2	7,4	26
vedlejší produkt	-	-	-			-		
suma	15	45	45	9,3	9,6	6,2	7,4	26
Bilance (kg/ha)	-15	-45	-45	-9,3	22	-6,2	14,6	8,5

Bilance síry v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 27 zobrazuje výslednou bilanci síry na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v jednotlivých letech. V hodnocených letech 2008 – 2010 se výsledky bilance pohybovaly ve výrazně záporných hodnotách, nejvíce však v letech 2008 (-37,4 kg S/ha) a 2009 (-43,5 kg S/ha), tedy v letech bez minerálního a organického hnojení. V těchto hodnocených letech byl také zaznamenán nejvyšší odběr síry z jednoho hektaru, a to 43,3 kg/ha a 49,8 kg/ha. Naopak nejnižší množství odebrané síry bylo zaznamenáno v roce 2012 (10,3 kg/ha), kdy byla na půdním bloku pěstována pšenice ozimá a v roce 2013 10,8 kg/ha odebraných porostem pšenice ozimé. Pouze v roce 2012 bylo na půdním bloku minerálně hnojeno sírou (+16,8 kg/ha). V letech 2011 – 2014 nabývaly již výsledné bilance kladných hodnot, a to v závislosti na množství dodané síry v organických hnojivech na straně vstupů. Nejvyšší množství síry bylo pak takto dodáno v roce 2014 (+41 kg S/ha).

Bilance organických látek

Tabulka č. 28 zobrazuje jednoduchou bilanci organických látek na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v jednotlivých letech. Potřeba organických látek za celý osevní postup činí zhruba 28 t OL. Pouze v roce 2008 a 2010 nebyla roční úhrada organických látek (4t OL za rok/ha) splněna – 3 t OL/ha a 2 t OL/ha. Při součtu jednotlivých let činí úhrada organických látek na tomto půdním bloku zhruba 35 t OL. V průměru je to pak zhruba 5 t OL/ha). Bilanci lze tedy považovat za vyrovnanou.

Tab. č. 27 Bilance síry v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	-	-	17,4	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	35	-	29	41	
atmosférická depozice	5,88	6,28	6,67	5,72	5,79	6,25	6,36	
suma	5,88	6,28	6,67	42,72	23,2	35,25	47,36	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	35	8,3	49,8	26,7	14	10,3	10,8	17,5
vedlejší produkt	-	-	-			-		
suma	43,3	49,8	26,7	14	10,3	10,8	17,5	
Bilance (kg/ha)	-37,4	-43,5	-20	28,7	13	24,5	30	

Tab. č. 28 Bilance organických látek v letech 2008 - 2014

Organická hnojiva	Přísun OL v organických hnojivech (t/ha)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Posklizňové zbytky - jetele, obilnin, řepky ozimé, kukuřice	2	4	2	2	1,5	2	2
Sláma – obilniny, řepka ozimá	-	-	-	-	3,6	-	-
Zelené hnojení	1	-	-	-	-	-	-
Hnůj	-	-	-	6	-	3,4	4,25
Kejda skotu	-	-	-	-	-	-	-
Močůvka prasat	-	-	-	-	-	-	-
Digestát	-	-	-	-	-	-	1,1
suma	3	4	2	8	5,1	5,4	7,35

PB – Kocourovské (58,16 ha)

Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 29 zobrazuje výslednou povrchovou bilanci dusíku na PB „Kocourovské“ (58,16 ha) v jednotlivých letech. Kromě hodnoceného roku 2010 se bilance pohybovala v kladných hodnotách a to v závislosti na množství dusíku aplikovaného v organických hnojivech a na fixaci vzdušného dusíku ve sledovaných letech. V roce 2014 činily vstupy +352 kg N/ha, následná bilance pak +188,3 kg N/ha (nejvyšší hodnota ze všech sledovaných let). V tomto roce byl aplikován hnůj (25 t/ha) a digestát (15 t/ha). V roce 2012 bylo množství aplikovaného dusíku v minerálních hnojivech +182,4 kg N/ha, tedy nejvíce ze všech hodnocených let. Roky 2009 a 2010 byly roky bez vstupů v organických a minerálních hnojivech. Nejvyšší množství odebraného dusíku hlavním produktem činilo 315,7 kg N/ha, a to v roce 2010, kdy byl na půdním bloku pěstován jetel, což se také projevilo na výsledné bilanci.

Tab. č. 29 Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	122,5	-	-	147,8	182,4	152	150	
organická hnojiva	-	-	-	160	-	138	192,65	
fixace vzdušného dusíku	-	240	240	-	-	-	-	
vstupy osivem	4	4	-	3	8	4	1	
atmosférická depozice	8,71	10,71	10	8,17	9,53	8,84	8,24	
suma	135,2	254,7	250	319	200	303	352	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	104	44,22	48,6	315,7	120,8	76,4	121,6	146,5
vedlejší produkt			-	-		-		
průměrné ztráty	4,2	4,2	14,9	14,9	14,9	14,9	17,2	
suma	108,2	97	330,6	135,7	91,3	136,5	163,7	
Bilance (kg/ha)	27	157,7	-80,6	183,3	108,7	166,5	188,3	

Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 30 zobrazuje výslednou bilanci fosforu na PB „Kocourovské“ (56,18 ha) v jednotlivých letech. Bilance fosforu se v hodnocených letech pohybovala v záporných hodnotách, a to v roce 2008 (-18,8 kg/ha), 2009 (-13,8 kg/ha), 2010 (-31 kg/ha) a také v roce 2012 (-16 kg/ha). Kromě hodnoceného roku 2014 (+11,44 kg P/ha) nebylo na půdním bloku fosforem minerálně hnojeno. V tomto roce bylo také v organických hnojivech dodáno nejvyšší množství fosforu (+57,94 kg P/ha), což se projevilo také na výsledné kladné bilanci (+34,14 kg P/ha). V ostatních letech (kromě let 2011 a 2013) nebylo na straně vstupů aplikováno žádné množství fosforu v organických hnojivech. Nejnižší množství odebraného fosforu hlavní produktem bylo zaznamenáno v roce 2009, a to 13,8 kg P/ha (jetel + jarní ječmen), nejvyšší množství pak v roce 2014, a to 23,8 kg P/ha (kukuřice na siláž). Ve sledovaných letech 2011 a 2013 byly zaznamenány podobné hodnoty odběry fosforu hlavním a vedlejším produktem, a to 23 kg P/ha (ječmen ozimý) a 22 kg P/ha (pšenice ozimá).

Tab. č. 30 Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	11,44
organická hnojiva	-	-	-	39,5	-	24,4	46,5
suma	0	0	0	39,5	0	24,4	57,94
výstupy (kg/ha)							
hlavní produkt	18,8	9	4,76	31	23	16	23,8
vedlejší produkt			-	-		-	
suma	18,8	13,8	31	23	16	22	23,8
Bilance (kg/ha)	-18,8	-13,8	-31	16,5	-16	2,4	34,14

Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 31 zobrazuje výslednou bilanci draslíku na PB „Kocourovské“ (56,18 ha) v jednotlivých letech. V hodnocených letech 2008, 2009, 2010 a 2012 se hodnoty bilance draslíku pohybovaly v záporných hodnotách. Nejvíce však v roce 2010 (-273,3 kg K/ha). V těchto hodnocených letech (kromě roku 2008) a dále pak v letech 2011, 2013 a 2014 nebylo na půdním bloku draslíkem minerálně hnojeno. Na výsledné bilanci se to však projevilo jen v letech bez organického hnojení na straně vstupů. Ve sledovaném roce 2014 byl zaznamenán nejvyšší vstup draslíku v organických hnojivech (+192 kg K/ha) a zároveň nejvyšší odběr draslíku hlavním produktem 150,5 kg K/ha (kukuřice na siláž). Naproti tomu nejnižší odběr byl zaznamenán v roce 2012, a to 19 kg K/ha (řepka ozimá).

Tab. č. 31 Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	50	-	-	-	-	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	166,3	-	158	192	
suma	50	0	0	166,3	0	158	192	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	55	31,8	42	272,3	73,4	19	64,4	150,5
vedlejší produkt			-	-		-		
suma	55	73,8	272,3	73,4	19	64,4	150,5	
Bilance (kg/ha)	-5	-73,8	-273,3	93	-19	93,6	41,5	

Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 32 zobrazuje výslednou bilanci hořčíku na PB „Kocourovské“ (56,18 ha) v jednotlivých letech. V roce 2008, 2009, 2010 a 2012 se hodnoty bilance hořčíku pohybovaly v záporných hodnotách (-10,3 kg/ha, -13,4 kg/ha, -55,7 kg/ha a -6,83 kg/ha). Ve všech hodnocených letech nebylo na půdním bloku draslíkem minerálně hnojeno, což se následně projevilo ve výsledné bilanci, ale pouze tam, kde nebyla aplikována organická hnojiva. Nejvyšší množství dodaného hořčíku v organických hnojivech bylo zaznamenáno v roce 2014, a to +31,4 kg Mg/ha (hnůj + digestát). Naproti tomu nejvyšší množství odebraného hořčíku hlavním produktem bylo zaznamenáno v roce 2009 (55,7 kg/ha), kdy

byl na půdním bloku pěstován jetel luční. Nejnižší pak v roce 2012, a to 6,84 kg Mg/ha (řepka ozimá).

Tab. č. 32 Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	27	-	18,3	31,4	
suma	0	0	0	27	0	18,3	31,4	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	10,3	4,8	8,6	55,7	12,7	6,84	12	29,3
vedlejší produkt			-	-		-		
suma	10,3	13,4	55,7	12,7	6,84	12	29,3	
Bilance (kg/ha)	-10,3	-13,4	-55,7	14,3	-6,84	5,3	1,1	

Bilance síry v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 33 zobrazuje výslednou bilanci síry na PB „Kocourovské“ (56,18 ha) v jednotlivých letech. V letech 2008 – 2010 se výsledky bilance pohybovaly v záporných hodnotách, nejvíce však v roce 2010 (-55,33 kg S/ha). Tedy rok bez organického ani minerálního hnojení na straně vstupů. V letech 2011 – 2014 nabývaly již výsledné bilance kladných hodnot (v závislosti na množství aplikovaných organických nebo minerálních hnojiv). V tomto roce byl také zaznamenán nejvyšší odběr síry z jednoho hektaru, a to 62 kg S/ha. Naopak nejnižší množství odebrané síry bylo zaznamenáno v roce 2012 (11,4 kg/ha), kdy byla na půdním bloku pěstována řepka ozimá. V ostatní letech se množství odebrané síry (hlavním nebo vedlejším produktem) pohybovalo na zhruba stejné úrovni.

Bilance organických látek

Tabulka č. 34 zobrazuje jednoduchou bilanci organických látek na PB „Kocourovské“ (56,18 ha) v jednotlivých letech. Potřeba organických látek za celý osevní postup činí zhruba 28 t OL. V roce 2008, 2009 a 2013 nebyla roční úhrada organických látek (4t OL za rok/ha) splněna – 2 t OL/ha, 2,5 t OL/ha a 3,4 t OL/ha. Při součtu jednotlivých let činí úhrada organických látek na tomto půdním bloku zhruba 30,7 t OL. V průměru je to pak zhruba 4,4 t OL/ha). Bilanci lze tedy považovat za vyvážanou.

Tab. č. 33 Bilance síry v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	-	-	17	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	29	-	28,3	37	
atmosférická depozice	5,88	6,28	6,67	5,72	5,79	6,25	6,36	
suma	5,88	6,28	6,67	34,75	22,79	34,35	43,36	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	15	7	9,5	62	18,5	11,4	17,6	19,8
vedlejší produkt			-	-		-		
suma	15	16,5	62	18,5	11,4	17,6	19,8	
Bilance (kg/ha)	-10,88	-10,22	-55,33	16,25	11,39	16,75	23,56	

Tab. č. 34 Bilance organických látek v letech 2008 - 2014

Organická hnojiva	Přísun OL v organických hnojivech (t/ha)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Posklizňové zbytky - jetele, obilnin, řepky ozimé, kukuřice	2	1,5	4	2	1,5	2	2
Sláma – obilniny, řepka ozimá	-	-	-	-	3,65	-	-
Zelené hnojení	-	1	-	-	-	-	-
Hnůj	-	-	-	4,25	-	-	4,25
Kejda skotu	-	-	-	0,4	-	-	-
Močůvka prasat	-	-	-	-	-	-	-
Digestát	-	-	-	-	-	1,4	0,8
suma	2	2,5	4	6,65	5,15	3,4	7

PB U Akátu (35,84 ha)

Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 35 zobrazuje výslednou povrchovou bilanci dusíku na PB „U Akátu“ (35,84 ha) v jednotlivých letech. Kromě hodnoceného roku 2010 se bilance pohybovala v kladných hodnotách a to v závislosti na množství dusíku aplikovaného v organických hnojivech a také na fixaci vzdušného dusíku ve sledovaných letech. V roce 2011 činily vstupy v organických hnojivech +430,82 kg N/ha, následná bilance pak +293,62 kg N/ha (nejvyšší hodnota ze všech sledovaných let). V tomto roce byl aplikován hnůj (26 t/ha), kejda skotu (25 t/ha), digestát (40 t/ha) a sláma pšenice ozimé (4,24 t/ha). V roce 2014 bylo množství aplikovaného dusíku v minerálních hnojivech +150 kg N/ha, tedy nejvíce ze všech hodnocených let. Roky 2008, 2009 a 2011 byly roky bez vstupů v minerálních hnojivech. Nejvyšší množství odebraného dusíku hlavním produktem činilo 291,3 kg/ha, a to v roce 2009, kdy byl na půdním bloku pěstován jetel, což se také projevilo na výsledné bilanci. Naopak nejnižší odběr dusíku hlavní produktem byl zaznamenán v roce 2012, a to 83,1 kg N/ha (ozimá řepka).

Tab. č. 35 Povrchová bilance dusíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	89,25	-	125,4	143	150
organická hnojiva	-	-	-	419,65	-	126,2	79,3
fixace vzdušného dusíku	240	240	-	-	-	-	-
vstupy osivem	11,35	-	4	3	8	4	1
atmosférická depozice	8,71	10,71	10	8,17	9,53	8,84	8,24
suma	260	250,71	103,25	430,82	142,93	282	238,54
výstupy (kg/ha)							
hlavní produkt	132	43,7	291,3	95	83,1	111,9	111
vedlejší produkt	-	-	-	-	-	-	-
průměrné ztráty	4,2	4,2	14,9	14,9	14,9	14,9	17,2
suma	175,7	295,5	110	137,2	98	126,8	128,2
Bilance (kg/ha)	84,3	-44,79	-6,75	293,62	44,93	155,2	110,34

Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 36 zobrazuje výslednou bilanci fosforu na PB „U Akátu“ (35,84 ha) v jednotlivých letech. Bilance fosforu se v těchto hodnocených letech pohybovaly v záporných hodnotách - v roce 2008 (-20,8 kg/ha), 2009 (-28,6 kg/ha), 2010 (-17,5 kg/ha) a v roce 2012 (- 17,36 kg/ha). Kromě hodnoceného roku 2014 (+11,44 kg P/ha) nebylo na půdním bloku fosforem minerálně hnojeno. Nejvyšší množství fosforu, které bylo v organických hnojivech dodáno, činilo +82,1 kg P/ha v roce 2011, což se projevilo také na výsledné kladné bilanci (+58,7 kg P/ha). V ostatních letech (kromě let 2013 a 2014) nebylo na straně vstupů aplikováno žádné množství fosforu v organických ani minerálních hnojivech na straně vstupů. Největší množství odebraného fosforu hlavní produktem bylo zaznamenáno v roce 2009, a to 28,6 kg P/ha (jetel), nejméně pak v roce 2013, a to 9 kg P/ha u pšenice ozimé (hlavní + vedlejší produkt).

Tab. č. 36 Bilance fosforu v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	11,44
organická hnojiva	-	-	-	-	82,1	-	53,52	13,5
suma	0	0	0	0	82,1	0	53,52	24,94
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	16,5	4,3	28,6	17,5	23,4	17,36	9	18
vedlejší produkt	-	-	-	-		-		
suma	20,8	28,6	28,6	17,5	23,4	17,36	9	18
Bilance (kg/ha)	-20,8	-28,6	-28,6	-17,5	58,7	-17,36	44,52	6,94

Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 37 zobrazuje výslednou bilanci draslíku na PB „U Akátu“ (35,84 ha) v jednotlivých letech. V letech 2008, 2009, 2010, 2012 a 2014 se hodnoty bilance draslíku pohybovaly v záporných hodnotách. V těchto hodnocených letech (kromě roku 2014) nebylo na půdním bloku draslíkem minerálně ani organicky hnojeno, což se následně projevilo i ve výsledné bilanci. Nejvýrazněji však v roce 2009 (-251,3 kg K/ha). V tomto sledovaném roce byl také zaznamenán nejvyšší odběr draslíku hlavním produktem, a to -272,3 kg K/ha (jetel). Naproti tomu nejnižší odběr byl zaznamenán v roce 2011, a to 19,6 kg K/ha (pšenice ozimá). Nejvyšší množství dodaného draslíku v organických hnojivech v roce 2011 činilo +361,6 kg/ha.

Tab. č. 37 Bilance draslíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	-	-
organická hnojiva	-	-	-	-	361,6	-	163	67
suma	0	0	0	0	361,6	0	163	67
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	107,25	37,7	272,3	19,6	74,3	20,6	43	117
vedlejší produkt	-	-	-	-		-		
suma	145	145	251,3	19,6	74,3	20,6	43	117
Bilance (kg/ha)	-145		-251,3	-19,6	287	-20,6	120	-50

Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 38 zobrazuje výslednou bilanci hořčíku na PB „U Akátu“ (35,84 ha) v jednotlivých letech. V pěti sledovaných letech ze sedmi se hodnoty bilance Mg pohybovaly v záporných hodnotách, nejvíce však v roce 2009, a to -51,8 kg Mg/ha. V tomto roce nebylo k plodině organicky ani minerálně hnojeno, rovněž jako v roce 2008, 2010 a 2012, což se projevilo i ve výsledné bilanci. Naproti tomu rok 2011 vykazoval, v závislosti na organickém hnojení výrazně kladnou bilanci, a to +51,13 kg Mg/ha. V tomto roce bylo také dodáno největší množství hořčíku v organických hnojivech (+64 kg/ha). Naproti tomu nejvyšší množství odebraného hořčíku hlavním produktem bylo zaznamenáno v roce 2009 (51,8 kg/ha), kdy byl na půdním bloku pěstován jetel luční. Nejnižší pak v roce 2010, a to 6,36 kg Mg/ha (pšenice ozimá).

Tab. č. 38 Bilance hořčíku v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
minerální hnojiva	-	-	-	-	-	-	6,6	-
organická hnojiva	-	-	-	-	64	-	16,8	11,64
suma	0	0	0	0	64	0	23,4	11,64
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	8,25	7,7	51,8	6,36	12,87	7,44	9,4	22,2
vedlejší produkt	-	-	-	-		-		
suma	16	51,8	51,8	6,36	12,87	7,44	9,4	22,2
Bilance (kg/ha)	-16	-51,8	-51,8	-6,36	51,13	-7,44	14	-10,56

Bilance síry v letech 2008 - 2014

Tabulka č. 39 zobrazuje výslednou bilanci síry na PB „U Akátu“ (35,84 ha) v jednotlivých letech. V letech 2008 – 2010 se výsledky bilance pohybovaly v záporných hodnotách, nejvíce však v roce 2009 (-50,84 kg S/ha). Tedy rok bez organického ani minerálního hnojení na straně vstupů. V hodnoceném roce 2009 byl také zaznamenán nejvyšší odběr síry z jednoho hektaru, a to 57,12 kg S/ha. Naopak nejnižší množství odebrané síry bylo zaznamenáno v roce 2010 (10,6 kg/ha), kdy byla na půdním bloku pěstována řepka ozimá. Nejvyšší množství dodané síry v organických hnojivech bylo dodáno v roce 2011 (+74,36 kg S/ha) a pouze v roce 2012 bylo minerálně hnojeno sírou na půdním bloku, a to v množství +17,1 kg S/ha.

Bilance organických látek

Tabulka č. 40 zobrazuje jednoduchou bilanci organických látek na PB „Kocourovské“ (56,18 ha) v jednotlivých letech. Potřeba organických látek za celý osevní postup činí zhruba 28 t OL. V roce 2008 a 2014 nebyla roční úhrada organických látek (4t OL za rok/ha) splněna – 3 t OL/ha a 2,81 t OL/ha. Při součtu jednotlivých let činí úhrada organických látek na tomto půdním bloku zhruba 35,62 t OL. V průměru je to pak zhruba 5,0 t OL/ha). Bilanci lze tedy považovat za vyrovnanou.

Tab. č. 39 Bilance síry v letech 2008 - 2014

vstupy (kg/ha)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
minerální hnojiva	-	-	-	-	17,1	-	-	
organická hnojiva	-	-	-	74,36	-	26,92	15,36	
atmosférická depozice	5,88	6,28	6,67	5,72	5,79	6,25	6,36	
suma	5,88	6,28	6,67	80	22,9	33,17	21,72	
výstupy (kg/ha)								
hlavní produkt	30,25	8,57	57,12	10,6	18,72	12,4	14,56	15
vedlejší produkt	-	-	-	-		-		
suma	38,82	57,12	10,6	18,72	12,4	14,56	15	
Bilance (kg/ha)	-32,94	- 50,84	-3,93	61,28	10,5	18,61	6,72	

Tab. č. 40 Bilance organických látek v letech 2008 - 2014

Organická hnojiva	Přísun OL v organických hnojivech (t/ha)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Posklizňové zbytky - jetele, obilnin, řepky ozimé, kukuřice	2	4	2	2	1,5	2	2
Sláma – obilniny, řepka ozimá	-	-	3,5	-	4,4	1,84	-
Zelené hnojení	1	-	-	-	-	-	-
Hnůj	-	-	-	4,42	-	-	-
Kejda skotu	-	-	-	0,9	-	-	-
Močůvka prasat	-	-	-	-	-	-	-
Digestát	-	-	-	2,15	-	1,1	0,81
suma	3	4	5,5	9,47	5,9	4,94	2,81

5.2 Hodnocení změn zásobenosti P, K, Mg na základě výsledků AZZP

Přepočet obsahu přístupných živin v půdní zásobě

- Výpočet koeficientu pro přepočet obsahu přístupných živin v půdní zásobě pomocí půdního druhu, hloubky ornice a objemové hmotnosti půdy daného půdního bloku.

Půdní druh: Střední

Hloubka ornice: 25 cm

Zjištěná objemová hmotnost:

$\rho = 1,4 \text{ t/m}^3$ (hp – PB Jiříkovo)

$\rho = 1,45 \text{ t/m}^3$ (jh, h – PB Březinka, U akátu)

$\rho = 1,34 \text{ t/m}^3$ (ph – PB Kocourovské)

$V = 100 \cdot 100 \cdot 0,25$ $m(\text{hp}) = 2500 \cdot 1,4$ $m(\text{hp}) = 3500$ (koef. = 3,5)

$V = 2500 \text{ m}^3$ $m(\text{jh,h}) = 2500 \cdot 1,45$ $m(\text{jh,h}) = 3625$ (koef. = 3,625)

$m(\text{ph}) = 2500 \cdot 1,34$ $m(\text{ph}) = 3350$ (koef. = 3,35)

PB - Březinka (68,51 ha)

Tab. č. 41 Výsledky AZZP na PB Březinka (68,51 ha)

Rok	pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)		
		P	K	Mg
2003	6,2	53	140	205
2009	5,2	42	174	204
2015	5,3	39	146	185
Rok	pH	Obsah přístupných živin (kg/ha)		
		P	K	Mg
2003	6,2	77	203	297
2009	5,2	61	252	296
2015	5,3	56,5	212	268

Hodnocení změn zásobenosti přístupného fosforu

Tabulka č. 41 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného fosforu o 4,5 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v letech 2008 – 2014 činila v průměru -19,35 kg P/ha (tab. č. 42).

Tab. č. 42 Výsledná bilance fosforu na PB Březinka (68,51 ha) v letech 2008 - 2014

Fosfor	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-12,5	-16,65	-18,7	36	-14,7	-12	19,2	-19,35

Hodnocení změn zásobenosti přístupného draslíku

Tabulka č. 41 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného draslíku o 40 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -46,9 kg K/ha (tab. č. 43).

Tab. č. 43 Výsledná bilance draslíku na PB Březinka (68,51 ha) v letech 2008 - 2014

Draslík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-62	-146,4	-20,9	200,3	-40	47,7	-25,6	-46,9

Hodnocení změn zásobenosti přístupného hořčíku

Tabulka č. 41 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného hořčíku o 28 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v letech 2008 – 2014 činila v průměru -18,5 kg Mg/ha (tab. č. 44)

Tab. č. 44 Výsledná bilance hořčíku na PB Březinka (68,51 ha) v letech 2008 - 2014

Hořčík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-1,3	-30	-6,8	34,9	-6,3	-4,8	-4,2	-18,5

PB - Jiříkovo (16,93 ha)

Tab. č. 45 Výsledky AZZP na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha)

Rok	pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)		
		P	K	Mg
2003	6,2	44	113	170
2009	5,8	108	244	126
2015	5,5	69	188	161
Rok	pH	Obsah přístupných živin (kg/ha)		
		P	K	Mg
2003	6,2	62	158	238
2009	5,8	151	342	176
2015	5,5	97	263	225

Hodnocení změn zásobenosti přístupného fosforu

Tabulka č.45 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného fosforu o 54 kg/ha. Tato hodnota však není v souladu s kladnou bilancí tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru +17,1 kg P/ha (tab. č. 46).

Tab. č. 46 Výsledná bilance fosforu na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v letech 2008 - 2014

Fosfor	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-19,2	-25	-17	31,5	-14,4	20,45	40,74	+17,1

Hodnocení změn zásobenosti přístupného draslíku

Tabulka č. 45 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného draslíku o 79 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -31,6 kg K/ha (tab. č. 47).

Tab. č. 47 Výsledná bilance draslíku na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v letech 2008 - 2014

Draslík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-134,2	-220	-49,6	151	-17	164,2	74	-31,6

Hodnocení změn zásobenosti přístupného hořčíku

Tabulka č. 45 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke zvýšení obsahu přístupného hořčíku o 49 kg/ha. Tato hodnota však neodpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -30,4 kg Mg/ha (tab. č. 48).

Tab. č. 48 Výsledná bilance hořčíku na PB „Jiříkovo“ (16,93 ha) v letech 2008 - 2014

Hořčík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-15	-45	-9,3	22	-6,2	14,6	8,5	-30,4

PB – Kocourovské (58,16 ha)

Tab. č. 49 Výsledky AZZP na PB „Kocourovské“ (58,16 ha)

Rok	pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)		
		P	K	Mg
2003	6,4	45	164	177
2009	5,8	54	220	164
2015	5,8	31	144	183
Rok	pH	Obsah přístupných živin (kg/ha)		
		P	K	Mg
2003	6,4	60	220	237
2009	5,8	72	295	220
2015	5,8	41,5	193	245

Hodnocení změn zásobenosti přístupného fosforu

Tabulka č. 49 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného fosforu o 30,5 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -26,6 kg P/ha (tab. č. 50).

Tab. č. 50 Výsledná bilance fosforu na PB „Kocourovské“ (58,16 ha) v letech 2008 - 2014

Fosfor	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-18,8	-13,8	-31	16,5	-16	2,4	34,14	-26,6

Hodnocení změn zásobenosti přístupného draslíku

Tabulka č. 49 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného draslíku o 102 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -143 kg K/ha (tab. č. 51).

Tab. č. 51 Výsledná bilance draslíku na PB „Kocourovské“ (58,16 ha) v letech 2008 - 2014

Draslík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-5	-73,8	-273,3	93	-19	93,6	41,5	-143

Hodnocení změn zásobenosti přístupného hořčíku

Tabulka č. 49 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke zvýšení obsahu přístupného hořčíku o 25 kg/ha. Tato hodnota však neodpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -65,5 kg Mg/ha (tab. č. 52).

Tab. č. 52 Výsledná bilance hořčíku na PB „Kocourovské“ (58,16 ha) v letech 2008 - 2014

Hořčík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-10,3	-13,4	-55,7	14,3	-6,84	5,3	1,1	-65,5

PB – U akátu (35,84 ha)

Tab. č. 53 Výsledky AZZP na PB „U akátu“ (35,84 ha)

Rok	pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)		
		P	K	Mg
2003	6,6	50	199	283
2009	6,1	115	321	283
2015	5,8	52	161	237
Rok	pH	Obsah přístupných živin (kg/ha)		
		P	K	Mg
2003	6,6	72,5	287	410
2009	6,1	168	465,5	410
2015	5,8	75	233,5	344

Hodnocení změn zásobenosti přístupného fosforu

Tabulka č. 53 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke snížení obsahu přístupného fosforu o 93 kg/ha. Tato hodnota však neodpovídá kladné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru +25,9 kg P/ha (tab. č. 54).

Tab. č. 54 Výsledná bilance fosforu na PB „U akátu“ (58,16 ha) v letech 2008 - 2014

Fosfor	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-20,8	-28,6	-17,5	58,7	-17,36	44,52	6,94	+25,9

Hodnocení změn zásobenosti přístupného draslíku

Tabulka č. 53 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo k výraznému snížení obsahu přístupného draslíku o 232 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -79,5 kg K/ha (tab. č. 55).

Tab. č. 55 Výsledná bilance draslíku na PB „U akátu“ (58,16 ha) v letech 2008 - 2014

Draslík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-145	-251,3	-19,6	287	-20,6	120	-50	-79,5

Hodnocení změn zásobenosti přístupného hořčíku

Tabulka č. 53 ukazuje, že mezi roky 2009 a 2015 došlo ke zvýšení obsahu přístupného hořčíku o 66 kg/ha. Tato hodnota odpovídá záporné bilanci tohoto prvku, která v hodnocených letech 2008 – 2014 činila v průměru -27,03 kg Mg/ha (tab. č. 56).

Tab. č. 56 Výsledná bilance hořčíku na PB „U akátu“ (58,16 ha) v letech 2008 - 2014

Hořčík	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Σ
Bilance (kg/ha)	-16	-51,8	-6,36	51,13	-7,44	14	-10,56	-27,03

6. Diskuze

6.1 Povrchová bilance dusíku na jednotlivých pozemcích

Bilance dusíku, jak uvádí Křen *et al.* (2011), je nejčastěji používaným indikátorem úzce propojeným se zemědělskou výrobou. Je výsledkem působení řady faktorů, např. struktury podniku (intenzita živočišné výroby, osevní sled), intenzity hnojení, způsobu aplikace hnojiv a druhů hnojiv. Chyby v hospodaření s dusíkem se dříve nebo později objeví v bilanci dusíku. Kladný výsledek bilance dusíku, tedy jeho bilanční přebytek, představuje ztráty. Při dodržování zásad správné zemědělské praxe může být dosahován bilanční přebytek dusíku na úrovni 20 kg N/ha (Klír *et al.*, 2007). V půdně-klimatických podmínkách a systémech hospodaření ČR jsou pak tzv. nevyhnutelné ztráty dusíku uvažovány v průměrné výši 50 kg N/ha za rok, což potvrzují i Křen *et al.* (2011). Podle stejných autorů se optimální hodnota roční bilance pohybuje od 0 do 50 kg N/ha. Na hodnocených půdních blocích se v tomto rozmezí pohybovala hodnota bilance pouze na PB – „Kocourovské“ (58,16 ha), a to ve sledovaném roce 2008 (+27 kg N/ha) a na PB – „U Akátu“ (35,84 ha) ve sledovaných letech 2009 (+44,79 kg N/ha) a 2012 (+44,93 kg N/ha). Naopak výsledky bilancí na hodnocených půdních blocích, které se pohybovaly v rozmezí pod optimální hodnotou, tedy v rozmezí -50 - 0 kg N/ha, mohou naznačovat pokles zásob dusíku v půdě a snížený výnosový potenciál na těchto půdních blocích (Křen *et al.*, 2011). Při hodnotách výsledných bilancí dusíku, jejichž hodnoty se pohybovaly v rozmezí 50 – 150 kg N/ha mohou znamenat podle Křen *et al.* (2011) zvýšené ztráty dusíku. Pokud jde o výsledné hodnoty nad 150 kg N/ha, které byly zaznamenány na hodnocených půdních blocích v některých sledovaných letech, mohly dle stejného autora způsobit nadměrné až neúnosné ztráty dusíku. Hlušek *et Trávník* (2002) navíc také zjistili, že pokud je naopak přebytek dusíku vyšší než 80 kg/ha/rok, je většinou efektivnost jeho vstupů do půdy menší než 50 %. Naproti tomu, jak uvádí Klír *et al.* (2007), při vyšším zatížení půdy hospodářskými zvířaty je přebytek N většinou vyšší, v důsledku ztrát dusíku při používání statkových hnojiv. Podle Balík *et al.* (2012) je při výpočtu působení dusíku v aplikovaných organických hnojivech často obtížné určit přímé působení dusíku a reziduální působení v jednotlivých letech. Jak dále autoři uvádějí, organická hnojiva představují rozmanitý zdroj dusíku v zemědělství. Jednotlivá organická hnojiva se od sebe liší jednak obsahem dusíku, podílem jednotlivých forem dusíku (organicky vázaný dusík, minerální dusík N-NO₃⁻ a N-NH₄⁺) a dále využitelností dusíku pro rostliny z krátkodobého a dlouhodobého hlediska. V bilancích je u organických hnojiv počítán veškerý aplikovaný dusík, avšak vliv na výnos plodin je často odlišný. Živiny z

některých organických hnojiv často vykazují malý vliv na výnos plodin v prvním roce aplikace hnojiv. Dochází však k obohacení půdní zásoby a působení v následujících letech (reziduální, nebo kumulativní působení), což také potvrzují Vaněk *et al.* (2012).

6.2 Bilance fosforu, draslíku, hořčíku a síry na jednotlivých pozemcích

Bilance fosforu musí zajistit rovnováhu mezi přísunem a odběrem fosforu při respektování optimálních obsahů živin v půdě, má úzkou spojitost se způsobem hospodaření a je ovlivnitelná řadou zemědělských opatření (Křen *et al.*, 2011). Jak dále autor uvádí, dostatečným přísunem fosforu se zabezpečuje pokrytí požadavků rostlin dle výnosu a kvality produkce. Odebraný fosfor musí být doplněn, aby se zabránilo snižování přirozené úrodnosti půd, k němuž při současné nízké úrovni hnojení fosforem dochází. Výsledky bilancí fosforu na jednotlivých půdních blocích se ve čtyřech ze sedmi hodnocených let shodně pohybovaly v záporných hodnotách. Pouze PB – Březinka (68,51 ha) bylo dosaženo záporné bilance v pěti ze sedmi hodnocených let. Podle Křen *et al.* (2011) se tyto bilance, které se odchyľující od optima a pohybují se mezi hodnotami -25 a 25 kg P/ha, lze považovat za tolerovatelné v rámci pravidel správné zemědělské praxe. Avšak, jak uvádí Kunzová (2009), dlouhodobý bilanční deficit v používání fosforečných hnojiv naznačuje zvýšené čerpání fosforu z půdy, čímž se snižuje její úrodnost. Podle této autorky by pak snahou mělo být takové hnojení fosforem, při kterém by nedocházelo k trvalému deficitu v půdě a které následně ohrožuje produkci rostlin. Výsledné hodnoty bilancí fosforu na hodnocených půdních blocích, které se v jednotlivých letech pohybovaly v rozsahu > 25 kg P/ha, jsou hodnoceny dle Křen *et al.* (2011) jako jeho nadměrné přísuny. Tyto bilance pak spadají dle stejného autora do kategorie nevhodného rozsahu. V těchto hodnocených letech byla použita v rámci vstupů pouze organická hnojiva. Jak uvádí Černý *et al.* (2013), obsah fosforu se v těchto hnojivech pohybuje v rozmezí 0,07 – 0,28 %. Při hnojení těmito hnojivy je pak množství využitelného fosforu velmi nízké. Fosforečné sloučeniny jsou pevněji vázány v organických látkách a je velice nízká jejich rozpustnost. To potvrzují i Vaněk *et al.* (2012) a uvádí, že množství fosforu, které je např. u hnoje v prvním roce k dispozici, je zhruba jen z 25 % využitelné, v dalších dvou letech se pak uvolní 15 a 5 %. Guo *et al.* (2010) zjistili, že se z jedné tuny drůbežího hnoje za 570 dní uvolnilo jen 8,4 % P (6,5 kg).

Jak uvádí Kunzová (2010), draslík patří mezi nejdůležitější stavební živiny ve výživě rostlin. Zásoba přijatelného draslíku v půdách klesá a draslík se postupně stává limitujícím prvkem výnosu a kvality produktu. Při současném omezeném hnojení organickými hnojivy a minerálními hnojivy dochází k odčerpání draslíku z půdy, které bilančně přesahuje vstupy,

což má za následek snižování obsahu přístupného draslíku v půdě. Výsledky bilancí draslíku se v hodnocených letech se na jednotlivých půdních blocích pohybovaly v různých hodnotách. Bilance draslíku, které se pohybovaly mezi hodnotami -20 až 20 kg K/ha, jsou dle Křen *et al.* (2011) v rámci jeho optimální bilance. Hodnoty, které se podle stejného autora nacházely v udržitelném rozsahu od -50 do 50 kg K/ha, pohybují v rámci tolerovatelné bilance. Nevhodný rozsah bilance draslíku < -140 anebo > 140 , může znamenat nedostatečný nebo naopak jeho nadměrný přísun.

Bilance ztrát hořčíku z půdy (hlavně odběr rostlinami a vyplavení) a jeho přísunu do půdy, jak uvádí Vaně *et al.* (2012) je negativní. Dle stejných autorů se hořčík dlouhodobě odčerpává z půdních zásob a pouze v období, kdy se u nás aplikovalo větší množství vápenatých hnojiv s obsahem hořčíku (1975 – 1991), se tento bilanční rozdíl zlepšil. Značným omezením vápnění se přísun hořčíku snížil a hořčík je tak odčerpáván z půdy. Hodnoty výsledných bilancí se v závislosti na množství aplikovaných organických hnojiv v rámci vstupů v hodnocených letech 2008 - 2014 pohybovaly na jednotlivých půdních blocích převážně v záporných hodnotách. Nejvýrazněji se však záporná bilance projevila na PB – Březinka (68,51 ha), a to na šesti ze sedmi hodnocených let.

Podobně jako pro ostatní hlavní živiny dle Matuly (2007) je třeba i pro síru, vypracovat racionální systém hnojení. Jak dále autor dodává, deficit síry znemožňuje plné využití aplikovaného dusíku. Takto nevyužitý dusík k tvorbě výnosu se stává nadměrnou ekologickou zátěží životního prostředí, stává se rizikem možnosti kontaminace vod nitráty. Výsledné hodnoty bilancí bez vstupů v minerálních a organických hnoji se souhrnně pohybovaly v záporných hodnotách. Naproti tomu pokud bylo v hodnocených letech na jednotlivých půdních blocích organicky hnojeno, pohybovaly se tyto výsledky i ve výrazně kladných hodnotách. Avšak i přes tyto vysoké hodnoty bilancí, jak uvádí Černý *et al.* (2013), podíl síranů přímo využitelných rostlinami z organických hnojiv je uváděn zpravidla za malý. To znamená, že dostupnost síry z těchto organických hnojiv je především závislá na podmínkách mineralizace (teplota a vlhkost půdy). Jak dále autoři upřesňují, v závislosti na poměru C : S lze počítat s uvolněním síry v rozmezí 5–30 % z celkového obsahu síry v hnoji.

6.3 Hodnocení změn zásobenosti P, K, Mg na základě výsledků AZZP

Celkový obsah živin nás informuje o potenciálním množství živin v půdách. Většinou však celkové obsahy živin, jak uvádí Vaněk *et al.* (2012) mají menší vypovídací schopnost o tom, jak daná půda bude ovlivňovat výživu rostlin. Ve spojení s údaji z dalších zdrojů, zejména z agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) mohou být bilance živin

zdrojem informací např. o nadměrném čerpání rostlinných živin, hlavně P a K z půdy (Klír *et al.*, 2007). Při hodnocení obsahu přístupných živin na jednotlivých půdních blocích došlo mezi lety 2009 – 2015 na všech půdních blocích k poklesu obsahu přístupného fosforu, draslíku a na dvou půdních blocích, kormě PB – Kocourovské (58,16 ha) a PB - Jiříkovo (16,93 ha), došlo také k poklesu obsahu přístupného hořčíku. Také dlouhodobý pokles přístupných živin u nás potvrzuje např. Kunzová (2010) a uvádí, že obsah přístupného draslíku na orných půdách má negativní tendenci a jeho pokles oproti začátku 90. let minulého století je o 29 mg/kg půdy. Tato negativní tendence vývoje obsahu přijatelného draslíku se projevuje na snížení poměru K : Mg pod hodnotu 1, což signalizuje o větší potřebě hnojení touto živinou. Podle Mze (2015), která ve své situační a výhledové zprávě uvádí, že kategorizace obsahu přístupného fosforu u orné půdy, podle kritérií hodnocení obsahu fosforu, má v rámci republiky zhoršující se tendenci. Obsah přístupného fosforu u orných půd se od roku 1990 v průměru ČR snížil o 19 mg/kg půdy. Dokládá to zejména neustálý nárůst u kategorie půd s nízkým obsahem přístupného fosforu – oproti začátku 90. let minulého století o 18 %. Průměrné obsahy přístupného hořčíku v půdách ČR pocházející z velkých souborů hodnot, jak dále uvádí situační a výhledová zpráva, nevykazují však výraznější změny, spíše lze hovořit o stagnaci obsahu. Na orné půdě je dlouhodobě zaznamenáván v posledních letech mírný nárůst obsahu přístupného Mg. Tento obecný stav do jisté míry souvisí s úbytkem jiných aktivnějších kationtů v sorpčním komplexu, především K a v poslední době i Ca. Na jejich místo nastupuje jinak méně aktivní Mg a zvyšuje se tím jeho podíl v sorpčním komplexu.

7. Závěr

Z výsledků a hodnocení bilancí jednotlivých živin v této práci vyplývá:

- v zemědělské společnosti činí podíl vstupů v organických hnojivech vyšší než podíl vstupů v hnojivech minerálních,
- v těchto vstupech přichází na půdní bloky největší množství živin, avšak využitelnost jednotlivých živin závisí na daném typu organického hnojiva, jejich množství a formě, ve které se v daném hnojivu nacházejí,
- na půdních blocích jsou do osevního postupu pravidelně zařazovány plodiny poutající vzdušný dusík, které následně do půdy dodávají množství organických látek v posklizňových zbytcích,
- výsledné **bilance dusíku** se ve sledovaných letech 2008 – 2014 na jednotlivých půdních blocích pohybovaly (až na výjimky) v kladných nebo výrazně kladných hodnotách a nedocházelo tak k ochuzování půdní zásoby o dusík,
- výsledné **bilance fosforu** se ve sledovaných letech 2008 – 2014 na jednotlivých půdních blocích pohybovaly převážně v záporných hodnotách, avšak v závislosti na množství vstupů v organických hnojivech byly tyto hodnoty kladné,
- výsledné **bilance draslíku** se ve sledovaných letech 2008 – 2014 na jednotlivých půdních blocích pohybovaly v některých letech ve výrazně záporných hodnotách, avšak v závislosti na množství vstupů v organických hnojivech byly tyto hodnoty kladné,
- výsledné **bilance hořčíku** se ve sledovaných letech 2008 – 2014 na jednotlivých půdních blocích pohybovaly v záporných hodnotách, avšak v závislosti na množství vstupů v organických hnojivech byly tyto hodnoty kladné,
- výsledné **bilance síry** se ve sledovaných letech 2008 – 2014 na jednotlivých půdních blocích pohybovaly v některých letech ve výrazně záporných hodnotách, avšak v závislosti na množství vstupů v organických hnojivech byly tyto hodnoty kladné,
- v rámci hodnocení jednoduchých bilancí organických látek na jednotlivých půdních blocích byla, při součtu jednotlivých let, potřeba organických látek splněna a bilance lze tedy považovat za vyrovnané,
- hodnocení změn zásobenosti P, K, Mg na základě výsledků AZZP ukázalo, že mezi lety 2009 – 2015 došlo k poklesu obsahu přístupného fosforu a draslíku, u hořčíku bylo naopak na dvou hodnocených půdních blocích zaznamenáno zvýšení obsahu.

Závěrem lze zemědělské společnosti z důvodu poklesu obsahu přijatelných živin doporučit, aby deficit, který se začíná u základních živin (hlavně P a K) projevovat nebrala na lehkou váhu a zamyslela se nad tímto nedostatkem a v rámci dostupných možností začala postupně tento nepříznivý stav zlepšovat.

8. Seznam použité literatury

Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfnersixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. (2007): Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*, 98 (17): 3204–3212

Anderson, G. (1975): *Soil component Vol. 1 Organic components*, New York. 528 s.

Auerswald, K., Weigad, S. (1999) Eintrag und Freisetzung von P durch Erosionsmaterial in Oberflächengewässern. *VDLUFA-Schriftenreihe*, 50/1999, 37-54.

Baumgärtel, G., Ebertseder T., Gutser, R., Hege, U., Hüther, J., Lorenz, F., Orlovius, K., Pollehn, J., Pradt, D., Rex, M., Wodsak, H.-P. (2003 aus): Nährstoffverluste landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis. Redaktion Dr. Hagen Trott, BAD, Frankfurt/Main. 36 s.

Babička, L., Poustková, I. (2009): Významný přínos bioplynu. *Listy cukrovarnické a řepařské* 125, č. 9-10. 4 s.

Balík J., Černý J., Kulhánek M. (2012): Bilance dusíku v zemědělství. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, 39 s.

Barber, S. A. (1995): *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 414 s.

Beer, K., Koriath, H., Podlesak, B., K. (1990): *Organische und mineralische Düngung*. Deutscher Landwirtschafts Verlag, Berlin. 68 s.

Beer, W. (1995): *Methodische und standortökologische Untersuchungen zum Nährstoffumsatz im Grünland*. *Dissertationes Botanicae*, J. Cramer Verl., Berlin u. Stuttgart, Band 242, 216 s.

Bielek, P. (1984): *Dusík v půdě a jeho premeny*. Bratislava, *Príroda*, 135 s.

Cosgrove, D. J., Irving, G. C. J. (1976): The kinetics of soil acid phosphatase. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 8 (5), s. 335-340

Čermák, P., Torma, S. (2006): Důležitost bilančního hnojení pro udržitelnou rostlinnou výrobu v České a Slovenské republice. *International Potash Institute*, Switzerland. 72 s.

Čermák P., Dvorský J., Klír J., Kunzová E., Rozsypal R., Hejátková K. (2007): Bilance živin v ekologicky hospodařícím podniku. Metodická pomůcka. Metodická činnost k podpoře zemědělského poradenského systému Ministerstva zemědělství ČR, Náměšť nad Oslavou, 43 s.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Vašák F. (2011): Bilance S v dlouhodobých pokusech. Sborník ze 17. mezinárodní konference „Racionální použití hnojiv“, ČZU v Praze, s. 32 - 39

Černý, J., Shejbalová, Š., Kulhánek, M., Vašák, F. (2013): Využití živin ze statkových hnojiv. Zemědělec č. 38/13, s. 11 - 14

Dommergues Y.von R., Mangenot F. (1970): *Écologie microbienne du sol*. Masson et Cie., 796 s.

Dostál, J. (2010): Průměrné složení digestátů ve VČ regionu (% v č.h.) 2005-2010, In: Sborník ze semináře (2012): Hospodaření na půdě ve vazbě na udržování a zvyšování půdní úrodnosti a ochrana půdy. Institut vzdělávání v zemědělství o.p.s. 40 s.

Eriksen, J., Murphy M. D., Schnug, E. (1998): The soil sulfur cycle. Sulfur in Agroecosystems. kluwer Academic Publisher. s. 39-73

Fecenko J., Ložek J. (2000): *Výživa a hnojení rostlin*. SPU, Nitra, 452 s.

Götz, B., Zethner, G. (1996): *Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft - Der Nährstoffhaushalt im Hinblick auf seine Umweltwirkung am Beispiel des Einzugsgebietes Strem*. Umweltbundesamt (Hrsg.), Monographie 78, Wien. 58 s.

Guo, M., Song, W. (2010): Nutrient and aluminum availability of alum-amended poultry litter: a long-term weathering study. *Plant Soil* 332: 219–231

Hart, S. C., Stark, J. M., Davidson, E. A., Firestone, M. K. (1994): Nitrogen mineralization, immobilization and nitrification. In: Weaver, R. W. (1994): *Methods of Soil Analysis*. USA, Medison, 1035 s.

Hlušek, J., Trávník, K. (2002): Výsledky dlouhodobých hnojařských pokusů. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. ČZU Praha, 149 s.

Hřivna, L., Kryštof, Z. (2002): Výživa rostlin pšenice a kvalita, *Úroda* 59(11): 11–19.

Hřivna, L., Borovička, K., Bízik, J., Veverka, K., Bittner, V. (2003): *Komplexní výživa cukrovky*. Danisco, 68 s.

Ivanič, J., Havelka, B., Knop, K. (1984): *Výživa a hnojení rostlin*. Příroda Bratislava – SZN Praha, 482 s.

Janzen, H. H., Ellert, B. H. (1998): In: *Sulfur in the Environment*. Ed. DG Maynard. Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 11 – 43

Johnson, A. E., Goulding, K. W. T. (1990): Development in K-fertilizer recommendations. *Proc. 22, Coll. IPI, Bern*, s. 177 – 204

Karniš, J. (1986): *Úroda – Pôda a úroda*, s. 369 – 371

Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. (2007): Bilancování rostlinných živin. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 8 s.

Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. (2008): Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 48 s.

Klement, V., Smatanová, M., Trávník, K. (2012): Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 96 s.

Klement, V., Prchalová, R. (2013): Výsledky lyzimetrických měření Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského za 25 let sledování. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Sekce úřední kontroly - Oddělení biologických testací, Brno, 44 s.

Kolář, L., Kužel, S. (2003): Odpadové hospodářství. České Budějovice, 194 s.

Kolbe, H.: Grundnährstoffversorgung ökologisch wirtschaftender Betriebe mit Kali, Phosphor und Schwefel auf leichten Standorten [online]. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freistaat Sachsen [cit. 2015-12-30]. Dostupné z <http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Erzeuger/Tagungsbeitraege/Ackerbautagung_Nord-Ost_2013/3_PKS_Dr._Hartmut_Kolbe.pdf>.

Kopčanová, L. (1987): Mikrobiologia pôdy. Bratislava, Príroda, 247 s.

Kratochvílová, Z., Habart, J., Sladký, V., Jelínek, F., Rosenberg, T., Stupavský, V., Dvořáček, T. (2009): Průvodce výrobou a využitím bioplynu. CZ BIOM - České sdružení pro biomasu, 157 s.

Křen, J., Valtýnová, S., Marada, P., Smutný, V., Míša, P., Lipavský, J. 2011. Metodika hodnocení trvalé udržitelnosti systémů rostlinné produkce pro podmínky ČR. Mendelova univerzita v Brně. Brno. 47 s.

Kubát, J. (1973): Povaha půdního humusu a jeho biosyntéza. Stud. inform, ÚVTI, č. 3

Kubát J. (1980): Přeměny dusíku v půdě a jeho příjem rostlinou. Zb. ÚEB ČSAV, Praha. 49 s.

Kulhánek, M., Balík, J., Černý, J. (2011): Změny obsahu a forem síry v půdách. Racionální použití hnojiv. Sborník ze 17. mezinárodní konference. ČZU. Praha. s. 27-31.

Kulhánek, M., Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Černý, J. (2013): Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. Certifikovaná metodika. ČZU v Praze. 26 s.

Kunzová, E. (2009): Výživa rostlin a hnojení fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. 26 s.

Kunzová, E. (2010): Výživa rostlin a hnojení draslíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. 24 s.

Ladd, J. N., Jackson, R. B. (1982): Biochemistry of ammonification. In: Stevenson, F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils, Agronomy 22, Madison, Wisconsin, USA: 173 – 228.

Leitgeb, S. (1983): Mikrobiologie. 2., přeprac. vyd. Skriptum VŠZ Praha. 337 s.

Madaras, M., Koubová, M., Kulhánek, M., Kunzová, E. (2012): Zásoby draslíku v půdě, jejich charakter a metody stanovení. Uplatněná certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i., Praha – Ruzyně, 35 s.

Marada, P., Večeřová, V., Kamarád, L., Dundálková, P., Mareček, J. (2008): Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem. MZLU v Brně, Institut celoživotního vzdělávání, Důvěrné sdělení, 30 s.

Matula, J. (1999): Výživa a hnojení sírou. Agro – ochrana, výživa, odrůdy, IV (11 – 12), s. 15 – 18

Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Metodika pro praxi. VÚRV, v.v.i. 47 s.

Matušková, I. (1985) Soderžanie i struktura organičeskovo azota v osnovnych počvěnných tipach SSSR. In: Doklady 6. Československé konferencii počvovedov s meždunarodnoj učast'ju. Tom 1, Košice: Dom techniky ČSVTS. 284 s.

Mengel, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. Afl., Gustav Fischer Verl. Jena, 466 s.

Mengel, K., Kirkby, E. A. (1987): Principles of Plant Nutrition. 4th ed. Bern: International Potash Institute, 834 s.

Mengel, K., Kirkby, E. A. (2001): Principles of Plant Nutrition. Dordrecht ; Boston : Kluwer Academic Publishers, 849 s

Mikanová, O., Šimon, T. (2013): Alternativní výživa rostlin dusíkem. Metodika pro Praxi. VÚRV, v.v.i., Praha, 25 s.

MZe (2015): Situační a výhledová zpráva – Půda. Odbor rostlinných komodit MZe, Praha. 134 s.

Moudrý, J. (1997): Přečhod na ekologický způsob hospodaření. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze. 49 s.

Movsumov, Z. R. (1982): Ekologičeskije posledstvija primemenija agrochimikatov. MAB, Puščino. 60 s.

Nelson, D. W., Bremner, J. M. (1970): *Soil Biology and Biochemistry*, 2 (1), s. 1

Nelson, D. W. (1982): Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification: Nitrogen in agricultural soils. Madison, American Society of Agronomy: 327 – 363

Neuberg J., Hrozinková A., Červená H. (1991): Potřeba a využití základních živin v zemědělské výrobě ČR. Studie VTR, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha. 112 s.

Neuerburg, W., – Padel, S. (1994): Ekologické zemědělství v praxi. Nadace pro organické zemědělství FOA, MZe ČR, Agrospoj, Praha, 326 s.

Novák, B. (1970): Biochemie tvorby humusu v půdě a organických hnojivech. Vliv fosforu na mineralizaci a humifikaci. Závěrečná zpráva, VÚRV, Praha – Ruzyně. 29 s.

Nyle C. B., Ray R.W. (2002): *The Nature and Properties of Soil*. Prentice Hall, New Persey, 960 s.

OECD and EUROSTAT (2007): Gross phosphorus balances. Handbook. 18 s. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z <<http://www.oecd.org/greengrowth/sustainableagriculture/40820234.pdf>>.

Olf, H. – W., Fuchs, M., Ortseifen, U., von Schintling-Horny, L., von Chappuis, A., Zerulla, W., Erdle, K. (2012): Schwefel-Düngung effizient gestalten. 1. Auflage. DLG-Merkblatt 373, DLG e. V. Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft, 26 s.

Ondrišík, P. (1991): Transport živín z pôdy priesakovými vodami. *Rostl. Vyr.*, 37 (1): 9–14

Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Dakora, F. D., Bhattarai, S., Maskey, S. L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D. F., Hauggaard-Nielsen, H., Jensen, E. S. (2009): The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48, 1–17.

Pedersen, C. A., Knudsen, L., Schnug, E. (1998): Sulphur fertilisation. Sep.: Sulphur in agroecosystems. Ed.: E. Schnug. Series: Nutrients in ecosystems. Vol. 2. Kluwer Academic Publishers. s. 115-134

Poffet, G. (2008): The Swiss environmental policy and the use of biomass. *Proceedings of the international congress CODIS 2008*. Solothurn, Switzerland, 310 s.

Quémener, J. (1986): Nutrient balances and the need for potassium. Proc. 13. Congress. IPI, Bern, s. 41 – 72

Richter, R., Hlušek, J. (1994): Výživa a hnojení rostlin, 1. Obecná část. MZLU v Brně, 171 s.

Richter, R., Římovský, K. (1996): Organická hnojiva, jejich výroba a použití. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, 40 s.

Richter R., Hlušek J. (1999): Výživa a hnojení rostlin. MZLU, Brno, 187 s.

Richter, R., Hlušek, J. (2003): Půdní úrodnost. ÚZPI, Praha, s. 31 – 34

Richter, R., Kubát, J. (2003): Organická hnojiva, jejich výroba a použití. 2 vyd. ÚZPI Praha. 56 s.

Rikanová, J. (1992): Studium fosfátového režimu v závlahách. Kandidátská disertační práce. VŠZ v Brně, 145 s.

Růžek, P., Kusá, H., Vavera, R. (2012): Jarní hnojení řepky ozimé dusíkem a sírou. Agromanuál 3 (7): 76-78

Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G. Hartge, K.H., Schwertmann, U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 521 s.

Spitzl, M., Garz, J. (1974): Quantitative Veränderungen von organisch gebundenen Stickstoff in Abhängigkeit von Düngung und Bodentiefe. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 18., 691 – 698.

Stewart, W. D. P. (1975): Fixation by free – Living Microorganismus. IBP, Cambridge Univ. Press, Vol. 6. s. 39–56.

Šarapatka B., Pokorný E. (2007): Bilance živin v ekologickém zemědělství. In: Ekologické zemědělství 2007, Sborník z konference. ČZU v Praze. s. 43–45

Šarapatka B., Abrahamová M., Čížková S., Dotlačil L., Hluchý M., Křen J., Kuras T., Laštůvka Z., Lososová Z., Pokorný E., Pokorný J., Pokorný R., Salašová A., Tkadlec E., Tuf I.H., Vácha M., Zámečník V., Zeidler M., Žalud Z. (2010): Agroekologie – Východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut, o.p.s., Olomouc, 440 s.

Šimek, M. (2000): Nitrifikace v půdě – terminologie a metodologie. Rostlinná výroba. 46 (9): 398 – 395

Šimek, M. (2003): Základy nauky o půdě. 3. Biologické procesy a cykly prvků, Biologická fakulta JU, České Budějovice, 151 s.

Škarda, M., Jokešová, J. (1980): Hnojení kejdou prasat. Závěrečná zpráva VÚ, VÚRV Praha-Ruzyně. 35 s.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., Havlin, U. (1993): Soil Fertility and Fertilizers. Dentice Hall, New Jersey. 499 s.

Tlustoš, P., Pavlíková, D., Balík, J., Száková, J. (2001): Koloběh síry v půdě a v prostředí. Sborník ze 7. mezinárodní konference „Racionální použití hnojiv“, ČZU v Praze, s. 20-26

Tlustoš, P., Kaplan, L., Dubský, M., Bazalová, M., Száková, J. (2014): Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic. Certifikovaná metodika. ČZU v Praze, 25 s.

Unkovich, M. J., Pate, J.S. (2000): An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. Field Crops Res. 65, 211–228.

Vach, M., Javůrek, M. (2007): Ve struktuře rostlinné výroby je prospěšné využívat meziplodiny. Úroda 55 (6), 58-60.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007): Výživa polních a zahradních plodin, Profi Press s.r.o., Praha, 176 s.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012): Výživa zahradních rostlin. Praha: Academia. 568 s.

Vestreng, V. (2008): European air pollution emission trends – review, validation and application. Dissertation presented for the degree of doctor scientiarum. Department of Geosciences Meteorology and Oceanography Section University of Oslo Norway. 142 s.

Vostal, J., Matousch, O. (1987): Bilance dusíku v zemědělství. VŠZ Praha, 102 s.

Walley, F. L., Clayton, G. W., Miller, P. R., Carr, P. M., Lafond, G. P. (2007): Nitrogen economy of pulse crop production in the Northern Great Plains. Agron. J. 99: 1710–1718.

Zorn, W., Heß, H., Albert, L., Kolbe, H., Kerschberger, M., Franke, G. (2007): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. 2. Auflage. Schriftenreihe Heft 7, Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 186 s.

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/png/oIX10.png> [online],[cit.2016-03-03]

9. Seznam příloh

Příloha I. Výnosy na vybraných půdních blocích v období 2008 – 2014

Tab. č. 57 PB Březinka (68,51 ha)

Tab. č. 58 PB Jiříkovo (16,93 ha)

Tab. č. 59 PB Kocourovské (58,16 ha)

Tab. č. 60 PB U akátu (35,84 ha)

Příloha II. Průměrný odběr živin ve sklizených produktech u vybraných plodin

Tab. č. 61 Průměrný odběr živin ve sklizených produktech

Příloha III. Používaná minerální hnojiva v zemědělské společnosti

Tab. č. 62 Obsah živin v použitých hnojivech (%)

Příloha IV. Používaná organická hnojiva v zemědělské společnosti a průměrný přívod živin v těchto hnojivech do půdy

Tab. č. 63 Obsah živin v kejďě skotu a digestátu (zdroj: vlastní rozbor Meclovská zemědělská a.s.)

Tab. č. 64 Obsah živin v hnoji skotu, a močůvce prasat (Klír *et al.*, 2008)

Příloha V. Výživa a hnojení na vybraných půdních blocích v letech 2008 – 20014

Tab. č. 65 PB Březinka (68,51 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Tab. č. 66 PB Jiříkovo (16,93 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Tab. č. 67 PB Kocourovské (58,16 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Tab. č. 68 PB U akátu (35,84 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Příloha VI. Výsledky AZZP na vybraných půdních blocích v letech 2003 – 2015

Tab. č. 69 PB Jiříkovo (16,93 ha)

Tab. č. 70 PB Kocourovské (58,16 ha)

Tab. č. 71 PB Březinka (68,51 ha)

Tab. č. 72 PB U akátu (35,84 ha)

10. Přílohy

Příloha I. Výnosy na vybraných půdních blocích v období 2008 – 2014

Tab. č. 57 PB Březinka (68,51 ha)

Rok	Plodina	Výnos (t/ha)
2007 – 2008	Hořčice (vymrzající meziplodina)	5,0
2008	Jarní ječmen △	2,08
2008	Jetel luční (sušina)	1,7
2009	Jetel luční (sušina)	4,0; 3,0
2010	Pšenice ozimá	5,66
2011	Ječmen ozimý	5,33
2012	Řepka ozimá	2,1
2013	Pšenice ozimá	5,0
2014	Kukuřice silážní	38,0

Tab. č. 58 PB Jiříkovo (16,93 ha)

Rok	Plodina	Výnos (t/ha)
2007 – 2008	Hořčice (vymrzající meziplodina)	5,0
2008	Bob △	5,0
2008	Jetel luční (sušina)	1,75
2009	Jetel luční (sušina)	5,5; 5,0
2010	Pšenice ozimá	4,24
2011	Ječmen ozimý	4,37
2012	Řepka ozimá	2,06
2013	Pšenice ozimá	3,36
2014	Kukuřice silážní	35,0

Tab. č.59 PB Kocourovské (58,16 ha)

Rok	Plodina	Výnos (t/ha)
2008	Pšenice ozimá	4,7
2008 – 2009	Hořčice (vymrzající meziplodina)	5,0
2009	Jarní ječmen △	2,2
2009	Jetel luční (sušina)	2,0
2010	Jetel luční (sušina)	6,0; 7,0
2011	Ječmen ozimý	5,78
2012	Řepka ozimá	2,28
2013	Pšenice ozimá	5,5
2014	Kukuřice silážní	39,6

Tab. č. 60 PB U akátu (35,84 ha)

Rok	Plodina	Výnos (t/ha)
2007 – 2008	Hořčice (vymrzající meziplodina)	5,0
2008	Bob △	5,5
2008	Jetel luční (sušina)	1,8
2009	Jetel luční (sušina)	6,5; 5,5
2010	Pšenice ozimá	5,3
2011	Ječmen ozimý	5,85
2012	Řepka ozimá	2,48
2013	Pšenice ozimá	5,6
2014	Kukuřice silážní	30,0

Příloha II. Průměrný odběr živin ve sklizených produktech u vybraných plodin

Tab. č. 61 Průměrný odběr živin ve sklizených produktech (zpracováno podle Klír *et al.*, 2008; Zorn *et al.*, 2007).

Plodina	Produkt	Sušina (%)	HP : VP	Odběr živin (kg/t)				
			1,0 :	N	P	K	Mg	S
Pšenice ozimá (12 % bílkovin)	zrno	85		17,9	3,3	3,7	1,2	2,0
	sláma	85		5,2	0,9	10,0	1,2	1,5
	celkem		0,8	22,1	4,0	11,7	2,2	3,2
Ječmen ozimý	zrno	85		17,0	3,4	5,0	1,2	2,0
	sláma	85		5,5	0,9	11,0	1,2	1,5
	celkem		0,7	20,9	4,0	12,7	2,2	3,2
Jarní ječmen	zrno	85		16,5	3,5	4,5	1,2	2,0
	sláma	85		6,0	1,0	11,0	1,2	1,5
	celkem		0,6	20,1	4,1	12,7	2,2	3,2
Řepka ozimá	semeno	90		33,5	7,0	8,3	3,0	5,0
	sláma	85		6,6	1,3	19,0	0,9	2,0
	celkem		2,2	48,0	9,9	50,1	4,5	8,2
Jetel luční	zelená hmota	21		5,1	0,5	4,4	0,9	1,0
Kukuřice na siláž	zelená hmota	30		3,7	0,6	3,8	0,74	0,5
Bob obecný	zelená hmota	20		4,8	0,6	3,9	0,3	1,1

Příloha III. Používaná minerální hnojiva v zemědělské společnosti

Tab. č. 62 Obsah živin v použitých hnojivech (%)

Hnojivo	Obsah jednotlivých živin					
	N	P	K	Ca	Mg	S
LAV	27,5			8		
LAD	27,5			4	3	
LAS	24					6
DAM 390	30					
Močovina	46					
Amofos	12	22,9				
Draselná sůl 60%			50			

Příloha IV. Používaná organická hnojiva v zemědělské společnosti a průměrný přívod živin v těchto hnojivech do půdy

Tab. č. 63 Obsah živin v kejdě skotu a digestátu (zdroj: vlastní rozbor Meclovská zemědělská a.s.)

Organické hnojivo	pH	C : N	Obsah v čerstvém stavu (%)			Obsah živin v kg/t			
			sušina	OL	N _{celk.}	P	K	Mg	S*
Kejda skotu	7,23	5,18	4,65	3,62	0,349	0,452	1,88	0,467	0,4 ²
Digestát	7,94	5,96	7,16	5,38	0,451	0,765	2,97	0,596	0,8 ³

*Obsah síry zde nebyl hodnocen; ² Klír *et al.*, 2008, ³ průměrný obsah dle Tlustoš *et al.*, 2014

Tab. č. 64 Obsah živin v hnoji skotu, a močůvce prasat (Klír *et al.*, 2008)

Organické hnojivo	Obsah v čerstvém stavu (%)		Obsah živin v kg/t				
	sušina	OL	N	P	K	Mg	S
Hnůj skotu	23	17	5,0	1,4	5,9	0,9	1,0
Močůvka prasat	2,4	2,0	2,8	0,2	2,1	0,2	0,1

Příloha V. Výživa a hnojení na vybraných půdních blocích v letech 2008 – 2014

Tab. č. 65 PB Březinka (68,51 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Rok	Plodina	Minerální hnojiva (kg/ha)									
		N-	dávka	P-	dávka	K-	dávka	Mg-	dávka	S-	dávka
2007 – 2008	Hořčice bílá										
2008	Jarní ječmen △	LAD	350								
2008	Jetel luční										
2009	Jetel luční										
2010	Pšenice ozimá	LAV	160								
		DAM	150								
2011	Ječmen ozimý	LAV 27%	320								
		DAM	120								
2012	Řepka ozimá	LAS	280								
		DAM	190								
		DAM	190								
2013	Pšenice ozimá	LAV	220								
		DAM	160								
2014	Kukuřice silážní	Močovina	300	Amofos	50						

pokračování tab. č. 65

Rok	Plodina	Organická hnojiva (t/ha)					
		Hnůj	Kejda skotu	Digestát	Močůvka prasat	Sláma	Zaorávka meziplodiny
2007 – 2008	Hořčice bílá						
2008	Jarní ječmen△						5
2008	Jetel luční						
2009	Jetel luční						
2010	Pšenice ozimá						
2011	Ječmen ozimý	25	40			4,53	
2012	Řepka ozimá						
2013	Pšenice ozimá				10	4,62	
2014	Kukuřice silážní			40			

Tab. č. 66 PB Jiříkovo (16,93 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Rok	Plodina	Minerální hnojiva (kg/ha)									
		N-	dávka	P-	dávka	K-	dávka	Mg-	dávka	S-	dávka
2007 – 2008	Hořčice bílá										
2008	Bob obecný △										
2008	Jetel luční										
2009	Jetel luční										
2010	Pšenice ozimá	LAV	100								
		DAM	150								
2011	Ječmen ozimý	DAM	195								
		DAM	110								
2012	Řepka ozimá	LAS	290								
		DAM	200								
		DAM	190								
2013	Pšenice ozimá	LAV	200								
		DAM	180								
		DAM	110								
2014	Kukuřice silážní	Močovina	300	Amofos	50						

pokračování tab. č. 66

Rok	Plodina	Organická hnojiva (t/ha)					
		Hnůj	Kejda skotu	Digestát	Močůvka prasat	Sláma	Zaorávka meziplodiny
2007 – 08	Hořčice bílá						
2008	Bob obecný △						5
2008	Jetel luční						
2009	Jetel luční						
2010	Pšenice ozimá						
2011	Ječmen ozimý	35					
2012	Řepka ozimá						
2013	Pšenice ozimá	20				4,5	
2014	Kukuřice silážní	25		20			

Tab. č. 67 PB Kocourovské (58,16 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Rok	Plodina	Minerální hnojiva (kg/ha)									
		N-	dávka	P-	dávka	K-	dávka	Mg-	dávka	S-	dávka
2008	Pšenice ozimá	LAV	200			DS 60%	100				
		DAM	225								
2008 - 2009	Hořčice bílá										
2009	Jarní ječmen △										
2009	Jetel luční										
2010	Jetel luční										
2011	Ječmen ozimý	LAV	330								
		DAM	195								
2012	Řepka ozimá	LAS	285								
		DAM	190								
		DAM	190								
2013	Pšenice ozimá	LAV	215								
		DAM	190								
		DAM	120								
2014	Kukuřice silážní	Močovina	300	Amofos	50						

pokračování tab. č. 67

Rok	Plodina	Organická hnojiva (t/ha)					
		Hnůj	Kejda skotu	Digestát	Močůvka prasat	Sláma	Zaorávka meziplodiny
2008	Pšenice ozimá						
2008 - 2009	Hořčice bílá						
2009	Jarní ječmen△						5
2009	Jetel luční						
2010	Jetel luční						
2011	Ječmen ozimý	25	10				
2012	Řepka ozimá						
2013	Pšenice ozimá			24		4,56	
2014	Kukuřice silážní	25		15			

Tab. č. 68 PB U akátu (35,84 ha) – hnojení minerálními a organickými hnojivy

Rok	Plodina	Minerální hnojiva (kg/ha)									
		N-	dávka	P-	dávka	K-	dávka	Mg-	dávka	S-	dávka
2007 – 2008	Hořčice bílá										
2008	Bob obecný △										
2008	Jetel luční										
2009	Jetel luční										
2010	Pšenice ozimá	LAV	150								
		DAM	160								
2011	Ječmen ozimý										
2012	Řepka ozimá	LAS	285								
		DAM	190								
2013	Pšenice ozimá	LAD	220								
		DAM	190								
		DAM	85								
2014	Kukuřice silážní	Močovina	300	Amofos	50						

pokračování tab. č. 68

Rok	Plodina	Organická hnojiva (t/ha)					
		Hnůj	Kejda skotu	Digestát	Močůvka prasat	Sláma	Zaorávka meziploidy
2007 – 08	Hořčice bílá						
2008	Bob obecný △						5
2008	Jetel luční						
2009	Jetel luční						
2010	Pšenice ozimá						
2011	Ječmen ozimý	26	25	40		4,24	
2012	Řepka ozimá						
2013	Pšenice ozimá			20		5,46	
2014	Kukuřice silážní			15		2,24*	

*1/2 slámy z PB byla odvezena

Příloha VI. Výsledky AZZP na vybraných půdních blocích v letech 2003 – 2015

Tab. č. 69 PB Jiříkovo (16,93 ha)

Rok	Hodnota pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)			
		P	K	Mg	Ca
2003	6,0	44	112	128	1247
2003	6,3	44	115	213	1870
2003	6,2	44	113	170	1558
2009	5,6	55	205	130	1410
2009	6,0	161	283	122	1740
2009	5,8	108	244	126	1575
2015	5,6	59	164	162	1410
2015	5,4	80	212	160	1420
2015	5,5	69	188	161	1415

Tab. č. 70 PB Kocourovské (58,16 ha)

Rok	Hodnota pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)			
		P	K	Mg	Ca
2003	6,5	38	128	179	1435
2003	5,8	46	205	139	1302
2003	6,3	42	176	174	1397
2003	6,6	52	186	192	1612
2003	6,6	46	124	200	1553
2003	6,4	45	164	177	1460
2009	5,7	50	185	123	1380
2009	6,0	60	224	150	1620
2009	5,7	47	203	186	1730
2009	6,2	79	355	190	1880
2009	5,6	33	135	170	1490
2009	5,8	54	220	164	1620
2015	5,8	20	131	209	1450
2015	5,5	37	156	142	1330
2015	5,5	34	129	147	1170
2015	6,1	36	169	240	1550
2015	6,0	30	133	176	1280
2015	5,8	31	144	183	1356

Tab. č. 71 PB Březinka (68,51 ha)

Rok	Hodnota pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)			
		P	K	Mg	Ca
2003	5,3	127	243	114	961
2003	6,1	63	90	140	1402
2003	6,4	46	108	208	1614
2003	6,2	45	140	215	1922
2003	6,5	51	162	266	2580
2003	6,4	27	104	188	1572
2003	6,0	52	122	249	1998
2003	6,3	33	136	252	2133
2003	6,5	32	156	210	2036
2003	6,2	53	140	205	1802
2009	5,3	44	154	203	1870
2009	5,4	27	116	171	1410
2009	5,1	24	121	230	1710
2009	5,0	75	122	122	1220
2009	5,7	44	182	230	2090
2009	5,1	34	178	153	1440
2009	5,4	37	331	352	2390
2009	5,5	55	191	249	2310
2009	4,7	36	167	128	1250
2009	5,2	42	174	204	1743
2015	5,1	55	168	205	1780
2015	4,9	34	99	134	1220
2015	4,8	46	155	140	1310
2015	5,5	46	126	170	1450
2015	5,8	56	152	252	1870
2015	5,3	24	126	169	1250
2015	5,6	24	141	235	1360
2015	5,1	32	171	181	1450
2015	5,6	36	176	182	1560
2015	5,3	39	146	185	1472

Tab. č. 72 PB U akátu (35,84 ha)

Rok	Hodnota pH	Obsah přístupných živin (mg/kg půdy)			
		P	K	Mg	Ca
2003	6,6	42	207	377	2351
2003	6,3	46	253	250	1671
2003	6,6	74	203	169	1461
2003	6,7	36	131	335	2136
2003	6,6	50	199	283	1905
2009	5,8	36	122	376	2240
2009	6,0	34	145	274	1870
2009	6,3	195	501	239	1750
2009	6,3	194	516	243	1780
2009	6,1	115	321	283	1910
2015	6,0	23	145	295	1800
2015	5,9	45	229	276	1710
2015	5,7	105	161	163	1320
2015	5,5	35	107	215	1600
2015	5,8	52	161	237	1608