

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Hodnocení bilance živin a změn pH v zemědělském  
podniku**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: František Širůček**

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

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hodnocení bilance živin a změn pH v zemědělském podniku" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. 4. 2015 \_\_\_\_\_

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Jindřichu Černému, Ph. D. za cenné připomínky a trpělivost. Také děkuji slečně Rozárce Fadrné za pomoc při zpracování výsledků a psychickou podporu.

# Hodnocení bilance živin a změn pH v zemědělském podniku

## Souhrn

Práce je zaměřena na stanovení a zhodnocení bilance živin a vyhodnocení půdní reakce v malém zemědělském podniku, který se zabývá rostlinnou i živočišnou výrobou.

Bilance živin pro dusík, fosfor a draslík je hodnocena v systémech „faremní bilance“, „povrchové bilance“ a „bilance na jednotlivé pozemky“. Ve vstupních zdrojích je zahrnuto množství živin dodaných v minerálních i organických hnojivech, u dusíku rozšířené o získané množství symbiotickou fixací bobovitých plodin. Výstupy tvoří vždy obsahy jednotlivých živin odčerpaných ve výnosech pěstovaných plodin včetně započtených ztrát. Součástí práce je vyhodnocení bilance živin a změny pH na základě agrochemických zkoušení půd (dále jen AZP) podniku z let 2003 a 2009. Výsledky bilancí dusíku se v hodnoceném podniku pohybují ve všech případech díky konvenčnímu způsobu minerálního hnojení v kladných hodnotách. Celková roční bilance dusíku byla vyhodnocena mezi +19 až +31 kg/ha, což je optimální. U fosforu a draslíku se hodnoty bilance dostávají převážně do záporných hodnot (-4 až -2 kg P/ha a -12 až +21,7 kg K/ha), a však jsou hodnoceny stále jako optimální. Půdní reakce je na většině ploch slabě kyselá, s průměrnou hodnotou pH 5,8. Vyhodnocené výsledky jsou na závěr mezi sebou porovnány a použity jako nástroje pro optimalizaci výživy rostlin na zemědělské půdě. Výsledné hodnoty pak mohou sloužit jako podklady pro vypracování plánu hnojení a zlepšení efektivity toku živin v podniku.

**Klíčová slova:** agrochemické vlastnosti půd, bilance živin, hnojení, pH půdy

# **Assessment of nutrient balance and pH changes on the farm**

## **Summary**

The thesis is focused on the identification and evaluation of nutrient balance and assessment of soil reaction on a small farm with plant and livestock production. Nutrient balance of nitrogen, phosphorus and potassium is assessed in the systems of „farm gate balance“, „soil surface balance“ and „balance on individual fields“. The inputs include the amount of nutrients added in mineral and organic fertilizers, nitrogen is extended through the amount obtained by leguminosae symbiotical fixation. The outputs are always the contents of individual nutrients, drawn in yields of cultivated plants including potential counted losses. Part of the work aims to assess nutrient balance and pH changes on the basis of agrochemical soil testing on the farm in years 2003 and 2009. The results of nitrogen balance on the evaluated farm flow in positive values in all cases thanks to the conventional way of mineral fertilization. Total nitrogen balance was calculated from +19 to +31 kg/ha and evaluated as optimal. The values of phosphorus and potassium are getting into negative numbers (-4 to -2 kg P/ha and -12 to +21.7 kg K/ha), however, they are still evaluated as optimal. The soil reaction is weakly acidic with average value pH 5.8 on the very most of the fields. Finally, the evaluated results are compared among each other and used as instruments for optimization of plant nutrition on agricultural soil. The resulting values can then serve as basis for developing a plan of fertilization and can improve an efficiency of nutrient flow on the farm.

**Key words:** agrochemical soil properties, nutrient balance, fertilization, soil pH

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Cíl práce a hypotézy</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Literární přehled</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1 Bilancování živin</b> .....	<b>7</b>
3.1.1 Typy bilancí.....	9
Povrchová bilance.....	9
Faremní bilance.....	10
Bilance organických látek v půdě.....	11
3.1.2 Půdní úrodnost.....	13
Prvky půdní úrodnosti.....	14
3.1.3 Bilance dusíku.....	14
Ztráty dusíku.....	16
Vyplavování dusíku.....	16
Ztráty do atmosféry.....	17
3.1.4 Bilance fosforu.....	17
3.1.5 Bilance draslíku.....	18
3.1.6 Bilance vápníku.....	18
<b>3.2 Půdní reakce</b> .....	<b>18</b>
3.2.1 Příčiny kyselosti půd.....	19
3.2.2 Vliv pH na příjem živin.....	20
3.2.3 Vliv živin na změnu pH.....	20
<b>3.3 Hnojení pšenice ozimé</b> .....	<b>21</b>
3.3.1 Tvorba výnosu.....	21
3.3.2 Hnojení dusíkem.....	22
3.3.3 Základní hnojení.....	22
3.3.4 Regenerační hnojení.....	23
3.3.5 Produkční hnojení.....	23
3.3.6 Vzájemné ovlivňování živin v půd.....	23
<b>4 Materiál a metodika</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Charakteristika podniku</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2 Metody a hodnocení bilance</b> .....	<b>27</b>
4.2.1 Faremní bilance.....	27
4.2.2 Povrchová bilance na úrovni podniku.....	27
4.2.3 Bilance na jednotlivých pozemcích.....	29
4.2.4 Bilance živin na základě AZP.....	31
4.2.5 Stanovení půdní reakce a potřeby vápnění.....	31
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1 Faremní bilance</b> .....	<b>33</b>
<b>5.2 Povrchová bilance na úrovni podniku</b> .....	<b>35</b>
<b>5.3 Povrchová bilance na jednotlivých pozemcích</b> .....	<b>37</b>
<b>5.4 bilance živin a změna pH na základě AZP</b> .....	<b>37</b>
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>40</b>
<b>6.1 Faremní bilance</b> .....	<b>40</b>
<b>6.2 Povrchová bilance</b> .....	<b>40</b>

<b>6.3</b>	<b>Povrchová bilance na jednotlivých pozemcích.....</b>	<b>41</b>
<b>6.4</b>	<b>Bilance a změna pH podle AZP.....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury.....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>48</b>

# 1 Úvod

Předmětem hodnocení této práce je rodinná farma o rozloze 96 hektarů zemědělské půdy, která vlivem legislativních změn o ustájení skotu přesouvá svůj střed zájmu na rostlinnou výrobu. Vzhledem k malým rozlohám půdy nebyly v podniku doposud navrhovány žádné osevní postupy, ani komplexní plány hnojení, které by zaručovaly kontrolu nad koloběhem živin. Z výnosů plodin a výsledků agrochemických zkoušení půd vyplývá, že kritéria pro optimální využití půdy zcela nesplňují požadavky pro stabilní úrodu. Na těchto základech bylo snahou vypracovat tuto práci, která by popsala současnou situaci ohledně bilance živin a mohla sloužit jako podklad pro optimalizaci půdní úrodnosti v podniku. Hodnocení bilance živin na úrovni podniku vypovídá nejen o úrovni toku živin, ale může sloužit také pro ekonomické zhodnocení jednotlivých vstupů. Původní význam tématu bilance živin v zemědělství vychází ze situace, že výživa lidí je jednoznačně odkázána na produkci zemědělských plodin. Produkce dostatečného množství kvalitních potravin úzce souvisí s komplexní péčí o půdní úrodnost. Bez doplňování odčerpaných živin by tedy potravinová produkce nebyla udržitelná.

Podle celorepublikových průzkumů ÚKZUZ (Klement et Sušil, 2013) se prudké snížení spotřeby minerálních dusíkatých hnojiv po roce 1990 se projevilo ve snížení výnosů, a tím i odběru živin. Půdní zásoba přístupného fosforu dlouhodobě mírně klesá a ve srovnání podle kritérií hodnocení má negativní trend. U draslíku je obecně patrná stagnace zásoby půd touto živinou, i když dlouhodobé snížení spotřeby draselných hnojiv je podobné jako u fosforu. Průměrná hodnota půdní reakce zemědělské půdy v ČR je 6,0 stupně pH. Z výsledků sledovaných půdních vlastností je patrný trend nárůstu silně kyselých a kyselých půd, jako následek stále trvajících silného snížení spotřeby vápenatých hnojiv. Půda s extrémně kyselou, silně kyselou a kyselou půdní reakcí (tj. s pH do 5,5) představuje téměř 33 % prozkoušené výměry, což je více než 1 100 000 ha zemědělské půdy. Dalších 41 % výměry zemědělské půdy vykazuje slabě kyselou půdní reakci (pH 5,6 až 6,5). Pravidelně vápnit (alespoň udržovací dávkou) by bylo třeba celkem 74 % zemědělské půdy.



## 2 Cíl práce a hypotéza

Cílem bakalářské práce bylo popsat a vyhodnotit bilanci živin v malém zemědělském podniku s přihlédnutím k agrochemickým vlastnostem půdy a systému hnojení. Dále na základě výsledků agronomických indikátorů navrhnout taková opatření, která by vedla k optimalizaci rostlinné výroby podniku.

1. hypotéza: Předpokládá se, že optimalizace půdní zásoby živin zlepšuje výnosové prvky.
2. hypotéza: Předpokládá se, že hodnota pH půdy ovlivňuje dostupnost živin pro rostliny a tím určuje výnosové prvky plodin na jednotlivých polích.
3. hypotéza: Předpokládá se, že poměr živin v půdě určuje jejich přijatelnost pro rostliny.

## 3 Literární přehled

### 3.1 Bilancování živin

Bilancování živin je vhodným prostředkem pro vyhodnocení situace v hospodaření se živinami na různých úrovních agro-ekosystému. Bilanční princip je základem i většiny metodických návodů výživy rostlin a hnojení (Klír, 2002). Balance (rozpočty) živin zahrnují vstupy a výstupy z definovaného systému za určený čas (Oenema et al., 2003). Klír (2002) dále uvádí, že k udržení půdní úrodnosti by měly být vstupy živin v rovnováze s jejich výstupy z půdy.

Balance mohou být tvořeny pro všechny typy prvků (rostlinných živin, kovů) a pro všechny typy ekosystémů. Účel tvorby bilanci živin je obvykle definován jejich uživatelem. Tři hlavní účely mohou být rozlišovány zaprvé kvůli zlepšení pochopení koloběhu živin a jejich vstupům a výstupům. Zadruhé jako ukazatel výkonnosti, smyslu investic živin, jak pro studie i praxi, a zatřetí jako regulační politický nástroj. Ve většině studií dominují první dva účely; studia poskytují informace o procesech koloběhu živin, přispívají k porozumění vztahů mezi vstupy a výstupy živin a napomáhají monitorování a vyhodnocování účinnosti při plánování nutričního řízení a environmentální politiky (Oenema et al., 2003).

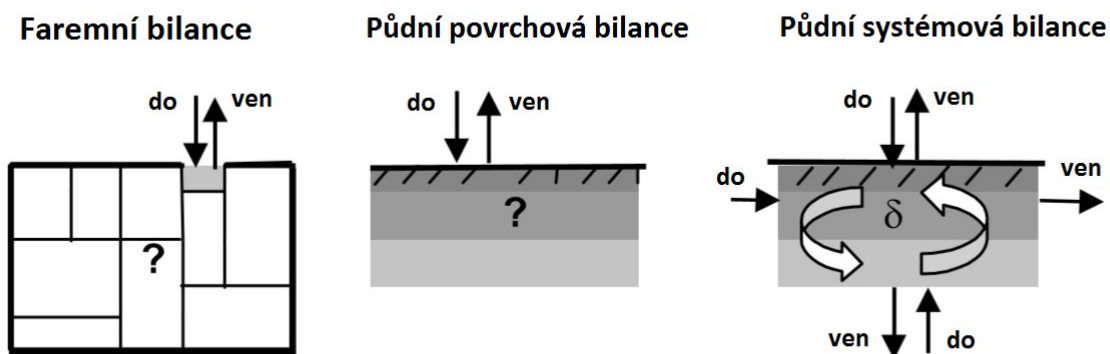
Balance živin vychází z rozdílů mezi vstupy a výstupy. Rozdílné produkční systémy však mohou vést k rozdílným formám nerovnováhy, způsobující problémy zcela rozdílného charakteru. Zemědělské postupy s vysokými externími vstupy (např. v Evropě) mohou vést ke kladné bilanci živin v půdách, které přispívají ke znečištění vod, ovzduší apod. Naopak zemědělské postupy s nízkými vnějšími vstupy způsobují ochuzení zásoby živin v půdě se skutečně hrozícím omezením zemědělské produkce v budoucnosti. 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. Některá tato data ale mohou být stanovena s využitím převodních funkcí. Určení správné bilance mezi živinami aplikovanými do půdy a živinami odebranými např. plodinami je nezbytné k zajištění optimálního využití zdrojů a zamezení možného znečištění životního prostředí, často spojené s hnojením dusíkem (Balík et al., 2012).

Tabulka 1: Vstupní a výstupní parametry určující půdní bilanci živin podle Stoorvogel et Smaling (1998)

Vstupy (In)		Výstupy (Out)	
1	Minerální hnojiva	1	Odběr hlavními produkty
2	Organická hnojiva	2	Odběr vedlejšími produkty
3	Mokrý a suchá depozice	3	Vyplavování
4	Fixace (N)	4	Plynné ztráty
5	Sedimentace	5	Povrchový smyv a eroze

Rozeznáváme dva hlavní typy bilanci: faremní bilanci („farm gate balance“) a povrchovou bilanci („soil surface balance“). Povrchová bilance je jednoduchá kalkulace, jejímž výsledkem je roční rozdíl mezi „kontrolovanými“ vstupy živin půdy a výstupy z půdy. Důležitým pojmem bilancování jsou tzv. nevyhnutelné ztráty, zejména u dusíku. I když jsou tyto ztráty neodstranitelné, lze je některými opatřeními minimalizovat. Výsledkem bilance dusíku je zpravidla přebytek, kterým je povrchová bilance propojena s bilancí N v půdě (akumulace), ve vodě (ztráty vyplavením) a ovzduší (ztráty denitrifikací a volatilizací). V případě fosforu a draslíku je bilanční přebytek nebo nedostatek vyrovnáván ve vztahu k zásobě živin v půdě (obohacování zásob nebo čerpání) (Klír 2002).

Obrázek 1: Příklady různých systémů hodnocení toků živin podle Onema et al. (2003)



Na obrázku 1 jsou znázorněny koncepční rozdíly v hranicích a tocích živin v rámci faremní bilance, povrchové půdní bilance a systémové půdní bilance. Při pohledu na faremní bilanci je patrné, že živiny vstupují a vystupují ze systému skrze „bránu farmy“, zatímco v případě povrchové půdní bilance jsou hodnoceny živiny, které proudí skrze povrch půdy. Třetí dimenzí toku živin, která je charakteristická kromě všestranných vstupů a výstupů živin i jejich cirkulací, je tzv. systémová půdní bilance (Onema et al., 2003).

### 3.1.1 Typy bilancí

#### Povrchová bilance

Příkladem povrchové bilance („soil surface balance“) je bilance živin podle metodiky Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD, Agriculture Directorate, Environment Division), jako součást systému agro-environmentálních indikátorů. OECD (2008) mimo jiné uvádí, že intenzita přebytku bilance živin na hektar zemědělské půdy napříč OECD klesla o 17 % u dusíku a o 37 % u fosforu.

Povrchová půdní bilance je kalkulace, jejímž výsledkem je roční rozdíl mezi vstupy živin do půdy a výstupy z půdy. Hranice sledovaného systému mohou být vymezeny na různých úrovních – pole, výměra zemědělské půdy, regionu nebo státu. Z časového hlediska se nejčastěji využívá období jednoho roku, případně 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 (Čermák et al., 2007). Na straně výstupů již není 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. 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. Kladný výsledek bilance dusíku, tedy jeho bilanční přebytek, představuje ztráty. V přebytku jsou ještě zohledněny ztráty, vzniklé vlivem výše uvedených přeměn dusíků v půdě a procesy s přeměnami souvisejícími (denitrifikace, volatilizace, vyplavování apod.) (Balík et al., 2012).

Tabulka 2: Vstupy a výstupy půdní povrchové bilance podle Čermáka 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)

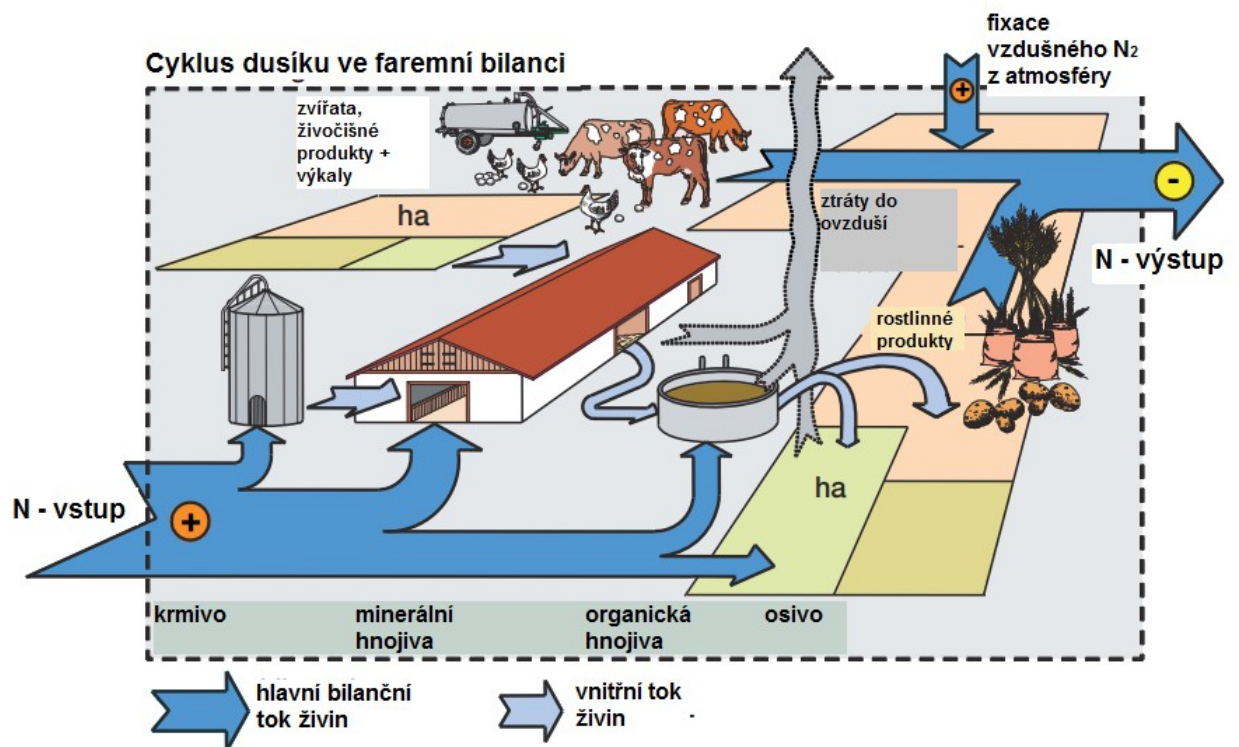
Hodnocení povrchové bilance se může být prováděno na úrovni celého podniku, nebo na jednotlivých konkrétních pozemcích. Z hlediska výpočtu bilance je způsob hodnocení na jednotlivých pozemcích přesnější, neboť jsou posuzovány přesné vstupy a výstupy na každý

pozemek, případně je možné zohlednit půdní vlastnosti ve vztahu k přeměnám dusíku v půdě, eventuálně 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).

### **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. Do vstupů je zahrnován například dusík vstupující do jednotky v podobě hnojiv mimo zemědělský podnik (minerální hnojiva, jiné zdroje hnojiv – např. čistírenské kaly apod.), ale také dusík v krmných směsích a dalších materiálech do zemědělského podniku vstupujících. V exportu je zahrnován dusík v prodaných komoditách (plodiny, produkty živočišné výroby). 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.). Bilanční položky jsou znázorněny v tabulce 2 (Čermák et al., 2007). Schématicky je zobrazena faremní bilance dusíku na obrázku 2. V současnosti se faremní bilance používá jako indikátor činnosti v životním prostředí, jako politický nástroj pro monitorování změn při vyplavování dusíku a fosforu do spodní i povrchové vody a ke hlídání účinnosti politických opatření (Beekl et al., 2003).

Obrázek 2: Schéma bilance dusíku faremní bilance podle Schech et Haakh (2008)



Onema et al. (2003) ve své práci popisují tzv. systémovou půdní bilanci, která zaznamenává všechny vstupy i výstupy živin, včetně zisků a ztrát z půdy. Systémový přístup také umožňuje rozdělení mezi různými cestami ztrát živin a zásobováním nebo vyčerpáním živin v nutričních odděleních v rámci systému. Přebytek/deficit je míra čistého vstupu či výstupu živin z celkového bilančního systému. Tento přístup je často využíván ve výzkumných studiích, které se zaměřují na identifikaci příčin přebytků a úbytků živin.

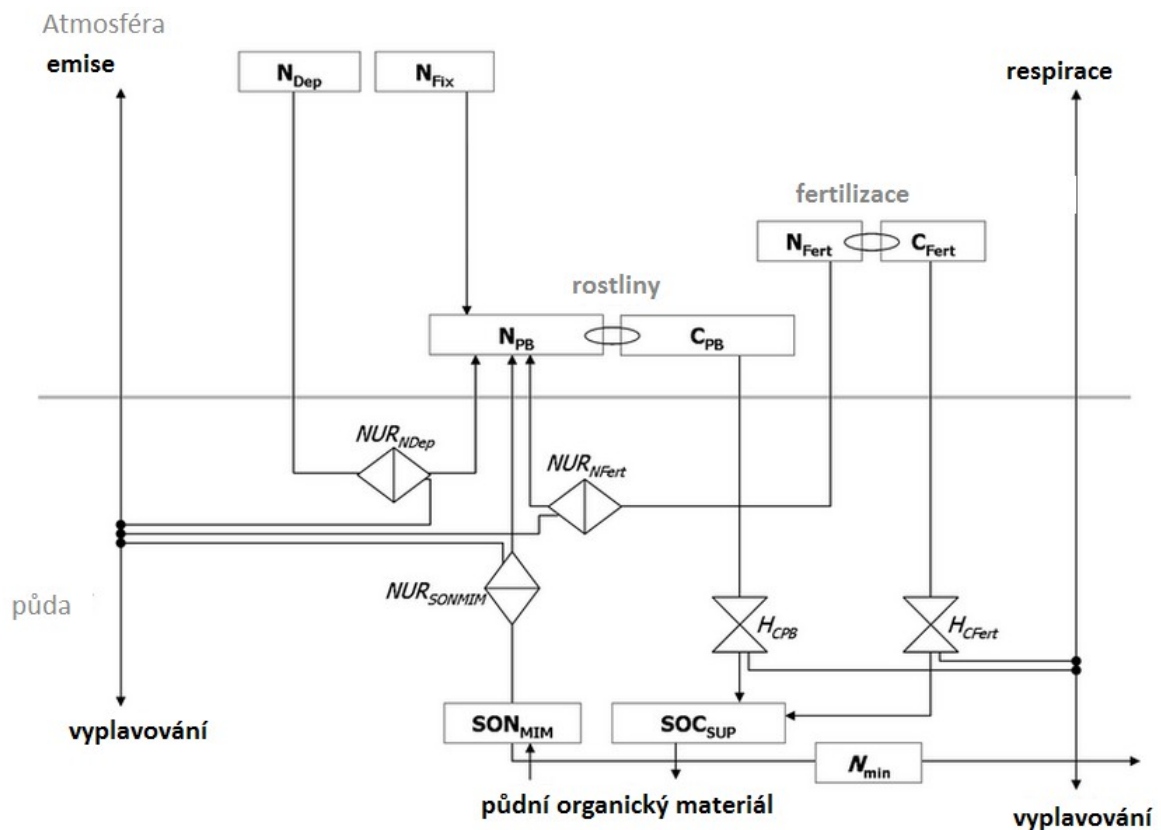
Balík et al. (2012) uvádějí, že z hlediska výpočtu bilance živin je nejpresnější způsob tzv. hodnocení na jednotlivých pozemcích. Jsou zde posuzovány přesné vstupy a výstupy na každý pozemek, případně je možné zohlednit půdní vlastnosti ke vztahu k přeměnám dusíku v půdě, případně jeho ztráty. Vhodným doplňkem jsou výpočty efektivity dusíkatých hnojiv na konkrétním pozemku ve vztahu k výnosu pěstovaných plodin a odběru dusíku.

### Bilance organických látek v půdě

Při intenzivní rostlinné výrobě je každoročně v půdě mineralizováno 3,5 – 4,5 t/ha organických látek. Toto množství by mělo být pokryto formou rostlinných zbytků pěstovaných plodin a organických hnojiv živočišného a rostlinného původu. Vypočítaná bilance (přísun organických látek do půdy) by proto neměla klesnout pod tuto hodnotu. Překročení a nedosažení optimální oblasti hodnoty vede k tomu, že hospodaření je

považováno za méně udržitelné (Richter et al., 1999). Vyšší hodnoty jsou dosahovány na provzdušňovaných půdách v teplejších a vlhčích oblastech a při vyšším zastoupení okopanin, u nichž dochází k důslednějšímu kypření půdy. Nechceme-li zhoršovat úrodnost půdy, je nutno vrátit výše uvedené množství organických látek zpět do půdy. Aplikujeme-li hovězí hnůj v dávce 30 t/ha každý třetí rok, uhrazujeme tím polovinu určeného množství (2 t/ha OL). Není-li dostatečný stav dobytka, je nutno nahradit chybějící OL rozšířeným zaoráním slámy, řepného chrástu, nebo pěstováním plodin pro zelené hnojení (Neuberg et al., 1995). Brock et al. (2012) ve svém článku prezentují tzv. „bilanční model humusu“, jako jednoduchý nástroj k hodnocení vlivu organického hnojení na orné půdě. Je založen na základě zjednodušeného schématu dusíku a uhlíku a na jejich proudění v půdě a rostlinách.

Obrázek 3: Bilanční model humusu podle Brock et al. (2012)



- SOC – půdní organický uhlík
- SOM – organický materiál v půdě
- SON – půdní organický dusík
- STN – veškerý dusík v půdě
- NUR - míra využití dusíku (%)

V obdélnících jsou znázorněny živiny, které jsou zadávány do modelu, a jejich hodnotu známe. U živin, které nejsou v obdélnících, jejich hodnotu můžeme spočítat. Prvky, které jsou na sobě v rámci systému závislé, jsou navzájem propojeny oválným znakem. Ventily odkazují na organický uhlík a rovnoběžky znázorňují obrat organického a anorganického dusíku.

Ze vzorce můžeme zjistit množství mineralizovaného organického materiálu v půdě:

$$SON_{MIN} = N_{PB} - N_{fix} - N_{dep} \times NUR - N_{dep} - N_{fert} \times NUR - N_{fert} + \Delta N_{min} / NUR_{SONMIM}$$

$SON_{MIM}$  = půdní organická hmota mineralizovaná (kg SON).

$N_{PB}$  = dusík v rostlinné biomase (kg N).

$N_{Fix}$  = dusík přijatý z atmosféry bobovitými skrze symbiotickou fixaci (kg N).

$N_{Dep}$  = dusík z depozitu atmosféry (kg N).

$N_{fert}$  = dusík z hnojiv (kg N).

$\Delta N_{min}$  = mineralizovaný dusík vzhledem k mechanickým vlivům (kg N).

Romanekov et al. (2007) použili model pro předpověď, jaký osevní postup a jaká cena aplikace chlévského hnoje v období roků 2000 – 2050 zajistí stabilní obsah uhlíku v půdě vzhledem k její textuře a počáteční úrovni uhlíku.

### 3.1.2 Půdní úrodnost

Půdní úrodnost je schopnost poskytovat rostlinám i ostatním organismům nezbytné životní podmínky. Je to v podstatě soubor příznivých fyzikálních, chemických i biologických vlastností půd určitého stanoviště, které se vzájemně ovlivňují a vytvářejí s ostatními vnějšími vlivy (klíma, povětrnost) podmínky pro růst rostlin. Úrodnost půd se dá obtížně charakterizovat jednou nebo několika vlastnostmi (biologická činnost, obsah organického uhlíku a dusíku a jejich vzájemné vztahy, mineralizační potenciál, obsah přijatelných živin apod.)

Z hlediska výživy rostlin se jedná kromě již uvedených příznivých vlastností i o přiměřený obsah živin a jejich správné relace. Půdní úrodnost je tedy funkcí složitého souboru vlastností a faktorů, které při vhodné kombinaci jednotlivých složek zajišťují rostlinám dobré podmínky pro růst a vývoj. Je jí třeba chápat vždy pro určité konkrétní půdně-ekologické podmínky.

Minerální podíl půdy tvoří spolu s organickou hmotou v ní jednotný celek. Přistoupíme-li na jednoznačný fakt, že rostliny jsou vyživovány biogenními a stopovými látkami anorganického



typu, pak je nutné se zabývat vlastnostmi půdy z hlediska sorpce a resorpce těchto prvků (Vaněk et al., 2012).

### **Prvky půdní úrodnosti**

Prvky půdní úrodnosti lze rozčlenit na dva typy:

**A) Konzervativní prvky**, které jsou stabilní, obtížně měnitelné a značně závislé na stanovišti. Většinou je musíme respektovat a podle nich usměrňovat pěstební i agrotechnická opatření. K jejich případné změně je zapotřebí velké množství prostředků a energie a mají většinou meliorační charakter.

**B) Dynamické prvky** jsou krátkodobějšího charakteru, snadněji se usměrňují a vyžadují také častější, ale méně nákladnější opatření. Patří sem hlavně živinný režim, obsah snadno mineralizovatelných organických látek, biologická činnost apod.

Jednotlivé půdní úrodnosti se navzájem ovlivňují a jejich výsledným působením je celková půdní úrodnost. Na vytváření a udržení půdní úrodnosti se příznivě podílí větší počet agrotechnických a hnojařských opatření, které se rovněž navzájem podmiňují a spolupůsobí. Z nejvýznamnějších lze uvést:

- vhodné střídání plodin
- pravidelné pěstování jetelovin
- pravidelné hnojení kvalitními organickými hnojivy
- dostatečný přísun živin v minerálních hnojivech (Vaněk et al., 2012).

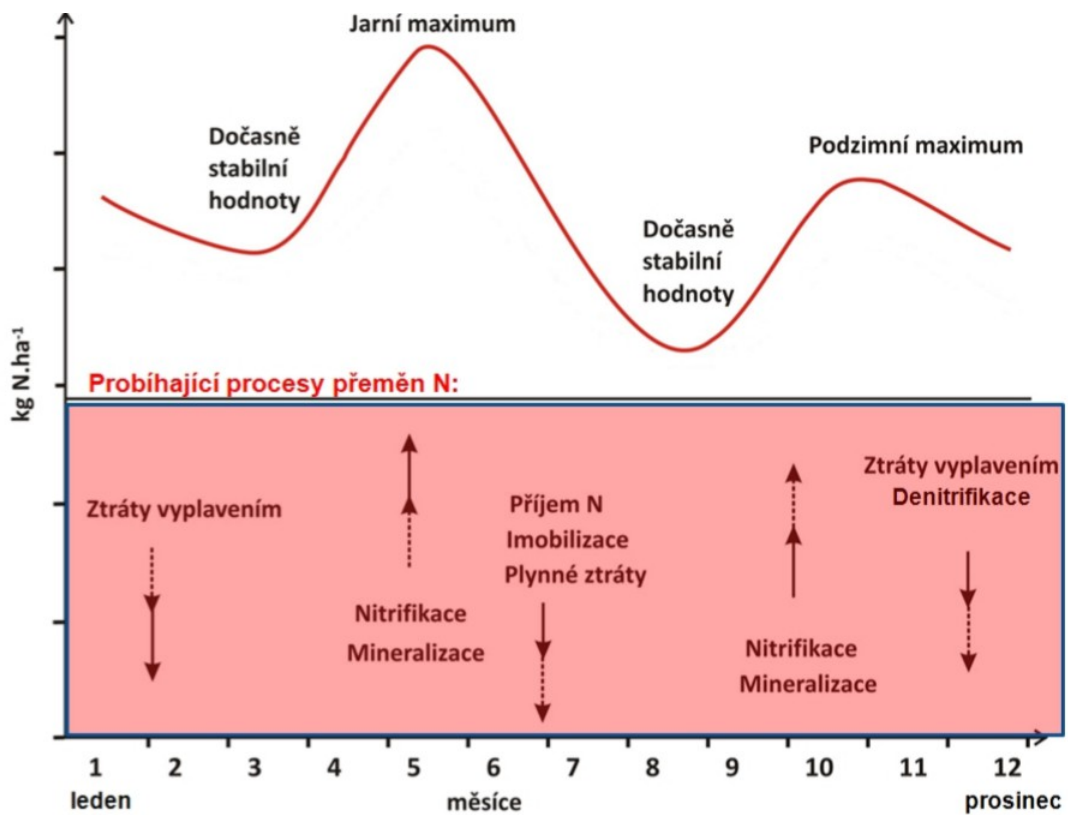
### **3.1.3 Bilance dusíku**

Bilance dusíku je jeden z nejpoužívanějších indikátorů, který je úzce spjatý se zemědělskou výrobou. Výpočet této bilance je výsledkem působení mnoha faktorů, např. struktury podniku, intenzity hnojení, způsobu aplikace hnojiv a druhů hnojiv. Chyby, které zemědělec učiní v hospodaření s dusíkem, se dříve nebo později objeví v bilanci dusíku. „Bilance dusíku vyjadřuje potenciál pro vyplavení dusíku do prostředí, protože kladná bilance znamená přebytek dusíku proti množství, které spotřebuje plodina“ (Křen et al., 2011). Celkový obsah dusíku v půdě se běžně pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,2 %, což představuje v ornici 3000 – 6000 kg N/ha. Převážnou část dusíku v půdě (většinou přes 90 %) tvoří dusík organických sloučenin. Nedostatek dusíku má od počátku vegetace má za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, což se projevuje omezením růstu rostlin a tvorby všech

podstatných orgánů rostlin (listů, stébel, lodyh apod.). Při nedostatku N jsou rostliny slabší a nižší, často jsou porosty nevyrovnané a světlejší. Odstranění nedostatku dusíku během vegetace nečiní většinou potíže. K tomuto účelu lze použít jak dusíkatá hnojiva tuhá, tak kapalná, případně mimokořenovou aplikaci. Je zapotřebí použít především hnojiva s formou ledkovou (ledek vápenatý) nebo na bázi dusičnanu amonného – LAV (ledek amonný s vápencem). Při možnosti kombinace s některými jinými zásahy – například postřikem proti plevelům nebo chorobám, je vhodné současné hnojení močovinou nebo hnojivem DAM 390 (Vaněk et al., 2012).

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 (viz. Obrázek 4). 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 (Balík et al., 2012).

Obrázek 4: Sezónní změny obsahu minerálního dusíku v půdě a související procesy přeměn (Balík et al., 2012)



## Ztráty dusíku

Kladný výsledek bilance dusíku, tedy jeho bilanční přebytek, představuje ztráty. V půdně-klimatických podmínkách a systémech hospodaření ČR jsou tzv. nevyhnutelné ztráty dusíku uvažovány v průměrné výši 50 kg N/ha za rok (Čermák et al., 2002).

## Vyplavování dusíku

V různých podmínkách hospodaření může hodnota i podíl uvedených ztrát kolísat, v závislosti na půdně-klimatických podmínkách a průběhu povětrnosti. Pokud se v bilancích na úrovni podniků nebo pozemků nezapočítávají vstupy dusíku ve srážkách, přívodem volně žijícími fixátory N a osivem či sadbou („ostatní vstupy“, celkem 30 kg N/ha), průměrný akceptovatelný bilanční přebytek je zhruba na úrovni 20 kg N/ha. Zhruba 2/3 bilančního přebytku N pak tvoří ztráty do vod (Čermák et al., 2002).

## **Ztráty do atmosféry**

Podle Balíka et al. (2012) mohou být ztráty do atmosféry významné zvláště z organických hnojiv, nebo minerálních hnojiv, které podléhají na povrchu půdy přeměnám (močovina, DAM apod.). Tyto ztráty často do bilancí nejsou započítávány, neboť jejich stanovení pro dané podmínky může být obtížné. Měly by být však alespoň zahrnuty přibližné ztráty, aby výsledné bilance dusíku v půdě byly správně pochopeny. Bilance, které s přeměnami N a jeho tokem do atmosféry nepočítají, pak mohou vycházet výrazně kladné, ačkoliv dusík nebyl rostlinami využit. Významné jsou zejména ztráty volatilizací amoniaku z organických hnojiv, při jejich povrchové aplikaci a pozdním zapravení. K největším ztrátám však dochází těsně po aplikaci organických hnojiv. Podle Čermáka et al. (2002) ztráty do ovzduší činí asi 1/3 z celkových „nevyhnutelných“ ztrát. Podle Šarapatky (2010) mohou ztráty denitrifikací dosahovat hodnot až 30 - 60 kg/ha za rok, a to zejména na zamokřených lokalitách a ztráty vyplavováním do povrchových nebo podzemních vod v množství do cca 60 kg/ha v závislosti na řadě faktorů, včetně pěstované plodiny.

### **3.1.4 Bilance fosforu**

Obsah veškerého fosforu v půdách se pohybuje od 0,03 do 0,13 % (Vaněk et al., 2012).

Fosfor v půdě se nachází v anorganických a organických sloučeninách. Podíl organicky vázaného fosforu činí v ornici minerálních půd 25 - 65 %. Množství fosforu poutané mikroorganismy tvoří v  $A_p$  horizontu přibližně 60 - 120 kg/ha. Celkové množství anorganického fosforu do hloubky 1 m tvoří u podzolů na písčích 1500 - 2000 kg/ha, u luvisolů a černozemí na spraši 3000 - 3500 kg/ha. Pro dostatečnou výživu rostlin by měl obsah fosforu v půdním roztoku činit 0,2 - 0,4 mg P/l (Balík et al., 2002).

Fyziologicky je fosfor nezbytnou složkou organických sloučenin, ale i proteinů. Vytváří klíčovou energetickou látku všech živých organismů, a to adenosintrifosfát. Ten zodpovídá za všechny důležité energetické procesy v buňkách, za výstavbu genetické informace, řízení biochemických procesů, příjem živin a jejich transport v rostlinách, ale i za zabudování fosforu do biomolekul. Fosfor je základní složkou nukleových kyselin. Symptomy nedostatku fosforu bývají za normálních podmínek mnohdy nenápadné, neboť dochází často pouze ke zpomalení růstu. Nedostatek tohoto prvku se může projevovat červeným či fialovým zbarvením stonků, řapíků a báze listů. Nedostatek fosforu má negativní vliv na příjem dusíku rostlinami. Bilance fosforu může být od velmi mírně kladné (+3 kg P/ha za rok) v minimálním rozmezí uvažovaných hodnot až po zápornou (-19 kg P/ha za rok) v maximálním

rozmezí uvažovaných hodnot. Obsah fosforu v půdách kolísá od 0,03-0,013 %. Většina z tohoto množství je však díky pevným vazbám pro rostliny nepřístupná. Vázán může být organicky i minerálně. Přirozeným zdrojem fosforu je minerál apatit (Šarapatka et al., 2010).

### **3.1.5 Bilance draslíku**

Celkový obsah draslíku v půdě je vesměs vyšší než obsah dusíku nebo fosforu, přitom však velmi různý podle podmínek. Nejvíce draslíku obsahují obdělávané půdy mírného pásma, nejchudší jsou laterity a podzoly (Vaněk et al., 2012).

Šarapatka et al. (2010) uvádí, že obsah draslíku v půdě je závislý na půdotvorném substrátu a pohybuje se v rozmezí 0,5-3,3 % a z draslíku dodaného do půdy průmyslovými hnojivy je rostlinami využito asi 60 %.

### **3.1.6 Bilance vápníku**

Dostatek vápníku v půdě má velký význam z hlediska chemických, fyzikálních i biologických procesů (eliminace iontů  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ , koagulace koloidů, sycení sorbčního komplexu, výskyt i aktivita mikroorganismů aj.). Jeho celkový obsah se může pohybovat v širokém rozmezí od 0,15 % (na kyselých písčitých půdách v humidních oblastech) až do 10 % i více (na půdách karbonátových). Převážná část vápníku v půdách se nachází v těžko rozpustných sloučeninách, hlavně uhličitanech, křemičitanech, hlinitokřemičitanech a síranech. Nejčastější sloučeninou Ca jsou vápence, dolomity a dále minerál anortit. Rozpustnost uhličitanů je závislá na pH půdy – vyšší rozpustnost je v kyselejší oblasti pH a značný vliv na rozpustnost uhličitanů má obsah  $CO_2$ . Vytvořený hydrogenuhličitan je dobře rozpustný ve vodě, a tím také dobře pohyblivý v půdním profilu, a může být snadno vyplavován. Přítomnost vápence a hydrogenuhličitanu vápenatého v půdě zajišťuje stabilitu neutrální reakce a vysokou schopnost odolávat výkyvům pH (pufrovitost). Z hlediska výživy rostlin i půdní úrodnosti je významný vápník výměnný, vázaný na půdní koloidy výměnnou sorbcí (Vaněk et al., 2012).

## **3.2 Půdní reakce**

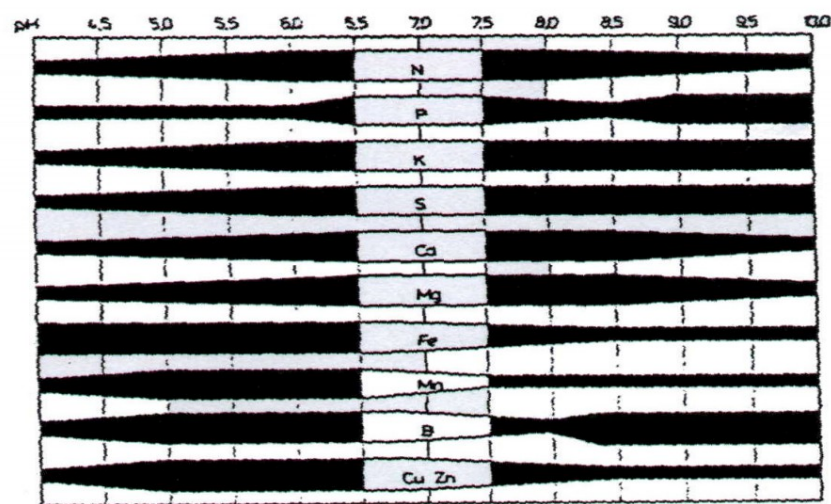
Dostatek pH půdy v obecném smyslu se rozumí pH analyzovaného vzorku zeminy (Vaněk et al., 2012). Jako optimální se v minerálních půdách (většina našich běžných půd) ukazuje hodnota pH okolo 6,5, která zajišťuje přiměřený příjem většiny živin (viz. obrázek 5) a víceméně vyhovuje i rostlinám (Neuberg et al., 1995). V kyselém prostředí jsou vhodnější

podmínky pro rozvoj hub, a naopak neutrální až alkalické prostředí dává předpoklady pro rozvoj bakterií, ale také na značný vliv rhizosféry, tedy nejbližšího okolí kořenů.

Většina užitečných bakterií má optimální podmínky pro rozvoj v slabě kyselé, neutrální až alkalické oblasti pH. Volně žijící i hlízkové bakterie se např. většinou nevyskytují v půdách s pH pod 5, nebo jen nepatrně, a jejich aktivita je nízká (Vaněk et al., 2012).

Při inkubaci se u zeminy po vyvápnění, kdy pH z původní hodnoty 4,4 stoupne na pH 6,5, výrazně zvýšilo množství minerálního dusíku (Neuberg et al., 1995).

Obrázek 5: Optimální reakce na orné půdě podle Klementa (2013)



### 3.2.1 Příčiny kyselosti půd

Kromě kyselých dešťů a proměnlivého typu vodního režimu půd existuje řada dalších faktorů, které se podílí na okyselování půd:

- vysoké dávky fyziologicky kyselých průmyslových hnojiv (zejména dusíkatých)
- omezené použití hnoje a kompostu
- vysoké dávky kejdy
- vysoké zastoupení obilovin v osevním postupu
- nízké zastoupení víceletých pícnin na orné půdě
- kompakce půdy těžkými mechanismy se zvyšováním koncentrace CO<sub>2</sub> v půdním vzduchu
- zrychlená vodní eroze půdy s odkrýváním kyselé spodiny
- nedostatečné vápnění přirozeně kyselých zemědělských půd (Šarapatka et al., 2002).

### 3.2.2 Vliv pH na příjem živin

Rekce půdy působí na příjem živin přímo i nepřímo. Nepřímé působení vyplývá z rozpustnosti sloučenin, sorpce, koncentrace iontů v půdním roztoku, biologické činnosti a dalších vlivů, které již byly uvedeny. Optimalizace pH půd v konkrétních půdně-ekologických podmínkách působí proto příznivě na příjem živin jednak mobilizací a zvýšením příjmu prvků, jako je N, P, S, Mo, a naopak snižuje příjem kovových iontů, především Mn (Vaněk et al., 2012).

### 3.2.3 Vliv živin na změnu pH

Přímý vliv pH na příjem živin vyplývá z fyziologického působení jednotlivých živin a antagonismu iontů  $H^+$  a  $OH^-$ , případně  $HCO_3^-$ . Obecně lze konstatovat, že v kyselém prostředí je omezen příjem kationtů a jejich zvýšený příjem nastává v alkalickém prostředí, zatímco u aniontů je tomu naopak. Nejlépe tuto skutečnost dokumentují ionty dusíku jako živiny, kterou rostliny mohou přijímat jak ve formě kationtu, tak i aniontu, tedy  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ . V kyselém prostředí je preferován příjem  $NO_3^-$  a v neutrální alkalické oblasti  $NH_4^+$ . Je třeba však zdůraznit, že větší rozdíly v příjmu živin se projevují při výraznějších odchylkách od optimálních hodnot pH (Vaněk et al., 2012).

K udržení potřebné úrovně půdní úrodnosti je nezbytná aplikace organických i minerálních fosforečných hnojiv (Hlušek et al., 2002).

Na výživě rostlin fosforem se podílí především fosfor z půdy (Vaněk et al., 2012). V literatuře se převážně setkáváme s informacemi, že fosfor není transportován v půdě do hloubky větší než 40 - 60 cm. Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny trihydrogenfosforečné ( $H_3PO_4$ ). Atomy fosforu se nacházejí vždy v oxidovaném stavu a na rozdíl od dusíku a síry nepodléhají v půdě redukcí či oxidací (Balík et al., 2002).

Koncentrace  $PO_4^{3-}$  vzrůstá s klesající koncentrací  $OH^-$  a  $Ca^{2+}$  v roztoku. Čím vyšší je hodnota pH půdy a větší koncentrace vápníku v půdním roztoku, tím snadněji se z dodaných vodorozpustných forem fosforu minerálních hnojiv stávají stabilnější formy.

Vápněním kyselých půd může někdy snížit mobilitu fosforu v půdách. Např. v dlouholetých holandských přesných pokusech na písčitých půdách pokleslo extrahované množství P ( $H_2O$ ) o 50 % po vyvápnění půd (z pH/KCl 3,5 na pH KCl 5,5). Naopak lehce mineralizovatelné látky, jako jsou kořeny, sláma, hnůj atd., podporují biologickou aktivitu půdy, a tím zvyšují mobilitu fosforu (Balík et al., 2002). Z hlediska zásobování pěstovaných rostlin i udržení hladiny P v půdě se jeví jako dostačující nízká dávka P – v průměru 28 kg/ha. Pro zvyšování

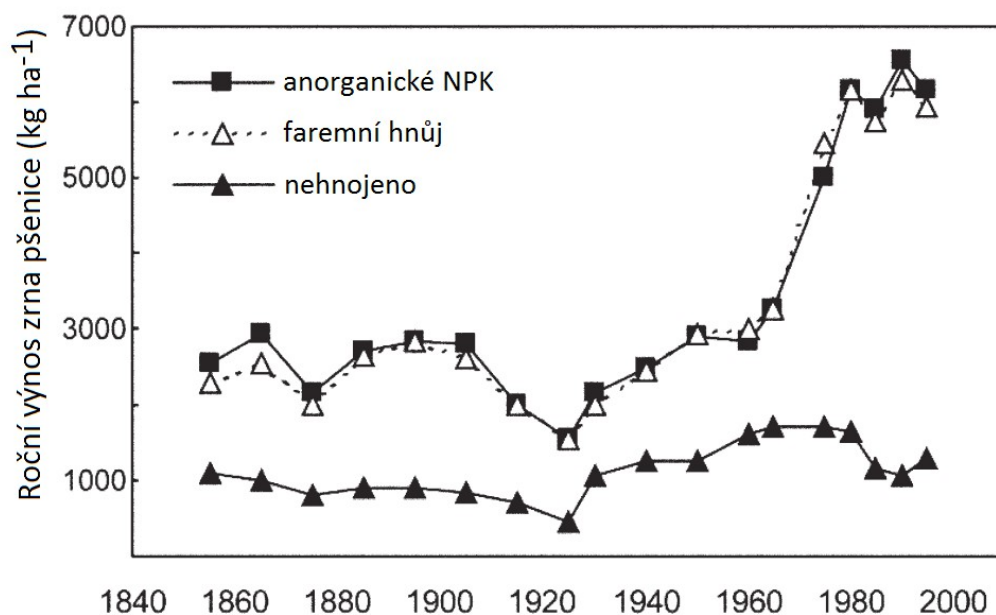
hladiny P v půdě je nutno použít střední dávku fosforu 40 kg P na hektar (Hlušek et al., 2002). Na počátku 60. let byl obsah fosforu v orných půdách na nízké úrovni – více než 2/3 ploch (70 %) vykazovaly malý obsah. Půdy trvalých travních porostů na tom byly ještě hůře – zde byl zjištěn malý obsah téměř na 90 % jejich výměry. Se zvyšující se spotřebou fosforečných hnojiv v zemědělství a současně se zlepšující se půdní reakcí dochází k nárůstu podílů ploch s dobrým a vysokým obsahem fosforu (Čermák et al., 2002).

### 3.3 Hnojení pšenice ozimé

#### 3.3.1 Tvorba výnosu

Tvorba výnosu je složitý proces, na kterém se podílejí kromě půdní úrodnosti, povětrnostních a klimatických podmínek i agrotechnické zásahy, druhy a odrůda pěstované rostliny, výskyt škodlivých činitelů a další faktory. Z průběhu výnosové křivky ozimé pšenice je zřejmé, že dusíkaté hnojení výrazně zvyšuje výnos zrna, avšak na pozemku s nižší úrodností je pro dosažení dobrého výnosu zapotřebí vyšší dávky dusíku než na pozemku úrodnějším, a většinou není dosaženo ani vyššími dávkami N výnosu jako na úrodnější části pozemku (Vaněk et al., 2012).

Obrázek 6: Výnos pšenice po více než 150 letech experimentálního pěstování odrůdy Broadbalk na třech variantách hnojení ve výzkumu v Rothamstedu ve Velké Británii podle Richtera et al. (2007)





Richter et al. (2007) referuje, že v minulosti byly podobné dlouhodobé půdní pokusy schopny poskytovat důležitá data a dávaly pokyny pro zlepšení hospodaření s půdou. V budoucnu mohou rozšířit naše porozumění o interakcích mezi hospodařením s půdou a okolním prostředím a informovat o tom politiky i běžné farmáře.

### **3.3.2 Hnojení dusíkem**

Výživa a hnojení dusíkem rozhodujícím způsobem ovlivňují výnosy většiny plodin. Korekce dávek dusíku je možno provádět na základě aktuálně zjištěných hodnot obsahu  $N_{\min}$  v půdě.

Doporučené celkové dávky dusíku v závislosti na výrobní oblasti, předplodině, způsobu zpracování půdy, intenzitě pěstování a způsobu využití produkce se zjišťují na základě odběru živin plodinami, pole v přílohy IV.

Při určení dávky regeneračního hnojení je třeba brát v úvahu:

- počet životaschopných rostlin po přezimování
- dosažený stupeň růstu a vývoje
- odrůdu
- výsledky anorganických rozborů rostlin
- obsah minerálního dusíku v půdě

### **3.3.3 Základní hnojení**

Při základním hnojení je možno použít vedle kombinovaných NPK hnojiv také jednosložková fosforečná a draselná hnojiva a kapalné hnojivo DAM 390, případně i močovinu v pevné formě. Dusík v podobě DAM 390 lze použít ve všech oblastech, zejména při zásobním hnojení P a K. Méně vhodné je jeho použití v systému každoročního hnojení všech plodin v osevním postupu všemi živinami (NPK); tam jsou vhodnější hnojiva kombinovaná. Močovinu je nutné po aplikaci rychle zapravit do půdy.

Ve výrobní oblasti kukuřičné lze použít před setím nebo orbou až 75 % z celkové dávky dusíku. V ostatních výrobních podmínkách maximálně 30 – 40 kg/ha (Křen et al., 1998).

Zimolka et al. (2005) uvádějí, že při základním hnojení nesmíme podcenit výběr stanoviště, musíme zohlednit agrochemické vlastnosti půdy a respektovat odrůdovou rajonizaci včetně specifických požadavků jednotlivých odrůd na výživu. S ohledem na vysoký podíl ozimých obilnin v osevních sledech má velký význam vliv předplodiny. Význam předplodiny spočívá v tom, že může podstatně ovlivňovat půdní vlastnosti důležité pro růst a pro formování

výnosotvorných prvků a kvality zrna.

### **3.3.4 Regenerační hnojení**

Nejdříve je nutno aplikovat regenerační hnojení na odnožené porosty ze včasných výsevů v ledkové formě, nejlépe použitím ledku amonného s vápencem. U nepoškozených a dobře odnožených porostů je možné použít DAM 390 za splnění teplotních podmínek (průměrná denní teplota 8°C). Dále je třeba věnovat zvýšenou pozornost málo odnoženým porostům setým (Křen et al., 1998).

### **3.3.5 Produkční hnojení**

Zimolka et al. (2005) uvádějí, že produkční přihnojení má vytvořit předpoklady k dobrému vývoji porostu a optimální tvorbě výnosotvorných prvků. Bezprostředně jím ovlivňujeme velikost klasu, podporujeme růst a vývoj odnoží a pozitivně působíme na velikost listové plochy. Produkční hnojení dusíkem provádíme na počátku sloupkování. K přihnojení na předpokládaný výnos použijeme dusík (DAM 390, síran amonný s močovinou, ledek amonný s dolomitem, ledek amonný s vápencem, ledek amonný apod.). Přitom je třeba vyjít z místních zkušeností a dávku dusíku, pokud by měla překonat 60 kg/ha, dělíme nadvakrát. Druhou dávku budeme aplikovat s odstupem 2 – 3 týdnů.

### **3.3.6 Vzájemné ovlivňování živin v půdě**

Mezi ionty existují významné vzájemné vztahy a vzájemná ovlivňování, která značně zasahují do jejich příjmu, zvláště dojde-li k jednostrannému zvýšení či snížení jejich koncentrace v živném prostředí. Vzájemné ovlivňování iontů lze dělit na negativní, tedy antagonistické – omezení příjmu druhého iontu. A pozitivní, tedy synergické – zvýšení příjmu dalšího iontu. Lze konstatovat, že antagonismus  $K^+$  stoupá v řadě  $Ca^{2+} : Mg^{2+} : Na^+$ .

Obecně podporu příjmu většiny živin působí dusík, což je možné vysvětlit celkově zvýšeným metabolismem, větší tvorbou biomasy, včetně kořenů, a zvýšením příjmové kapacity kořenů. Jako příklad lze uvést příjem fosforu při stoupajících dávkách dusíku (Vaněk et al., 2012).

## 4 Materiál a metody

Úvodem se metodika věnuje klimatickým a agrotechnologickým podmínkám podniku.

V těžišti kapitoly budou v souladu s metodikami uvedených bilančních metod znázorněny toky živin a schémata jejich výpočtů. Na základě polního pokusu budou uvedena kritéria pro hodnocení bilance živin na jednotlivých pozemcích a nabídnuta schémata pro řešení agrochemických vlastností půdy, zejména půdní reakce a následné úpravy živin. Cílem experimentu bylo nastítnit současnou situaci rostlinné výroby v podniku a zvolit potřebná opatření pro možnou optimalizaci do budoucna.

### 4.1 Charakteristiky podniku

Rodinná farma hospodaří na 96 hektarech zemědělské půdy, z toho 20 hektarů zabírají pastviny a 76 hektarů orná půda. Veškerá půda spadá do bramborářské výrobní oblasti. Hlavními pěstovanými plodinami jsou pšenice ozimá, ječmen jarní, hrách a tritikale. Součástí je i živočišná výroba. Stavby rostlinné i živočišné výroby podniku jsou uvedeny v tabulkách 3 -5.

Tabulka 3: Pěstované plodiny podniku

<b>pěstované plodiny</b>	<b>počet hektarů</b>
pšenice ozimá	46
ječmen jarní	10
hrách setý	10
brambory	1
tritikale	4
jetelotrávy	5
pastevní směsy	20

Tabulka 4: Stavby dobytka v podniku

<b>Kategorie skotu</b>	<b>Průměrná hmotnost (kg/kus)</b>	<b>Počet</b>	<b>Celkem (kg)</b>
Telata	115	6	690
Jalovice	265	4	1060
Jalovice	470	3	1410
Jalovice	600	2	1200
Krávy	650	17	11050
Býci	300	8	2400
Býci	560	6	3360

Tabulka 5: Výnosy plodin přepočtené na živiny podle Křena et al., (2012)

<b>rostlinné produkty</b>	<b>množství v kg</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
zrno pšenice	299000	5681	987	1106
zrno ječmen jarní	50000	825	175	225
zrno hrách	25000	887	90	208
brambory	24000	72	12	108
tritikale	5000	90	19	23
jetelotráva	128000	384	64	602
seno	37000	585	78	599
zelená hmota	200000	820	120	1647
celkem čistých živin		9344	1545	4518

### **Poloha**

Farma se nachází dva kilometry východně od města Letovice, které leží přibližně čtyřicet kilometrů severně od Brna, na soutoku Svitavy a Křetínky, mezi svahy Dražanské a Českomoravské vysočiny. Podnik spadá do bramborářské výrobní oblasti.

### **Klima**

Podle mapy klimatických oblastí se Letovice nacházejí na přechodu klimatických oblastí MT3 a MT7, které se dají charakterizovat jako mírně teplé, mírně vlhké s mírnou zimou. Počasí také ovlivňuje převládající směr větrů. Západní či jihozápadní vítr přináší v létě déšť a chladno. Zimu naopak zmírňuje. Vítr východní či severovýchodní přináší teplé a slunečné léto, v zimě naopak tuhé mrazy. Charakteristiky klimatických oblastí jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6: Klimatické podmínky podniku podle Quitta (1975)

<b>Klimatická oblast</b>	<b>MT3</b>	<b>MT7</b>
Počet dnů s teplotou nad 10°C	120 – 140	140 – 160
Počet letních dnů	20 – 30	30 – 40
Počet mrazových dnů	130 – 160	110 – 130
Počet ledových dnů	40 – 50	40 -50
Průměrná teplota v lednu v °C	-3 až -4	-2 až -3
Průměrná teplota v dubnu v °C	6 – 7	6 – 7
Průměrná teplota v červenci v °C	16 -17	16 -17
Průměrná teplota v říjnu v °C	6 – 7	7 – 8
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	110 – 120	100 – 120
Srážkový úhrn ve vegetačním období (mm)	350 – 450	400 – 450
Strážkový úhrn v zimním období (mm)	250 -300	250 – 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60 – 100	60 – 80

### **Srážkové poměry:**

Meteorologická stanice: Letovice

Nadmořská výška: 337 m. n. m.

Průměrný srážkový úhrn: 602 mm

Z toho srážky ve vegetačním období (4 – 9) činí 381 mm

### **Půdy**

Druhově patří půdy podniku mezi střední. Jedná se o kambizem typickou a kambizem pseudoglejovou kyselou.

### **Používaná hnojiva**

Tabulka 7: Množství nakoupených živin na rok

<b>hnojiva</b>	<b>množství (kg)</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
LAV	10000	2700	-	-
DAM 390	15000	4500	-	-
NPK	5000	750	330	625
Amofos	2000	240	454	-

## 4.2. Metody hodnocení bilance

Hodnocení bilance živin probíhalo na všech úrovních výhradně ve formě čistých živin. Přepočty zemědělských zvířat a jejich produktů na živiny byly stanoveny podle Freyer et Pericin (1996). U rostlinné produkce a chlévského hnoje byly použity přepočty podle Čermáka et al. (2007). Hodnoty ztrát a spadů dusíku byly stanoveny podle celorepublikových průměrů podle OECD (2015) a Klíra (2007).

### 4.2.1 Faremní bilance

V rámci této práce bude vypočítána jednoduchá faremní bilance podle Čermáka et al. (2007) a vyhodnocena podle Freyer et Pericin (1996) pro dusík, fosfor a draslík podle tabulky 8. Bilanční položky (vstupy a výstupy) byly stanoveny na základě tabulky 2.

Tabulka 8: Interpretace faremní bilance podle Freyer et Pericin (1996)

<b>Faremní bilance dusíku</b>	<b>zůstatek v kg N/ha/rok</b>
silný deficit	pod -50
slabý deficit	-13 až -4,5
rovnováha	±10
slabý přebytek	+10 až +50
silný přebytek	přes +50
<b>Faremní bilance fosforu</b>	<b>zůstatek v kg P/ha/rok</b>
silný deficit	pod -13
slabý deficit	-50 až -10
rovnováha	±4,5
slabý přebytek	+4,5 až +13
silný přebytek	přes +13
<b>Faremní bilance draslíku</b>	<b>zůstatek v kg K/ha/rok</b>
silný deficit	pod -42
slabý deficit	-17 až -42
rovnováha	±17
slabý přebytek	+17 až +42
silný přebytek	přes +42

#### 4.2.2 Povrchová bilance na úrovni podniku

Vstupní data potřebná pro vyhodnocení bilance živin se získávají z evidence hnojení, která je vedena dle vyhlášky 274/1998 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů. V této evidenci hnojení je vedena evidence provedené aplikace hnojiv na každý jednotlivý pozemek (Křen et al., 2012).

Výsledné bilance u hodnocených živin je rozdílem vstupů a výstupů podle tabulky 9.

Tabulka 9: Položky a zdroje pro hodnocení povrchové bilance na úrovni podniku dle Balíka et al. (2012)

POLOŽKY BILANCE	ZDROJE ÚDAJŮ
<b>Vstupy živin</b>	
Minerální hnojiva	evidence hnojení
Organická, příp. Organominerální hnojiva	evidence hnojení
Upravené kaly, sedimenty	evidence hnojení
Statková hnojiva	evidence hnojení
Symbiotická fixace dusíku	výpočet podle ploch luskovin a jetelovin
<i>Fixace dusíku volně žijícími organismy</i>	<i>na úrovni podniku se nehodnotí</i>
<i>Spady živin ve srážkách</i>	<i>na úrovni podniku se nehodnotí</i>
<i>Osivo a sadba</i>	<i>na úrovni podniku se nehodnotí</i>
<b>Výstupy živin</b>	
Odběr živin hlavním produktem	podniková evidence
Odběr živin vedlejším produktem	podniková evidence

#### Povrchová bilance dusíku

Optimální hodnota roční bilance dusíku se pohybuje od 0 do 50 kg N/ha (tab. 10). Za předpokladu, že ztrátám N nelze plně zabránit, ale nevyvolávají žádné závažné ekologické škody, lze akceptovat kladnou bilanci N až do výše 50 kg N/ha. V literatuře je obvykle uváděna požadovaná roční hodnota bilance 25 – 50 kg N/ha. Odchylka od optimální oblasti hodnot na obě strany charakterizuje hospodaření, které neodpovídá udržitelnému rozvoji.

Tabulka 10: Limitní a optimální hodnoty bilance dusíku (Křen et al., 2011)

Bilance N	kg N/ha	Komentář
nedostatek N	-50 až 0	pokles zásob N v údě a snížený výnosový potenciál
optimální rozsah	0 až 50	nevyhnutelné ztráty N
přebytek N	50 až 150	zvýšené ztráty N
kritéria pro vyloučení	přes 150	nedměrné, neúnosné ztráty N

## Bilance fosforu

Bilance fosforu byla hodnocena podle tabulky 11.

Tabulka 11: Limitní a optimální hodnoty bilance fosforu (Křen et al., 2011)

Rozsah	kg P/ha	Komentář
optimální rozsah	-5 až 5	optimální bilance P
udržitelný rozsah	-26 až 26	tolerovaná bilance P
nevhodný rozsah	<-26 > 26	nedostatečný, nadměrný přísun P
kritéria pro vyloučení	<-61 > 61	neúnosný přísun, deficit P

## Bilance draslíku

Bilance draslíku byla hodnocena podle tabulky 12.

Tabulka 12: Limitní a optimální hodnoty bilance draslíku (Křen et al., 2011)

Rozsah	kg K/ha	Komentář
optimální rozsah	-21 až 21	optimální bilance K
udržitelný rozsah	-50 až 50	tolerovaná bilance K
nevhodný rozsah	<- 141 > 141	nedostatečný, nadměrný přísun K

### 4.2.3 Bilance na jednotlivých pozemcích

#### Povrchová bilance dusíku

Pro výpočet povrchové bilance dusíku jsou požita data z evidence hnojení podniku. Hodnoty odběru živin plodinami jsou vypočítány podle Čermáka et al. (2007).

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 přeměně 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).

Odběrové normativy živin plodinami byly použity podle Čermáka et al. (2007) a jsou uvedeny v příloze IV.



Výpočet bilance dusíku se provádí podle vzorce:

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

kde:

$N_b$  – bilance dusíku na daném pozemku ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_i$  – přísun dusíku imisemi ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_s$  – přísun dusíku osivem ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_f$  – fixace vzdušného dusíku ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_{mh}$  – přísun dusíku v minerálních hnojivech ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_{oh}$  – přísun dusíku v organických hnojivech ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_{org}$  – přísun dusíku mineralizací organických látek v půdě ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_o$  – odběr dusíku z daného pozemku hlavními a vedlejšími produkty ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$N_z$  – ztráty dusíku ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Výsledná hodnota bilance je provedena podle Křena et al. (2011) dle tabulky 13.

Tabulka 13: Limitní a optimální hodnoty bilance dusíku (Křen et al., 2011)

<b>Bilance N</b>	<b>kg N/ha</b>	<b>Komentář</b>
nedostatek N	-50 až 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**

Výpočet bilance fosforu se provádí podle vzorce:  $P_b = P_h - P_o$

kde:

$P_b$  – bilance fosforu na daném pozemku,

$P_h$  – přísun fosforu v organických a anorganických hnojivech,

$P_o$  – odběr fosforu hlavními a vedlejšími produkty odvezenými z pozemku.

Výchozí podklady pro stanovení odběru fosforu sklizenými produkty se získávají z agronomické evidence. Za použití odběrového normativu pro dané plodiny lze stanovit množství odebraného fosforu ze zemědělského pozemku (Křen et al., 2012).

## **Bilance draslíku**

Výpočet bilance draslíku se provádí podle vzorce:  $K_b = K_h - K_o$

kde:

$K_b$  - 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.

Výchozí podklady pro stanovení výše odběru draslíku sklizenými produkty se získávají z agronomické evidence. Zde je zjištěn výnos hlavního, popřípadě vedlejšího produktu. Za použití odběrového normativu pro dané plodiny je stanoveno množství odebraného draslíku ze zemědělského pozemku (Křen et al., 2012).

### **4.2.4 Bilance živin na základě AZP**

Hodnocení bilance obsahu přístupných živin bude provedeno na základě porovnání výsledků agrochemických zkoušení půd na třech zkoušených pozemcích podniku, a to z let 2003 a 2009. Vychází se z obsahů přístupných živin v půdě (P, K, Mg, Ca) měřených metodou Mehlich III. Rozborem byly zjišťovány živiny v čisté formě (ne ve formě oxidů, které jsou udávány u minerálních hnojiv – například P v  $P_2O_5$ , K v  $K_2O$ ). Při stanovení obsahu přístupných živin metodou podle Klementa (2013). Kategorie zásobenosti přístupnými živinami a kritéria hodnocení výsledků udává příloha III.

### **4.2.5 Stanovení půdní reakce a potřeby vápnění**

Půdní reakce je hodnocena dle uvedených kritérií v tabulce 14, a to na základě dat, získaných z agrochemických zkoušení půd z let 2003 a 2009. Na základě naměřené hodnoty pH bude navržena optimalizace půdní reakce vápněním. Potřeba vápnění vychází z ročních normativů dávek vápenatých hnojiv podle Klementa (2013).

Tabulka 14: Kritéria hodnocení půdní reakce podle Klementa (2013)

<b>Hodnota pH</b>	<b>Půdní reakce</b>
do 4,5	extrémně silná
4,6 – 5,0	silně kyselá
5,1 – 5,5	kyselá
5,6 – 6,5	slabě kyselá
6,6 – 7,2	neutrální
7,3 – 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

## 5 Výsledky

### 5.1 Faremní bilance

V tabulce 15 je uvedeno roční množství prodaného a nakoupeného dobytka v rámci hodnoceného podniku. Roční výstupy prodaných zvířat činí 21 dobytčích jednotek. Vstupy zahrnují pouze 0,69 dobytčích jednotek.

Tabulka 15: Roční množství prodaného a nakoupeného dobytka

<b>Prodané</b>	<b>Průměrná hmotnost (kg/kus)</b>	<b>Počet</b>	<b>Celkem (kg)</b>	<b>V dobytčích jednotkách</b>
Jalovice	600	6	3600	21
Krávy	650	2	1300	
Býci	560	10	5600	
<b>Nakoupené</b>	<b>Průměrná hmotnost (kg/kus)</b>	<b>Počet</b>	<b>Celkem (kg)</b>	<b>V dobytčích jednotkách</b>
Telata	115	3	345	0,69

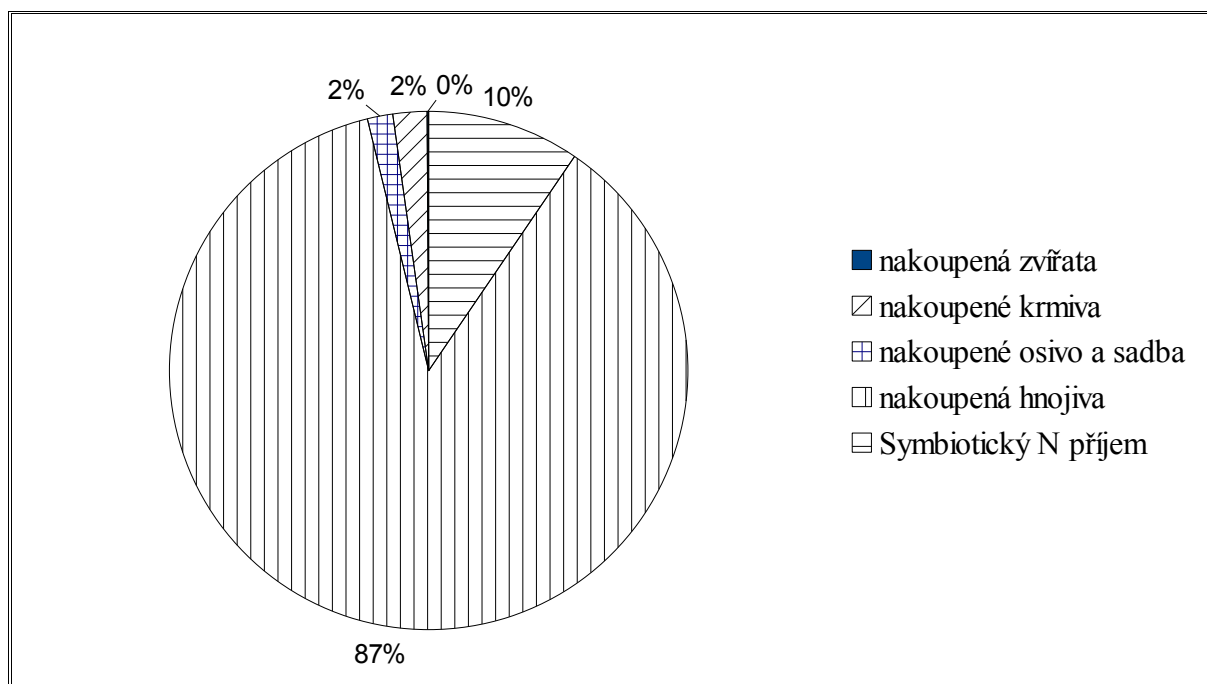
V tabulce 16 je vyčíslena faremní bilance živin N, P, K podle Čermáka et al. (2007). Výsledná faremní bilance dusíku činí 2023,7 kg, což je 21 kg na hektar zemědělské půdy za rok, vykazuje tedy slabý přebytek. Bilance fosforu vyšla se slabě zápornou hodnotu -4,2 kg na hektar, která ještě spadá do kategorie rovnováhy. Bilance draslíku vychází -1,8 kg/ha a je také v rovnováze.

Tabulka 16: Vyčíslená faremní bilance hodnoceného podniku

<b>Příjem živin</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
nakoupená zvířata	9,2	2	0,7
nakoupené krmiva	201	133	50
nakoupené osivo a sadba	1049	38,1	68,7
nakoupená hnojiva	8190	794	625
Symbiotický N příjem	900	-	-
<b>suma</b>	<b>10302,2</b>	<b>967,1</b>	<b>744,4</b>
<b>Odběr živin</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
prodané živočišné produkty	581	114	175
prodaná zvířata	262,5	67	23
prodaná rostlinná produkce	7028	1188	726
denitrifikace	407	-	-
<b>suma</b>	<b>8278,5</b>	<b>1369</b>	<b>924</b>
<b>Bilance</b>	<b>2023,7</b>	<b>-401,9</b>	<b>-179,6</b>
<b>Bilance na hektar</b>	<b>21</b>	<b>-4,2</b>	<b>-1,8</b>

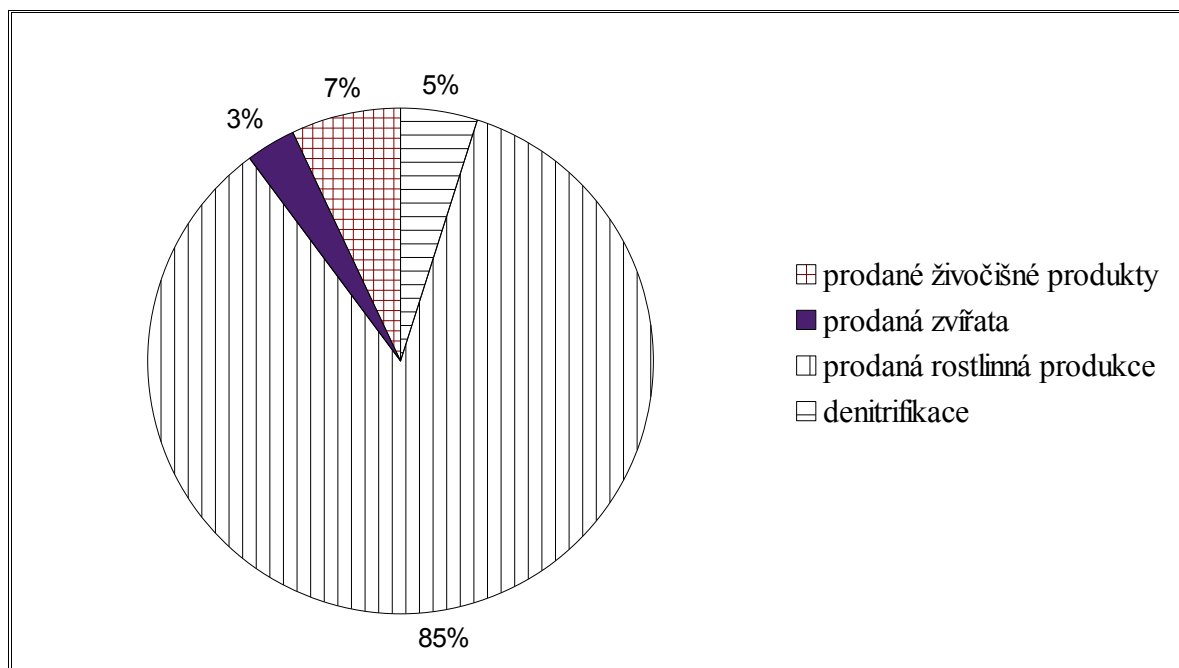
V grafu 1 je znázorněno, že převážnou většinu vstupů dusíku v systému faremní bilance tvoří jako u všech konvenčních podniků nakoupená minerální hnojiva, a to z 87 %. Dále 10 % vstupů dusíku zabírá symbiotický příjem, a zbytek tvoří ze 4 % nakoupené osivo a sadba a 4 % nakoupená krmiva.

Graf 1: Podíl vstupů čistého dusíku v systému faremní bilance



Graf 2 na základě výstupů čistého dusíku dokazuje jednoznačnou převahu rostlinné produkce podniku, z čehož tvoří 85 % prodaná rostlinná produkce, 7 % prodané živočišné produkty, 5 % je odváděno denitrifikací a zbylá 3 % dusíku jsou odváděna prodanými zvířaty.

Graf 2: Podíl výstupů čistého dusíku v systému faremní bilance



## 5.2 Povrchová bilance na úrovni podniku

Povrchová bilance živin N, P, K podle Čermáka et al. (2007) je vyčíslena v tabulce 17.

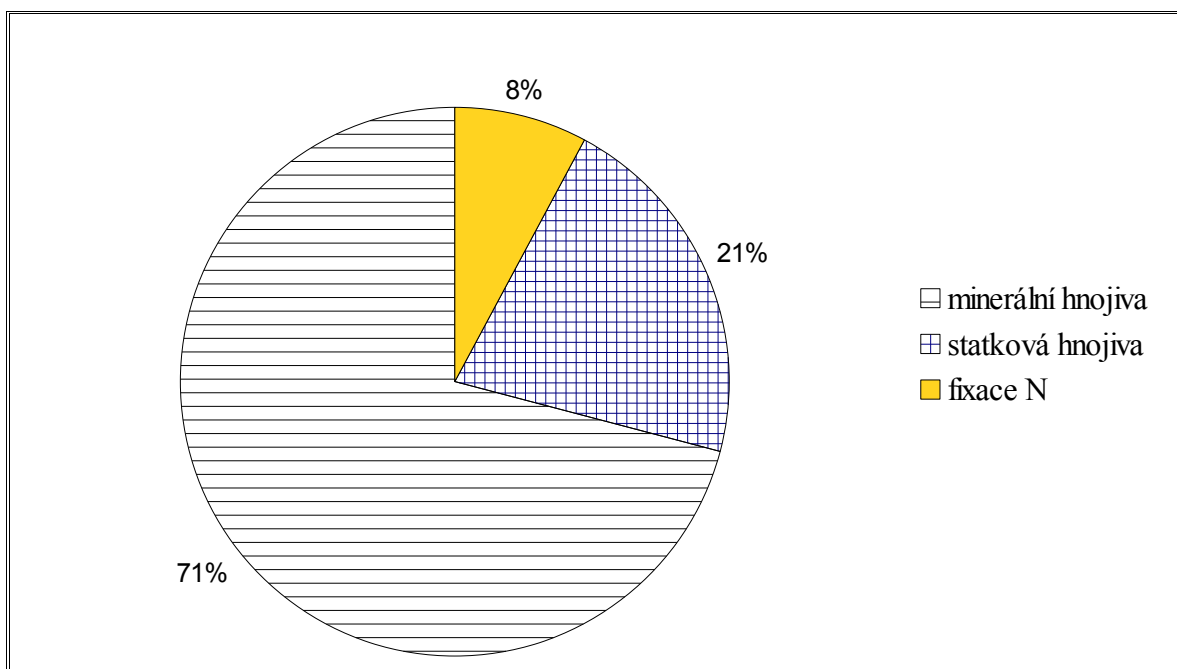
Výsledná roční povrchová bilance dusíku na úrovni podniku činí celkem 1820 kg, což je 19 kg na hektar zemědělské půdy, vykazuje tedy slabý přebytek. U fosforu a draslíku, podobně jako u faremní bilance, se hodnoty pohybují v záporných číslech, a to v intervalu -2 kg u fosforu a -12 kg u draslíku na hektar.

Tabulka 17: Povrchová bilance podniku

<b>vstupy</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
minerální hnojiva	8143	784	625
statková hnojiva	2442	622	3330
fixace N	900	-	-
<b>suma</b>	<b>11485</b>	<b>1406</b>	<b>3955</b>
<b>výstupy</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
odběr plodinami	9344	1545	4518
odběr stelivem	321	54	600
<b>suma</b>	<b>9665</b>	<b>1599</b>	<b>5118</b>
<b>bilance</b>	<b>1820</b>	<b>-193</b>	<b>-1163</b>
<b>bilance na hektar</b>	<b>19</b>	<b>-2</b>	<b>-12</b>

V grafu 3 je znázorněn systém hnojení dusíkem na zemědělské půdě podniku. Minerální hnojiva tvoří z celkového množství používaných hnojiv 71 % dusíku, statková hnojiva 21 % dusíku a fixací je poutáno 8 % dusíku.

Graf 3: Podíl vstupů dusíku v systému povrchové bilance



### 5.3 Povrchová bilance na jednotlivých pozemcích

Tabulka 18 vykazuje výslednou bilanci pozemku „Pod hájky“, který se rozkládá na ploše jednoho hektaru. Bilance dusíku na pozemku činí +31 kg, u fosforu -3,3 kg a u draslíku 21,74 kg. Pozemek byl vybrán pro tuto bilanci, jako vhodná reprezentativní parcela v rámci orné půdy podniku. Pěstovaná plodina byla zvolena pšenice ozimá, jakožto nejpěstovanější plodina farmy, jejíž výnos na této ploše činil 6 500 kilogramů. U ostatních hodnocených polí vycházela bilance živin obdobně bez značných výkyvů.

Tabulka 18: bilance N, P, K na pozemku „Pod hájky“

<b>vsupy</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
minerální výživa	138	10	8
organická	32	8	43
fixace N	12	-	-
osivem	4	0,7	0,74
atmosferická depozice	22	-	-
<b>suma</b>	<b>208</b>	<b>18,7</b>	<b>51,74</b>
<b>výstupy</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>
hlavní plodina	124	21,4	24
vedlejší	3	0,6	6
průměrné ztráty	50	-	-
<b>suma</b>	<b>177</b>	<b>22</b>	<b>30</b>
<b>bilance</b>	<b>31</b>	<b>-3,3</b>	<b>21,74</b>

### 5.4 Bilance živin a změny pH na základě výsledků AZP

V tabulce 19 je znázorněna bilance živin a změna pH na základě agrochemických zkoušení půd, které bylo uskutečněno v letech 2003 a 2009. Hodnoty prvků jsou uváděny v miligramech na kilogram půdy (mg/kg). Navzájem jsou hodnoceny 3 různé pozemky podniku. Hodnoty z obou roků jsou mezi sebou porovnány a následně je vypočten jejich rozdíl jako výsledná bilance. Z výsledků vyplývá, že hodnota pH je u všech pozemků přibližně stejná, s maximálním rozdílem vychýlení 0,3. Největší pokles živin byl zaznamenán na pozemku „Kačičí“. Množství vápníku zde pokleslo o 159 kilogramů na tunu půdy, což je patrné i na mírné změně pH (o 0,2). Zároveň poklesl fosfor a draslík o 22 a 20 mg/kg. Dále byl zaznamenán znatelný pokles hořčíku na pozemku „Pod hájky“ o 62 mg/kg a pokles draslíku o 32 mg/kg. Ostatní bilance nenabývají příliš významných hodnot.



Tabulka 19: Výsledná bilance živin a hodnota pH mezi lety 2003 - 2009

<b>AZP 2003</b>	<b>pH</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>Ca (mg/kg)</b>
Kačičí	5,6	95	224	235	2291
Pod hájky	6,3	44	201	317	3455
Podsedky	5,4	49	234	257	2146
<b>AZP 2009</b>	<b>pH</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>Ca (mg/kg)</b>
Kačičí	5,4	73	204	261	2450
Pod hájky	6,6	49	186	255	3740
Podsedky	5,5	51	202	280	2480
<b>bilance</b>	<b>pH</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>Ca (mg/kg)</b>
Kačičí	-0,2	-22	-20	26	-159
Pod hájky	0,3	5	-15	-62	285
Podsedky	0,1	2	-32	23	334

V tabulce 20 jsou porovnány průměrné výsledky agrochemických zkoušení půd z let 2003 a 2009. Zaznamenáno bylo zvýšení množství vápníku o 259 mg/kg a současné zvýšení hodnoty pH o 0,1. Současně došlo k poklesu fosforu i hořčíku o 5 mg/kg. Draslík poklesl celkem o 22,6 mg/kg.

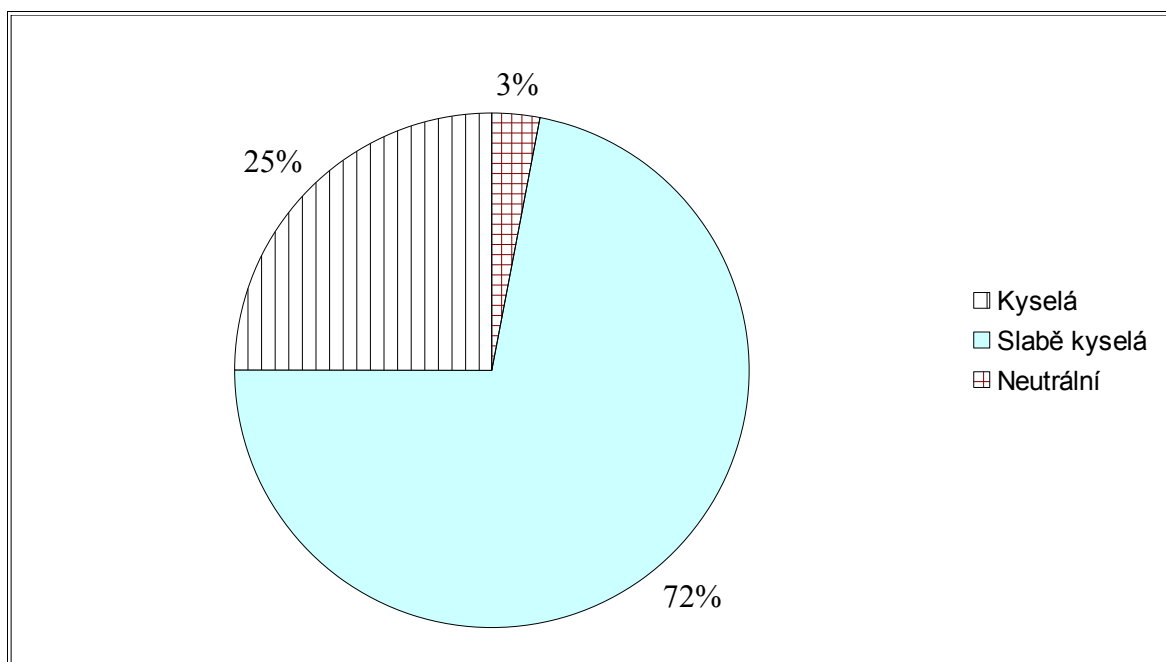
Tabulka 20: Průměrné hodnoty a bilance AZP

<b>průměr</b>	<b>pH</b>	<b>P (kg/t)</b>	<b>K (kg/t)</b>	<b>Mg (kg/t)</b>	<b>Ca (kg/t)</b>
AZP 2003	5,7	63	219,6	270	2631
AZP 2009	5,8	58	197	265	2890
<b>celkový průměr</b>	<b>5,75</b>	<b>60</b>	<b>208</b>	<b>267,5</b>	<b>2760,5</b>
<b>celková bilance</b>	<b>0,1</b>	<b>-5</b>	<b>-22,6</b>	<b>-5</b>	<b>259</b>

Z výsledků rozborů v grafu 4 vyplývá, že půda vykazuje kyselou až neutrální reakci. Převážná většina ploch má slabě kyselou reakci, čemuž odpovídá i průměrné pH 5,8. Podle ročních normativů dávek vápníku (příloha 2) lze určit, že pro optimalizaci pH je třeba použít průměrné množství 800 kg mletého vápence na hektar půdy na rok po dobu tří let. Na 96 hektarů zemědělské půdy pak celkové množství mletého vápence vychází na 55,2 tun na rok.

Graf 4 znázorňuje jednoznačnou převahu slabě kyselých půd v podniku.

Graf 4: Půdní reakce



## 6 Diskuse

### 6.1 Faremní bilance

Bilance dusíku na úrovni farmy, která činí asi 20 kg/ha, je podle Freyer et Pericin (1996) hodnocena jako slabý přebytek. Podle Balíka et al. (2012) se tato bilance pohybuje v normě trvalých ztrát. Čermák et al. (2007) uvádí průměrný akceptovatelný bilanční přebytek zhruba na úrovni 20 kg N/ha. V případě vyšších ztrát dusíku, které činí dle Šarapatky (2010) až 60 kg N/ha, může docházet vlivem denitrifikace a vyplavení dusíku ke snížení výživy rostlin pod hranici jejich celkové potřeby. Tento deficit se pak projevuje negativně ztrátami na výnose.

U fosforu byla zaznamenána záporné bilance -4,2 kg na hektar. Je tedy vidět, že výživa zemědělských plodin je bilančně na spodní hranici optimálního rozsahu a částečně může probíhat na úkor starých zásob v půdě. Při omezeném hnojení fosforečnými hnojivy je výrazně snížen obsah přístupného P v půdě. To má vliv na metabolické procesy v rostlině a důsledkem může být omezené využití dusíku a dalších biogenních prvků, uvádí Hlušek et al. (2006). Podobně je tomu i u draslíku, jehož bilance činí -1,8 kg na hektar zemědělské půdy podniku. Vzhledem k hodnocení Křena et al. (2011) se bilance fosforu i draslíku nacházejí v rozmezí optimálních hodnot.

### 6.2 Povrchová bilance

Přebytek dusíku u povrchové bilance (19 kg/ha), nacházející se dle Křena et al. (2012) v rozmezí nevyhnutelných ztrát, nevykazuje z ekonomického hlediska ztráty. Avšak podle hodnot, které jsou literatuře obvykle uváděny jako optimální pro rovnováhu (25 – 50 kg/ha) roční bilance dusíku, vykazuje vypočítaná hodnota hraniční přísun dusíku. Průměrné hodnoty ročních ztrát dusíku v České Republice uvádí například OECD (2008) ve výši 50 kg N na hektar zemědělské půdy. Z toho lze usoudit, že ztráty dusíku v rámci podniku mohou být vyšší než jeho výsledná bilance. Tento fakt může mít za následek nedostatečný přísun výživy dusíku plodinám, což se ve finále může projevit negativně na výnose. Klír et al. (2011) referuje, že pokud je bilance N po léta negativní, lze očekávat snížení zásoby dusíku v půdě, což nakonec vede ke zmenšení její produkční schopnosti. S rostoucí hodnotou bilance N stoupá nebezpečí ztrát dusíku. Při stanovení její tolerovatelné výše je třeba brát v úvahu půdně-klimatické podmínky lokality. Výsledná povrchová bilance fosforu v podniku činí -2 kg/ha zemědělské půdy. Podle Křena et al. (2011) se optimální hodnota roční bilance fosforu pohybuje od -5 do 5 kg P/ha (tabulka 15). V tomto rozmezí odpovídá bilance

požadavkům na hospodárné a pro životní prostředí šetrné zásobování fosforem. Bilanci v rozmezí od -26 do 26 kg P/ha lze považovat za tolerovatelnou v rámci pravidel správné zemědělské praxe. Dále narůstající odchylky charakterizují snižování úrovně udržitelného užívání půdy. Vychází se z toho, že zemědělec by měl vědět, jaká je zásobenost půdy, kterou obhospodařuje, jednotlivými živinami (Křen et al., 2011). Co se týká vstupů organických hnojiv, průměrná dávka na hektar vychází v podniku 4,6 tun na hektar zemědělské půdy. Ve srovnání s Čermákem et al. (2007), kde uvádějí průměrnou dávku v ČR pouze 0,55 t organických látek na jeden hektar zemědělské půdy, je dávka v podniku o více než osmkrát vyšší.

### **6.3 Bilance na jednotlivé pozemky**

Bilance dusíku na pozemku „Pod hájky“ s rozlohou jednoho hektaru činí +31 kilogramů. Podle Klíra et al. (2011) odpovídá výsledek optimální bilanci, a však v porovnání s průměrnou hodnotou v České Republice je výsledná bilance podle Čermáka et al. (2007) bezmála o 20 kg nižší. Pokud je naopak přebytek dusíku vyšší než 80 kg/ha/rok, je většinou efektivnost jeho vstupů do půdy menší než 50 % (Hlušek et Trávník 2002).

V případě dlouhodobě kladné bilance (přebytku) živin dochází k finanční újmě, k výrazným změnám půdního prostředí (to je možno pozorovat např. v případech zvýšeného obsahu draslíku nebo sodíku v půdě vedoucího ke změnám půdní struktury) a k negativnímu ovlivnění životního prostředí, zejména vodních zdrojů. V případě dlouhodobě záporné bilance (nedostatku) je půda o živiny ochuzována a může docházet k jejímu okyselení, destrukci sorpčního komplexu, a tím k nevratným změnám v úrodnosti (Šarapatka et al., 2010).

Vstupy fosforu se v povrchové bilanci podniku pohybují okolo 18 kg/ha, což je podle Klementa (2013) považováno za dostatečné. Na základě výsledků z dlouhodobých polních zkoušek je prokázáno, že pro udržení obsahu fosforu v půdě na počátečním stavu postačuje v řepářské i bramborářské výrobní oblasti průměrná roční dávka přibližně 13 kg fosforu na hektar. Obdobně pro udržení počátečního stavu přístupného draslíku v bramborářské výrobní oblasti až 125 kg K/ha. Při zpětném zapravení vedlejších produktů do půdy je dostatečná (podle výrobních oblastí) hladina hnojení na úrovni 33 až 50 kg K/ha. V tomto případě vstupy draslíků, které se pohybují okolo 50 kg/ha také vyhovují požadavkům hodnocení. Optimální hodnota roční bilance draslíku se podle Křena et al. (2011) pohybuje od -21 do 21 kg K/ha. V tomto rozmezí odpovídá bilance požadavkům na hospodárné a pro životní prostředí šetrné zásobování draslíkem. Hodnoty od -50 do 50 kg K/ha představují práh udržitelnosti. Dále

narůstající odchylky charakterizují snižování úrovně udržitelného využívání půdy. Hodnoty pod -141 kg K/ha nebo nad 141 kg K/ha se vyznačují deficitem draslíku.

#### **6.4 Bilance živin a změna pH na základě AZP**

Obsah fosforu je podle Klementa (2013) na dvou ze 3 hodnocených pozemků nízký, což souvisí podle Vaňka et al. (2012) i s nižšími hodnotami pH. U draslíku je obsah vždy hodnocen jako dobrý, avšak se zápornou bilancí okolo -25 mg/kg u všech pozemků. Tato patrná negaivní změna má jistou souvislost s obsahem přístupného hořčíku, který vykazuje pozitivní vývojový trend. Vzájemný vztah těchto dvou kationtů se negativně projevuje rozšiřováním poměru K : Mg. Podle Vaňka et al. (2012) zde dochází k antagonistickému působení iontů. Pro vyrovnání půdní zásoby je třeba dodat do půdy více draslíku v hnojivech, čímž dojde ke zúžení poměru těchto živin. Tento jev má následně pozitivní vliv na půdní úrodnost, což potvrzuje hypotézu III. Vápník vykazuje dle hodnocení podle Klementa (2013) nejhorší zásobenost – spadá do kategorie vyhovující. Tento fakt má souvislost s nižší hodnotou pH.

Vzhledem k tomu, že půdy vykazují v průměru slabě kyselé pH (5,8), pro optimalizaci živin je vhodná jeho úprava, v tomto případě zvýšení pH vápněním. Podle Klementa (2013) je doporučená roční dávka vápníku 286 kg na hektar (viz. příloha I). S ohledem na naměřenou průměrnou hodnotu pH se omezuje mobilita některých živin, především fosforu, který dále ovlivňuje přijatelnost a udržitelnost dusíku v půdě. Tyto faktory mají podle Vaňka et al. (2012) významný vliv na půdní úrodnost a sehrávají klíčovou roli při tvorbě výnosu. Proto je důležitá úprava půdní reakce a následné vyrovnání živin.

## 7 Závěr

Z výsledků hodnocení bilance živin na čtyřech úrovních vyplývá:

Faremní bilance u všech hodnocených prvků vyhovuje obecným požadavkům na optimální hladinu živin, avšak u fosforu a draslíku má klesající tendenci. Bez navýšení vstupů těchto živin by bylo hospodaření s pohledem do budoucna neudržitelné, jelikož by docházelo k jejich postupnému vyčerpání.

Povrchová bilance na úrovni podniku ve srovnání s faremní bilancí u dusíku nevykazuje výrazné odlišnosti, jedná se o rozdíl dvě kila ve prospěch faremní bilance. Avšak u fosforu zaznamenává povrchová bilance hodnotu přes polovinu vyšší. Jedná se o rozdíl 2,2 kg na hektar zemědělské půdy podniku. Největší rozdíl vykazuje draslík, který nabývá šestkrát menší hodnoty než u faremní bilance (-12 kg/ha), s rozdílem o 10,2 kg/ha. Z toho vyplývá, že na úrovni podniku draslík není vrácen do půdy v dostatečném množství a jeho přísun by měl být navýšen v dávkách draselných hnojiv.

Povrchová bilance na jednotlivých pozemcích u hodnoceného pozemku „Pod Hájký“ byly vypočítány bilance živin v rámci hektaru neoptimálnější. Dusík a draslík zde dosahují kladných hodnot blízkých horní hranici optima. Jen u fosforu je bilance záporná s hodnotou -3,3, ale spadá též do optimálního rozmezí.

Při srovnání faremní a povrchové bilance s bilancí na jednotlivých pozemcích jsou největší rozdíly patrné u draslíku. Je to zapříčiněno tím, že na orné půdě bývá sláma vrácena do půdy, na rozdíl od ostatních zemědělských ploch, jako jsou pastviny a louky.

Bilance živin z agrochemických zkoušení půd jsou částečně vyrovnané, kromě draslíku, který vykazuje ve všech případech zápornou bilanci, průměrně zhruba 25 mg/kg půdy. Na některých pozemcích (např. Podsedy) je patrná nižší zásoba fosforu v souvislosti s poměrně nízkým pH (5,4). Tento jev potvrzuje hypotézu II.

Na pozemcích podniku s průměrným pH 5,8 je třeba aplikovat podle Klemeta (2013) vyrovnávací dávku vápníku 3000 kg dolomitického vápence jednou za tři roky, čímž současně dojde ke zvýšení obsahu přístupného vápníku v půdě. Současně je třeba pro lepší úrodnost vyrovnat půdní zásoby fosforu a draslíku zvýšením dávky minerálního hnojení, čímž se potvrzuje hypotéza I.

## 8 Seznam literatury

- Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Kulhánek, M., Jakl, M. 2002. Fosfor v půdě a jeho koloběh v přírodě. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. ČZU Praha, ISBN 80-213-0957-1
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství. ČZU Praha. 40 s. ISBN 978-80-213-2329-2
- Beek1, C. L., Brouwer, L., Oenemal, O. 2003. The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 67 (3). 233-244
- Brock, Ch., Hoyer, U., Leithold, G., Jürgen, K. 2012. The humus balance model (HU-MOD): a simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*. 92 (3). 239-254
- Čermák, P. 2002. Vývoj obsahu přístupného fosforu v půdách České republiky. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. ČZU Praha, ISBN 80-213-0957-1
- Čermák, P., Dvorský, J., Klír, J., Kunzová E., Rozsypal, R., Hejátková, K. 2007. Bilance živin v ekologicky hospodařícím podniku. 2007. ZERA Náměšť nad Oslavou. 43 s. ISBN 80-903548-4-X
- Freyer, B., Pericin, C. 1996. Nährstoffhaushalt in biologisch bewirtschafteten Betrieben. *Agrarforschung*. 3. 29-32.
- Jandák, J., Prax, A., Pokorný, E. 2004. Půdoznalství. MZLU Brno. 142 s. ISBN 80-7157-733-2
- Klement, V. 2013. Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2011 až 2016. UKZUZ. [online] 2.12.2013 [cit. 10.10.2014]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/237065/Metodicky\\_pokyn\\_c.\\_9\\_SZV\\_1\\_vydani.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/237065/Metodicky_pokyn_c._9_SZV_1_vydani.pdf)

- Klement, V., Sušil, A. 2013. Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2007–2012. UKZUZ. 104 s. ISBN 978-80-7401-077-4
- Klír, J. 2002. Úroveň hnojení fosforem a jeho bilance v rostlinné výrobě v ČR. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. ČZU Praha, ISBN 80–213–0957-1
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. 2007. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 24 s. ISBN 978-80-87011-14-0
- Křen, J., Benada, J., Flašarová, M., Hubík, K., Krofta, S., Kryštof, Z., Macháň, F., Málek, J., Míša, P., Onderka, M., Pokorný, E., Sťádková, R., Špunar, J., Váňová, M. 1998. Metodika pěstování ozimých obilnin. Zemědělský výzkumný ústav. Kroměříž. 143 s. ISBN 80-902545-2-7
- 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. ISBN 978-80-7375-588-1
- Křen, J., Marada, P., Dušková, S., Lukas, V., Lipavský, J., Míša, P. 2012. Metodika získávání dat pro komplexní analýzy systémů rostlinné produkce. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 46 s. ISBN 978-80-7375-594-2
- Hlušek, J., Trávník, K. 2002. Výsledky dlouhodobých hnojařských pokusů. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. ČZU Praha. ISBN 80–213–0957-1
- Hlušek, J., Richter, R. 2006. Bilance živin v rostlinné výrobě ČR a potřeba hnojení. Racionální použití hnojiv - sborník z konference. ISBN 978-80-213-2006-2
- Neuberg, J., Jedlička, J., Červená, H. 1995. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe. Výživa a hnojení polních plodin. Ministerstvo zemědělství ČR. 65 s. ISBN 0231-9470



- Onema, O., Kros, H., Vries, W. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy* 20. 3-6
- Organisaton for Economic Co-operation (OECD). 2015. Nutrient balance (indicator). [online 27.3.2015]. Dostupné z: <https://data.oecd.org/agrland/nutrient-balance.htm>
- OECD. 2008. Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990. OECD. ISBN 978-92-64-04092-2
- Richter, D., Hofmockel, M., Callaham, M., Powlson D. S., Smith, P. 2007. Long-term soil experiments: Keys to managing Earth's rapidly changing ecosystems. *Soil science society of America journal*. 72 (2). 266-279
- Romanekov, V. A., Smith, J. U., Smith, P., Sirotenko, O. D., Rukhovitch D. I., Romaneko, I. A. Soil organic carbon dynamics of croplands in European Russia: estimates from the "model of humus balance". *Regional enviromental change*. 7 (2). 93-104
- Říha, K., Tichý, F. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press. Praha. 179 s. ISBN 80-867-2609-6.
- Scheck, R., Haakh, F. 2008. Hoftorbilanzen als Instrument zur Buerteilung einer grundwasserschonendenlandbewirtschaftung. [online 10.10.2014]. Dostupné z: [http://www.lwonline.de/fileadmin/downloads/aktu\\_fachbeitraege/Hoftorbilanzen\\_Sr\\_Hk-1.pdf](http://www.lwonline.de/fileadmin/downloads/aktu_fachbeitraege/Hoftorbilanzen_Sr_Hk-1.pdf)
- Stein-Bachinger, K., Bachinger, J., Schmitt, L. 2004. Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Darmstadt. 136 s. ISBN 3784321682.
- Stoorvogel, J.J., Smaling, E.M.A. 1998. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50: 151-158

Šarapatka, B., Dlapa, P., Benrna, Z. 2002. Kvalita a degradace půd. Univerzita Palackého. Olomouc. 246 s. ISBN 80-244-0584-9

Quitt, E., 1975. Klimatické oblasti ČSR (mapa 1:500 000). Geografický ústav ČASV Brno. Brno.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha ISBN 978-80-200-2147-2

Zimolka, J., Edler, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., Říha, K., Tichý, F. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press. Praha. 179 s. ISBN 80-867-2609-6.

## 9 Seznam příloh

- Příloha I**      Roční normativy dávek vápníku
- Příloha II**     Vhodné hodnoty pH půdy pro jednotlivé plodiny
- Příloha III**    Kritéria hodnocení obsahu přístupných živin
- Příloha IV**    Odběrové normativy plodin

Příloha I: Roční normativy dávek vápníku podle Klementa (2013) převedené na čistý vápník

Lehká půda		Střední půda		Těžká půda	
pH	kg Ca/ha	pH	kg Ca/ha	ph	kg Ca/ha
do 4,5	857	do 4,5	1071	do 4,5	1214
4,6 – 5	571	4,6 – 5	714	4,6 – 5	893
5,1 – 5,5	428	5,1 – 5,5	500	5,1 – 5,5	607
5,6 – 5,7	214	5,6 – 5,7	286	5,6 – 5,7	357
		6,1 – 6,5	143	6,1 – 6,5	179
				6,6 – 6,7	143

Příloha II: Vhodné hodnoty pH půdy pro jednotlivé plodiny podle Klementa (2013)

Plodina	pH	Plodina	ph
žito ozimé	4,8 – 7,1	luční trávy	5,3 – 6,2
pšenice ozimá	6,0 – 7,2	srha jilek	6,7 – 7,1
ječmen jarní	6,2 – 7,5	salát	5,7 – 6,8
oves	4,7 – 7,3	mrkev	5,2 – 6,7
brambory	4,7 – 6,2	řepa červená	6,5 – 7,1
cukrovka	6,7 – 7,4	kapusta	6,4 – 7,0
kukuřice	5,5 . 6,8	zelí	7,0 – 8,4
hrách setý	5,7 – 7,0	cibule	6,8 – 8,5
bob obecný	6,0 – 6,6	okurky	5,7 – 7,5
řepka ozimá	6,0 – 7,5	rajčata	6,0 – 6,9
mák	6,3 – 7,2	peckoviny	6,2 – 8,0
slunečnice	5,7 – 6,2	jádroviny	6,0 – 8,0
jetel luční	5,4 – 6,7	bobuloviny	5,5 – 7,0
vojtěška	6,7 – 7,8	jahodník	4,5 – 6,5

Příloha III: Kritéria hodnocení obsahu přístupných živin podle Klementa (2013)

<b>obsah</b>	<b>FOSFOR (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>		
nízký	Do 50		
vyhovující	51 – 80		
dobrý	81 – 115		
vysoký	116 – 185		
velmi vysoký	nad 185		
<b>obsah</b>	<b>DRASLÍK (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>lehká</b>	<b>střední</b>	<b>těžká</b>
nízký	do 100	do 105	do 170
vyhovující	101 – 160	106 – 170	171 – 260
dobrý	161 – 275	171 – 310	261 – 350
vysoký	278 – 380	311 – 420	351 – 510
velmi vysoký	nad 380	nad 420	nad 510
<b>obsah</b>	<b>VÁPŇÍK (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>lehká</b>	<b>střední</b>	<b>těžká</b>
nízký	do 1000	do 1100	do 1700
vyhovující	1001 -1800	1101 – 2000	1701 – 3000
dobrý	1801 – 2800	2001 – 3300	3001 – 4200
vysoký	2801 – 3700	3301 – 5400	4201 – 6600
velmi vysoký	nad 3700	nad 5400	nad 6600

Příloha IV: Odběrové normativy plodin podle Čermáka et al. (2007)

<b>Plodina</b>	<b>Hlavní produkt</b>	<b>Odběr živin v kg/t produktu</b>		
		<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
pšenice ozimá	zrno	25,0	5,2	19,9
žito, triticale	zrno	24,0	6,2	21,6
ječmen ozimý	zrno	26,0	5,7	24,1
pšenice jarní	zrno	26,0	5,2	19,9
ječmen jarní	zrno	24,0	5,2	19,9
hrách setý	semeno	-	7,5	37,4
řepka ozimá	semeno	50,0	11,0	49,8
JT směska	seno	-	2,6	12,5
luční seno	seno	17,0	3,1	12,5
brambory	hlízy	5,0	0,9	6,6