

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Hodnocení vztahů mezi výnosem ozimé řepky, hnojením
a agrochemickými vlastnostmi půd v zemědělském podniku**

Diplomová práce

Autor práce: David Šiler

Obor studia: Rostlinná produkce

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

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "**Hodnocení vztahů mezi výnosem ozimé řepky, hnojením a agrochemickými vlastnostmi půd v zemědělském podniku**" jsem 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

Velmi rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a čas, který mi věnoval při vzniku této práce.

Hodnocení vztahů mezi výnosem ozimé řepky, hnojením a agrochemickými vlastnostmi půd v zemědělském podniku

Souhrn

Cílem práce bylo hodnocení vztahů mezi dosaženým výnosem ozimé řepky, agrochemickými vlastnostmi půd a používaným systémem hnojení. Vliv daného ročníku (agrotechnika, průběh počasí apod.) na výnos řepky byl hodnocen jako jeden ze sledovaných faktorů. Vyhodnocení probíhalo v delší časové řadě (v ročnících 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 a 2017/2018) v zemědělské společnosti Rakochmel s.r.o. zabývající se pouze rostlinnou prvovýrobou, přičemž její významnou součástí je i pěstování chmele.

Regresní a korelační analýzou byla zjišťována těsnost vztahu a průběh závislosti mezi výnosem ozimé řepky a obsahem přístupných živin P, K, Mg, Ca a hodnotou pH. Stejnou metodou byl porovnáván výnos řepky s celkovými dávkami dusíku (v č. ž. $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z aplikovaných hnojiv.

Správná diferenciací dávek dusíku se projevila zvýšením výnosů, přičemž bylo dosaženo vyrovnaného faktoru produktivity využití dusíku. U shodných dávek dusíku je dosaženo vyšších výnosů na půdních blocích s dobrými agrochemickými vlastnostmi a nižší plošnou nevyrovnaností. Celkově vyšší dávky dusíku se pozitivně projevily i ve výnosech. Na půdních blocích s dobrými agrochemickými vlastnostmi bylo dosaženo vyšších výnosů oproti půdním blokům, které vykazovaly deficit některé z přístupných živin. Výsledky ukázaly, že zásobení živin na vysoké až velmi vysoké úrovni nemá opodstatnitelný význam a má minimální vliv na výnos.

Bylo zjištěno, že při volbě nevhodné odrůdy, nebo odrůdy s nižším výnosovým potenciálem, která je podpořena ostatními faktory (vlivem stanoviště apod.) může rozdíl ve výnosech překročit $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Z výsledků vyplývá, že vliv stanoviště a ročníku významně ovlivňuje výnos řepky ozimé. Úhrny srážek v období kvetení pod 100 mm se jeví jako nedostatečné a způsobují redukcí výnosu.

Klíčová slova: hnojení, ozimá řepka, výnos, půda

Evaluation of relations between winter rape yield, fertilization and soil agrochemical properties in farming company

Summary

The aim of this work was to evaluate the relationships between the yield obtained from winter rapeseed, the agro-chemical properties of soil and the fertilizer system used. The influence of the given year (agro-technology, the course of weather, etc.) on rapeseed yield was evaluated as one of the observed factors. The evaluation took place over a longer consequent period of time (years: 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 and 2017/2018) at Rakochmel s.r.o., an agricultural company that only deals with primary plant production, where growing hops is also an important part of its business.

The close relationship and the course of dependency between winter rapeseed yields and available nutrients content P, K, Mg, Ca and soil pH were determined using regression and the correlation analysis. A comparison of rapeseed yield and the total doses of nitrogen (in pure nutrients $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) from the applied fertilizers was conducted using the same method.

The proper differentiation of nitrogen doses resulted in higher yield, where a balanced nitrogen productivity factor was achieved. Higher yield is achieved for the same doses on soil blocks with good agro-chemical properties and a lower area imbalance. In general, higher nitrogen doses also have a positive impact on yield. Higher yield was achieved on soil blocks with good agro-chemical properties compared to soil blocks that lacked some of the available nutrients. The results showed that supplying nutrients on a high and very high level has no legitimate significance and has a minimum impact on yield.

It was found out that the difference in yield may exceed $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, if an unsuitable variety or a variety with a lower potential for yield, which is supported by other factors (influence of habitat, etc.), is chosen.

The results show that the influence of the habitat and the year significantly influence winter rapeseed yield. Total rainfall below 100 mm during blooming is insufficient and results in reduced yield.

Key words: fertilization, winter rape, yield, soil

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a hypotézy	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Tvorba výnosu řepky ozimé	3
3.1.1	Fyziologie a struktura výnosu	4
3.1.2	Možnosti ovlivnění struktury výnosu	5
3.1.3	Redukce výnosotvorných prvků v období vegetace	5
3.2	Výživa a hnojení ozimé řepky	6
3.3	Dusík (N)	7
3.3.1	Obsah a formy dusíku v půdě	8
3.3.2	Příjem dusíku rostlinami	8
3.3.3	Zakládání porostů řepky ozimé a její hnojení dusíkem během podzimního růstu	9
3.3.4	Jarní hnojení řepky ozimé dusíkem	12
3.4	Fosfor (P)	13
3.4.1	Fosfor v půdě	14
3.4.2	Fosfor v rostlinách	14
3.4.3	Výživa a hnojení řepky fosforem	15
3.5	Draslík (K)	16
3.5.1	Draslík v půdě	16
3.5.2	Draslík v rostlinách	17
3.5.3	Výživa a hnojení řepky draslíkem	18
3.6	Vápník (Ca)	19
3.6.1	Půdní kyselost a potřeba vápnění	19
3.6.2	Vápník v půdě	21
3.6.3	Vápník v rostlinách	21
3.7	Hořčík (Mg)	22
3.7.1	Hořčík v půdě	22
3.7.2	Hořčík v rostlinách	24

3.7.3	Výživa a hnojení řepky hořčíkem	26
3.8	Síra (S)	27
3.8.1	Síra v půdě.....	28
3.8.2	Síra v rostlinách	29
3.8.3	Výživa a hnojení řepky sírou.....	32
3.9	Bór (B)	33
3.9.1	Bór v půdě	34
3.9.2	Bór v rostlinách	35
3.9.3	Výživa a hnojení řepky bórem.....	37
3.10	Mangan (Mn), zinek (Zn) a molybden (Mo) ve výživě řepky.....	38
3.11	Hodnocení hlavních faktorů ovlivňující půdní prostředí a efektivitu rostlinné výroby.....	38
3.11.1	Výživa a hnojení polních plodin.....	39
3.11.2	Struktura plodin	40
3.11.3	Zhutnění půdy	40
3.11.4	Parametry a variabilita půdního bloku a jejich vztah k jeho obhospodařování.....	41
4	Materiál a metody.....	43
4.1	Charakteristika oblasti hospodaření	43
4.2	Agrochemické vlastnosti půd	46
4.3	Hnojení dusíkem	48
4.3.1	Hnojení dusíkem z časového hlediska.....	49
5	Výsledky.....	51
5.1	Porovnání celkové dávky dusíku a výnosu semen ozimé řepky.....	51
5.1.1	Rok 2014/2015	51
5.1.2	Rok 2015/2016	52
5.1.3	Rok 2016/2017	52
5.1.4	Rok 2017/2018.....	53
5.1.5	Faktor produktivity využití dusíku (PFP).....	54
5.2	Porovnání výsledků agrochemických vlastností půd a výnosu semen ozimé řepky	54
5.2.1	Rok 2014/2015	54
5.2.2	Rok 2015/2016	58

5.2.3	Rok 2016/2017	61
5.2.4	Rok 2017/2018	64
5.2.5	Hodnocení plošné nevyrovnanosti agrochemických vlastností půd (2015 – 2018).....	67
5.3	Agrotechnika a půdně klimatické podmínky.....	68
5.3.1	Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na termínu setí.....	68
5.3.2	Půdní podmínky a jejich variabilita	69
6	Diskuse	72
6.1	Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2014/2015	72
6.2	Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2015/2016	75
6.3	Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2016/2017	77
6.4	Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2017/2018	79
6.5	Komplexní hodnocení pěstebních podmínek a jejich vliv na výnos	81
6.6	Míra vlivu agrochemických parametrů na výnos řepky ozimé v letech 2015 - 2018.....	83
6.7	Porovnání výnosů ozimé řepky (2015 - 2018).....	84
7	Závěr.....	86
7.1	Hnojení dusíkem	86
7.2	Agrochemické vlastnosti půd	86
7.3	Termín setí	87
7.4	Vliv odrůdy	87
7.5	Povětrnostní a klimatické vlivy.....	87
8	Seznam použité literatury	88
9	Přílohy	94

1 Úvod

V současné době je rozsahem osevních ploch řepka ozimá velmi atraktivní plodinou, která významně ovlivňuje ekonomiku většiny zemědělských podniků. Pro agronomy je řepka bezesporu velmi významná a oblíbená plodina. Mnohdy je ale opomíjena její předplodinová hodnota, přičemž je považována za ideální předplodinu po pšenici a celkově hodnocená jako zlepšující plodina. Řepka je tržní plodina s širokými možnostmi využití, velmi dobrým odbytem, vysokou poptávkou a cenou vyšší než je cena obilovin. Právě v České republice je navíc spojená s velmi silným mediálním tlakem založeným na senzaci bez ohledu na její odborné poznání.

Pěstování řepky je v našich klimatických podmínkách vhodné, nicméně úspěšné pěstování závisí na výrobní oblasti, intenzitě pěstování, předplodině, odrůdě, ochraně proti škodlivým činitelům, systému hnojení, komplexní agrotechnice a konečném využití. Jednou z hlavních složek, kterou jsme schopni ovlivnit je výživa rostlin. Na základě agrochemických rozborů půd, analýzy použitých hnojiv a hektarových výnosů je možné odhalit některé nedostatky ve výživě rostlin a nastavit tak racionálnější směr výživy a hnojení.

V současné době jsou v rámci optimalizace pěstebních systémů neustále hledány nové technologické postupy, které zajišťují zvýšení ekonomické a energetické efektivity. Zároveň je kladen důraz na eliminaci degradačních půdních procesů, erozi, zvýšení infiltrační schopnosti půd, omezení nežádoucího technogenního zhutnění, na podporu a zlepšení půdní struktury.

Měli by být využívány principy diferencovaných agrotechnických zásahů (hnojení, zpracování půdy), které v pěstebních technologiích umožní zefektivnit a optimalizovat spotřebu materiálových vstupů, a tím snížit negativní dopady.

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bylo hodnocení vztahů mezi dosaženým výnosem ozimé řepky na provozních plochách zemědělského podniku v interakci s výsledky agrochemických rozborů půd a používaným systémem hnojení. Vyhodnocení bylo provedeno v hospodářských letech 2015 - 2018, přičemž vliv ročníku (agrotechnika, průběh počasí apod.) byl hodnocen jako jeden ze sledovaných faktorů.

Výzkumné hypotézy

- Předpokládá se, že výnos semene řepky ozimé bude vyšší na půdách s dobrými agrochemickými vlastnostmi, v porovnání s půdami, kde bude nízký obsah živin.
- Předpokládá se, že vyššího výnosu semene řepky ozimé bude dosaženo na pozemcích s celkově vyšší dávkou dusíkatého hnojení.
- Včasné založení porostů bude mít pozitivní vliv na výnos semene řepky ozimé.

3 Literární rešerše

3.1 Tvorba výnosu řepky ozimé

Ontogeneze, tedy životní cyklus řepky, trvá 11 - 12 měsíců, přičemž probíhá fáze vegetativní (růstová) a fáze generativní (plodná). Tyto dvě fáze se v období listopadu - března překrývají a nastává doba kryptovegetace. Vegetativní vývoj probíhá ve třech růstových fázích. Nejintenzivnější růst v podzimní vegetativní fázi probíhá v období září až října. Hlavním místem zásobních látek je především kořenový krček a kořeny. Řepka by měla v listopadu ukončit tvorbu listové růžice s 6 - 10 listy, délkou listů do 25 cm, hmotností nadzemní biomasy 1,4 - 1,8 kg.m⁻² a mohutným kúlovým kořenem. K přechodu do generativní fáze dochází od poloviny října se zkracováním délky dne. Pro dosažení těchto parametrů potřebují rostliny řepky alespoň 60 - 70 dnů plné vegetace. Rostliny, které mají méně jak 4 listy a sílu kořenového krčku méně než 4 mm lze považovat i při optimální jarní agrotechnice za výnosově neperspektivní a silně rizikové k vyzimování (Diepenbrock, 2000).

Kryptovegetace je doba, kdy ustal růst nadzemní biomasy již při + 5 °C. Většinou dochází i k redukci biomasy. Často však ještě pokračují kořeny v růstu, zejména pokud je teplota půdy + 2 °C. V zimním období dochází ke změnám na vegetačním vrcholu řepky, který vývojově pokročí o dvě etapy již nevratně do generativní fáze. Tvorbu výnosu umožní až vegetativní růst, jehož podstatná část je soustředěna na konec března až začátek května (Bečka et al., 2007; Diepenbrock, 2000; Zhang et al., 2017). V období zimní kryptovegetace (prosinec - únor), kdy se teplota vzduchu soustřeďuje pod + 5 °C, se délka rostlin i listů zmenšuje cca o 10 %, roste obsah sušiny z cca 12 na 17 % a snižuje se obsah dusíku v pletivech. Při delším období holomrazů (teploty pod - 15 až - 20 °C) zpravidla dochází k poškození i destrukci listů a listových srdéček. Naopak u přerostlých a celkově slabších rostlin hrozí riziko poškození holomrazy již při teplotách -13 °C. Vyšších výnosů je dosahováno ve vegetačně mírných a krátkých zimách (Bečka et al., 2007; Zhang et al., 2017).

Generativní vývoj je poměrně souvislý a nejvíce změn se soustřeďuje na únor - květen. Jarní vegetace navazuje na objevení bělavých zón na kořenovém vlášení a teplota půdy se pohybuje nad + 2 °C. Koncem února nebo počátkem března je zahájeno regenerační (1. hnojení) hnojení dusíkem. V první polovině dubna začíná dlouhivý růst řepky (rostliny mají délku asi 20 cm, dokončení 2. dávky dusíkatého hnojení), který je po objevení poupát velmi intenzivní. Intenzivní dlouhivý růst je dlouhý asi 14 dní, končí začátkem kvetení, rostliny řepky

vytvoří asi polovinu své nadzemní biomasy. Denní přírůstek se pohybuje okolo 5 - 8 cm, zředuje se obsah všech živin, zejména hlavně dusíku. V průběhu kvetení rostliny řepky dosáhnou 80 % konečné hmotnosti. Po odkvětu se zvyšuje obsah sušiny a přes ztrátu listů dochází ke zvýšení výnosu biomasy v důsledku tvořících se šešulí. Výnos sušiny v době zralosti poklesne asi o 5 % a rostliny se zmenší (Bečka et al., 2007).

3.1.1 Fyziologie a struktura výnosu

Pro utváření výnosu je základním procesem fotosyntetická asimilace, díky které se za přítomnosti CO₂, vody a živin transformuje energie slunečního záření do organické hmoty. U ozimé řepky má z hlediska utváření tvorby výnosu značný význam utváření pokrývnosti listoví (LAI - Leaf Area Index, m².m⁻²) a tvorba sušiny. Významným ukazatelem je tzv. čistý výkon asimilace (NAR - Net Assimilation Rate, hmotnost. plocha⁻¹. čas⁻¹), který vyjadřuje rychlost tvorby sušiny na jednotku asimilační plochy, tedy obvykle listů. Výkonnější jsou ty odrůdy, které mají elektrofilní, převážně vertikálně postavené listy oproti rostlinám s listy horizontálně postavenými. V pokusech Diepenbrocka (2000) byl sledován vztah mezi LAI, počtem šešulí a semen, přičemž byla zjištěna pozitivní korelace mezi LAI na začátku kvetení a utvářením hlavních výnosotvorných prvků. Pro tvorbu vysokého biologického a hospodářského výnosu je významným faktorem dynamika tvorby asimilačního aparátu a délka jeho činnosti. Z mnoha pokusů vyplývá, že optimální pokrývnost listoví u řepky ozimé by se do nástupu zimy měla pohybovat kolem 1,5 - 2,5 LAI. V jarním období je nutno zdůraznit požadavek na rychlou regeneraci listové plochy a její relativně dlouhou životnost. V souladu s generativním vývojem by LAI neměla překročit v období maximálního vývinu hodnotu 4 a klesnout pod 3. Z hlediska utváření výnosu porostu řepky je podstatný i počet listů, neboť pupeny v úžlabí listů jsou potencionálně schopné vytvořit plodonosné větve (Baranyk et al., 2007; Diepenbrock, 2000).

Pro řepku ozimou je z pohledu utváření listové plochy typická dvouvrcholová křivka s jedním maximem na podzim a s druhým na jaře před květem. Přejít úžlabních pupenů do fáze generativní pak závisí na celkové délce podzimní vegetace, vláhových a teplotních poměrech, výživě a hnojení porostů a celkových vnitřních regulačních mechanismech. Maximální pokrývnost šešulí (PAI - Pod Area Index) dosahuje v období úplné listové plochy hodnot 2 - 3 (Weymann et al., 2015).

3.1.2 Možnosti ovlivnění struktury výnosu

Konkurenční vztahy a autoregulační schopnost jednotlivých výnosotvorných prvků určuje hustota porostu - počet rostlin na 1 m². Z tohoto důvodu je proto nezbytná optimalizace počtu jedinců na jednotku plochy stanovená vhodným výsevem. Racionální výživa ozimé řepky na podzim a vhodné plošné rozmístění rostlin společně se správnou dobou setí rozhodujícím způsobem ovlivňuje schopnost porostů přezimovat, a tím i zajišťuje stabilitu výnosů. Optimálních výsledků je dosahováno při setí do úzkých řádků a nízkého až středního počtu rostlin. V období sklizně se optimální počet rostlin pohybuje v rozmezí 30 - 80 jedinců na 1 m². Počet šesulí na 1 m² je dán hustotou porostu (počet jedinců na 1 m²) a počtem šesulí na rostlině. Hmotnost tisíce semen je výnosotvorným prvkem, který je podmíněn geneticky, ročníkem, prostředím, souborem pěšebních opatření včetně výživy, způsobem sklizně a zdravotním stavem porostu. Se vzrůstajícím počtem semen v šesuli klesá HTS. U jedné rostliny se množství semen v šesuli utváří v závislosti na rozmístění šesulí na větvích (Diepebrock, 2000; Zhang et al., 2017).

Významným vlivem, který působí na redukci počtu rostlin v podzimním období, jsou nedostatečné srážky. Mezerovitost porostů řepok podmíněná klimatickými faktory se projevuje zvláště v období zakládání porostů. Tento stav není možné eliminovat ani zvýšením výsevu ani vyšší intenzitou hnojení. V aridnějších oblastech s nedostatkem či nerovnoměrným rozložením srážek je možné využít některá z typů minimalizačních agrotechnických zásahů, předpokládající spojování pracovních operací (Baranyk et al., 2007; Zhang et al., 2017).

3.1.3 Redukce výnosotvorných prvků v období vegetace

Ke značné redukci výnosotvorných prvků dochází během zimního a předjarního období. Při poškození vzrostného vrcholu, důsledkem nízkých teplot nebo i mechanicky zvěří, dochází k porušení apikální dominance a dojde k intenzivní tvorbě vedlejších větví z úžlabních pupenů, čímž dojde ke ztrátě významného podílu hlavního květenství na tvorbě výnosu. Následkem je dále redukce počtu šesulí, počtu semen v šesulích a HTS vlivem postupného přechodu větví, které vznikly dodatečnou regenerací, do generativní fáze. Pozdní zahájení vegetace a relativně vysoké teploty při deficitu srážek podstatně snižují počet plodných větví, a tím i šesulí. Dále bylo zjištěno, že při krátkém období kvetení, rychlém dozrávání a nedostatku vláhy dochází k redukci výnosu. Optimální doba kvetení je

kolem 30 dní, denní teplota vzduchu pro dozrávání kolem 11,7 °C a průměrný roční úhrn do 700 mm. Důležité je rozložení srážek do období nejvyšší potřeby řepky. Nejvíce je řepka náročná na srážky po zasetí a v období od kvetení asi po dobu jednoho měsíce (období tvorby semen). Fyziologický opad pupat v generativním období, který vedle poruch ve výživě a v hladině fytohormonů bývá vyvolán velmi nízkými teplotami v období butonizace, nízkou vzdušnou vlhkostí, či určitým šokem ze změny vláhových poměrů (Weymann et al., 2015).

3.2 Výživa a hnojení ozimé řepky

Řepka ozimá se ve spotřebě živin řadí mezi nejnáročnější plodiny, což je v porovnání s obilovinami 2 - 3 krát více. Řepka má díky vysoké intenzitě hnojení, chemické ochraně a mohutnému kořenovému systému vysokou předplodinovou hodnotou. Uspokojivých výsledků je možné dosáhnout pouze na půdách s vhodnou zásobou přístupných živin, racionální výživou a hnojením a vhodnou technologií pěstování (Szczeplaniak et al., 2015).

Odběrový normativ (tabulka 1) jednotlivých živin se liší v závislosti na intenzitě hnojení, půdně-klimatických podmínkách, odrůdě a celkové technologii pěstování. Tabulka 2 představuje dynamiku odběru živin v průběhu vegetace, za předpokladu, že je z pozemku odvezen pouze výnos semene řepky. Vyšší odběry živin (graf 1) uvádí Vaněk et al. (2016), z čehož je zřejmé, že řepka je velmi intenzivní plodinou a ve své nadzemní biomase akumuluje značné množství živin.

Ozimá řepka má dobrou osvojovací schopnost pro živiny. Výkonnost příjmového aparátu je několikanásobně vyšší oproti ostatním běžným plodinám. Efektivních výsledků je u řepky dosaženo, když půda umožňuje příjem živin v náležitě výši a ve vzájemně vyrovnaných poměrech (Liu et al., 2017; Szczeplaniak et al., 2015).

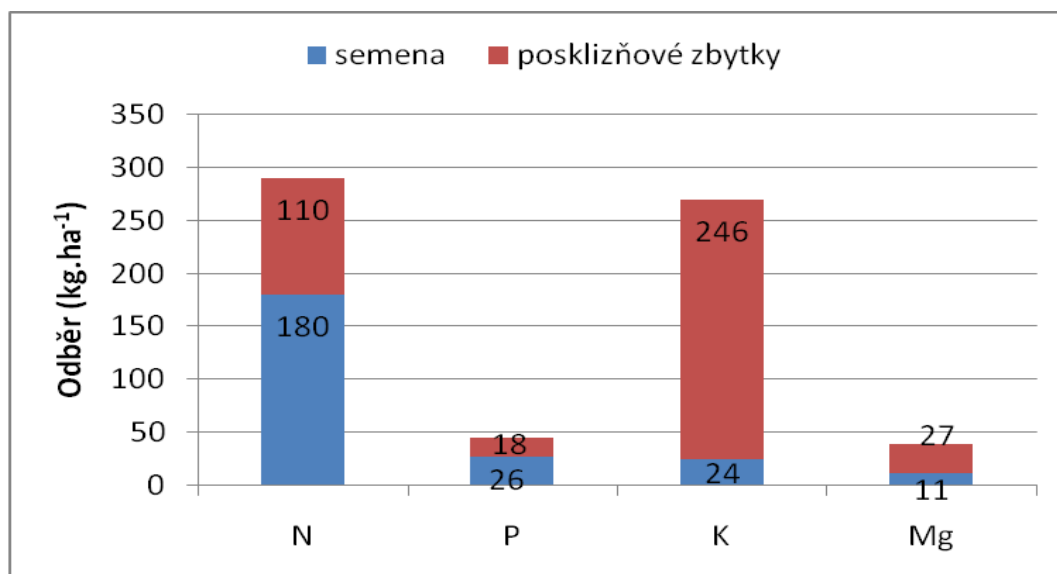
Tab. 1: Odběrový normativ jednotlivých živin na výnos 1 t semene a odpovídající množství slámy (upraveno dle Balík, 2007 in Baranyk et al., 2007)

kg.t ⁻¹						g.t ⁻¹					
N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu	Mo	B
55	15	47	34	5	14	155	70	80	22	4	93

Tab. 2: Návratnost základních živin do půdy posklizňovými zbytky včetně opadů listů během vegetace (upraveno dle Balík, 2007 in Baranyk et al., 2007)

Živina	N	P	K	Ca	Mg	S
% návratnosti	38	33	82	86	50	74

Graf 1: Množství živin v posklizňových zbytcích a semenech řepky ozimé (upraveno dle Vaněk et al., 2016)



3.3 Dusík (N)

Dusík je v rostlinách zastoupen v anorganické a převažující organické formě. V rostlinách plní organické sloučeniny například stavební, metabolickou, transportní i zásobní funkci. Především se dusík nachází v aminokyselinách. Právě aminokyseliny a báze nukleových kyselin jsou základními stavebními jednotkami primárních metabolitů. Proteiny (například různé zásobní bílkoviny semen, enzymy) a specifické proteiny významné v membránách (například fosfoproteiny, lipoproteiny, glykoproteiny) či proteiny se specifickými funkcemi vznikají spojením aminokyselin amidickou vazbou. Proteiny obsahují až 18,9 % dusíku a jsou součástí všech živých buněk a pletiv. V sušině rostlin se množství dusíku pohybuje v rozmezí 1 - 3 % a velmi málo klesá pod hodnotu 1 %. V rostlinách je regulován různými způsoby, pravděpodobně i geneticky a je v různých částech rostlin odlišný. V různých rostlinných částech dochází ke změnám v obsahu živin v průběhu jejich ontogeneze (Rathke et al., 2006; Zehnálek et al., 2006).

3.3.1 Obsah a formy dusíku v půdě

Rostliny přijímají dusík ve formě amonného kationtu NH_4^+ , nebo nitrátového (dusičnanového) aniontu NO_3^- . V půdě je převážná část dusíku (více jak 95 %) v organické formě, který je pro rostliny prakticky nedostupný. Dusík v přístupné minerální formě (NO_3^- , NH_4^+) představuje pouze malou část, asi jen kolem 2 % z celkového množství. V půdě je vázán do těžce biologicky i chemicky rozložitelných sloučenin (je vázán na aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin, huminů apod.). Obsah dusíku v půdě se pohybuje kolem 0,1 - 0,2 %. Mineralizací je v závislosti na půdním typu zpřístupněno 90 - 200 kg N.ha⁻¹. Vzniklé kationty NH_4^+ jsou výměně vázány na sorpční půdní komplex nebo jsou pevně fixovány do mezivrstevových prostorů jílových minerálů. Při postupném prohřívání půdy postupně dochází k přeměně NH_4^+ na NO_3^- (nitrifikace). Tento proces je velmi citlivý na vnější podmínky (teplota půdy, dobrá aerace půdy, pH půdy, forma aplikovaného hnojiva). Denitrifikace je redukční proces, kdy jsou nitráty redukovány až na elementární stav dusíku. Převažující je v našich podmínkách denitrifikace mikrobiální, způsobená fakultativně anaerobními organismy, využívající během rozkladu kyslík nitrátů. Anionty NO_3^- jsou v půdě pohyblivější a snadněji se hmotovým tokem vody dostávají do rhizosféry (Balík et al., 2012; Britto et al., 2002; Pavlíková et al., 2008).

3.3.2 Příjem dusíku rostlinami

Příjem NO_3^- kořeny rostlin, jejich následná redukce a asimilace představují hlavní způsob, jímž je anorganický dusík přeměňován na organický. Do buněk je NO_3^- transportován aktivním systémem a po vstupu do rostliny je redukován ihned v kořenech, nebo až v listech. Vnikající NO_3^- do cytosolu může být redukován na amonný iont, dočasně převeden do vakuoly, symplastem transportován do xylému nebo pasivně unikne z kořenů zpět do substrátu. Redukce NO_3^- nejprve probíhá tak, že je nitrátoreduktásou nejprve redukován NO_3^- za vzniku NO_2^- , který je pak enzymem nitritoreduktásou redukován na NH_3 . Aktivita nitrátoreduktázy je ovlivněna množstvím nitrátů, světlem a také přítomností Mo, Fe, Cu, Mn a Mg. Nitrity jsou pro buňky toxické, proto jsou bezprostředně nitritoreduktásou, lokalizovanou ve stromatu plastidů, redukovány (Pavlíková et al., 2008; Zehnálek et al., 2006).

Amoniak je do aminokyselin zabudován dvěma způsoby. Ve vyšších koncentracích amoniaku je funkční enzym glutamátdehydrogenáza, který katalizuje reakci 2-oxoglutarátu. Druhým, účinnějším způsobem je enzymový systém GS - glutaminsyntetáza a GOGAT -

glutamátsyntetáza. Enzym GS je oblastí styku metabolismu uhlíku a dusíku v chloroplastech a podílí se také na zabudování amoniaku do 2-oxoglutarové kyseliny v mitochondriích i peroxizomech. Při syntéze aminokyselin má klíčové postavení glutamát. Rostliny mohou přijímat dusík i ve formě NH_4^+ a některých aminokyselin za účasti celé skupiny enzymů. Dle některých výzkumů je na lokalitách s nízkým obsahem živin nebo vysokým obsahem organických látek dusík přijímán v organických formách. Kořeny rostlin vylučují zvýšené množství polyfenolů, které urychlují rozklad bílkovin na aminokyseliny. Aminokyseliny jsou společně s fenoly rostlinami přijímány a následně jsou začleněny do metabolismu (Britto et al., 2002; Rathke et al., 2006; Vaněk et al., 2012; Zehnálek et al., 2006).

Při hnojení močovinou je příjem celých molekul močoviny v přirozených podmínkách málo pravděpodobný, neboť močovina podléhá velmi rychlému enzymovému rozkladu. Dochází k hydrolytickému štěpení, přičemž vzniká uhličitán amonný. Uhličitán amonný se snadno rozkládá a uvolňuje na amoniak. Amonný dusík, který vznikl rozkladem močoviny je přímo zdrojem dusíku pro rostliny nebo je za optimálních podmínek oxidován nitrifikačními bakteriemi až na nitráty. Asimilace močoviny je metabolický aktivní proces, který je pro rostliny zdrojem dusíku ale i uhlíku (Zehnálek et al., 2006).

Nedostatek dusíku se u porostů řepky projevuje již od počátku vegetace a má za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin. Známými projevy je omezení růstu rostlin a všech důležitých orgánů, rostliny jsou nižší, porosty nevyrovnané a světlejší. Omezená je také tvorba chlorofylu, která vede ke snížení fotosyntézy, a tím k nižší tvorbě biomasy. V důsledku omezené tvorby kořenů je celkově snížen příjem i ostatních živin. Omezená výživa dusíku vede většinou ke zkrácení vegetační doby a rychlejšímu dozrávání.

Na nadbytek dusíku řepka reaguje velmi zřetelně, rostliny jsou vyšší, bohatě větví, mají velké sytě zelené zvlněné listy, hůře přezimují a snižuje se i obsah oleje v semeni. Přehoustlé porosty řepky mají uvnitř horší světelné podmínky a vyšší vlhkost, čímž se v porostech vytváří příznivé mikroklima zesilující napadení rostlin zvláště houbovými chorobami (Mikanová et Šimon, 2013; Rathke et al., 2006).

3.3.3 Zakládání porostů řepky ozimé a její hnojení dusíkem během podzimního růstu

Při zakládání porostů řepky je rozhodujícím faktorem termín setí a riziko ztrát vody při zpracování půdy před setím. Na stanovištích, kde bylo u předplodin dosaženo vysokých

výnosů zrna a slámy, je třeba věnovat velkou pozornost hnojení dusíkem na slámu a přihnojení řepky během podzimního růstu. Důležitým faktorem z hlediska uvolňování živin je i systém zpracování půdy. V ČR se rok od roku zvyšuje podíl bezorebných technologií oproti tradičním systémům s orbou. V minimalizačních systémech zpracování půdy v porovnání s orbou většinou dochází k menšímu uvolňování živin z půdy mineralizací, a tím zpravidla bývá vyšší efekt hnojení minerálními a organickými hnojivy (Hůla et al., 2008).

Z výsledků pokusů z let 2005 - 2013 výzkumného ústavu Praha Ruzyně vyplývá, že stabilnější výnosy semen, zejména v sušších oblastech s častými přísušky, jsou dosaženy při použití minimalizačních technologií než při orbě. Pozitivních výsledků bylo dosaženo na půdách bez zpracování, kde bylo provedeno pouze povrchové zpracování (do 3 cm) rotačními bránami. U této varianty bylo zjištěno nejvíce vyrovnané vzházení a podzimní růst (Růžek et al., 2017).

Hnojení při setí

Pokud zůstává po předplodině více slámy a zpracování je nižší intenzity, je třeba zvýšené pozornosti hnojení dusíkem (i dalšími živinami) před setím nebo současně během setí. Silné a nepřerostlé porosty jsou do zimního období schopny přijmout 80 - 100 kg N.ha⁻¹. Takovéto porosty mají většinou v listopadu a následně po zimě zjištěny nízké obsahy NO₃⁻ a NH₄⁺ v půdě. Při hnojení na strniště či slámu před setím je vhodná aplikace krystalického síranu amonného nebo kejdy prasat s následným zapravením do půdy. Velmi důležité pro rozklad slámy je, aby na ní hnojivo setrvalo a největší část dusíku zůstala ve formě NH₄⁺. Pro zefektivnění rozkladu slámy se zejména do tekutých minerálních i statkových hnojiv (kejda, DAM apod.) s amoniakální a amidickou formou přidávají inhibitory nitrifikace. Ty omezí přeměnu, zpravidla 3 - 6 týdnů, amoniakální formy na nitrátovou. Při nedostatečném rozkladu slámy během podzimního období, může v jarním období pokračování rozkladu slámy konkurovat v dostupnosti dusíku a menší míře i dalších živin. Před setím je možná i aplikace hnojiv typu močovina, LAV, amofos, NPK apod. Během posledních let se jako efektivní jeví ukládání hnojiva do míst rozvoje kořenového systému, a to i do hlubších vrstev půdy (Brant et al., 2016; Růžek et al., 2017).

Hnojení během podzimního růstu

Při plánovaném výnosu kolem 4 t.ha⁻¹ by mělo být cílem vytvoření silného porostu již v podzimním období, který dle pěstované odrůdy do zimy odebere 50 - 70 kg N.ha⁻¹, v jarním období rychle regeneruje a vytváří výkonný listový aparát. Dostatečná výživa zvyšuje rychlost fotosyntézy, což se pozitivně projeví lepším růstem nadzemní biomasy, ale i kořenů, kde je ukládáno větší množství zásobních látek, které se uplatní při přezimování a na začátku jarní vegetace (Růžek et al., 2016).

U slabých porostů řepky do čtvrtého listu v období září je vhodné použít například ledek amonný s vápencem nebo ledek amonný s dolomitem. V průběhu října je možné použití močoviny, ideálně aplikované před srážkami nebo v oblastech s nejistými srážkami aplikovat hnojiva s inhibitory nitrifikace (UREA^{stabil}). Ovšem i při použití těchto hnojiv je třeba, aby se ideálně během 14 dnů dostavily srážky v úhrnu minimálně 5 mm. Pokud je hnojení prováděno v říjnu, je zapotřebí aby se převážná část aplikovaného dusíku ve vhodné formě dostala ke kořenům řepky. Při použití hnojiv s nitrátovou formou hrozí riziko zvýšeného příjmu rostlinami, proto je z tohoto důvodu vhodnější amidická, případně amonná forma dusíku. Po srážkách se dusík z nepřeměněné močoviny dostává ke kořenům rostlin, kde se poměrně rychle, v důsledku dosud teplé půdy a stále vysoké aktivity enzymu ureázy, přeměňuje na amoniakální formu, která je kořeny rostliny přijímána a půdními mikroorganismy využívána k rozkladu slámy. Díky příjmu dusíku kořeny je podpořen jejich růst a síla kořenového krčku. V důsledku omezené nitrifikace je část nepřijatého dusíku v blízkosti kořenů, který je připraven v amoniakální formě pro jarní regeneraci. Amoniakální forma dusíku je v kořenech metabolizovatelná, kam jsou translokovány energeticky bohaté uhlíkaté látky z listů, čímž jsou vytvářeny vhodné podmínky pro přezimování a jarní regeneraci (Černý et al., 2015b; Růžek et al., 2016).

Z širokého sortimentu je možné použít hnojiv typu LAV, LV, DA, DAM 390, DASA, SAM, NPK, močovina s inhibitory nitrifikace apod. Hnojení je třeba realizovat na základě stavu porostů a půdně klimatických podmínek (půdní a vláhové podmínky, obsah N_{min} aj.). Významným podzimním opatřením je také aplikace růstových regulátorů, nejčastěji azolového typu, indukující mnoho morfologických i biochemických změn (zpomalení růstu nadzemní hmoty, stimulace kořenové soustavy, inhibice biosyntézy giberelinů, ochrana rostliny před stresy apod.) (Černý et al., 2015b).

Organické hnojení

Organická hnojiva jsou z pohledu udržení půdní úrodnosti nenahraditelná. Jejich aplikací jsou do půdy dodávány jak rostlinné živiny, tak organické látky, mikroorganismy, stimulační, růstové a hormonální látky. Jejich působení je většinou pozvolnější a dlouhodobé (využití N v 1. roce 25 %, 2. roce 15 % a 3. roce 5 %). Půdy pravidelně hnojené organickými hnojivy se vyznačují lepšími fyzikálními vlastnostmi, infiltrační schopností půdy, lépe zadržují živiny, jsou odolnější k výkyvům pH, umožňují vhodnější dávkování minerálních hnojiv a lepší využití živin rostlinami (Baranyk et al., 2007; Vach et Javůrek, 2008).

Z organických hnojiv je nejvhodnější kvalitní dobře vyzrálý chlévský hnůj v dávce 20 - 30 t.ha⁻¹. Nutné je jeho bezprostřední zapravení do půdy (legislativa vyžaduje zapravení do 48 hodin), z důvodu omezení ztrát volatizací a také vyšší efektivity využití dusíku. Vyšší efektivity využití dusíku je docíleno systémem hlubšího kypření v porovnání s orbou. Z ostatních hnojiv je možné využít kejdy, močůvky či digestátu s možností aplikace na slámu obilní předplodiny či samostatně před setím řepky. Dávky výše uvedených hnojiv by měly korespondovat s podzimní potřebou dusíku (50 - 80 kg č.ž.N.ha⁻¹ odpovídá dávce kolem 15 - 25 t.ha⁻¹). Kromě dusíku je půda významně obohacena i o draslík, ostatních živin je ve stájových hnojivech poměrně málo a nestačí pokrýt potřebu řepky (Baranyk et al., 2007).

3.3.4 Jarní hnojení řepky ozimé dusíkem

Při stanovení dávek dusíku je nutné vycházet z půdních a klimatických podmínek, biologické kontroly stavu porostu po zimě a ze znalostí biologie pěstované odrůdy. Z těchto důvodů není možný jednotný obecný návod pro hnojení dusíkem (Rathke et al., 2006).

Včasná regenerační hnojení řepky je velmi důležité, neboť kořenový systém regeneruje již při teplotách + 2 °C. Za vhodná hnojiva jsou považována ledek vápenatý, ledek amonný s vápencem nebo močovina v pevné formě. Silné a dobře přezimované porosty při předpokládaných výnosech kolem 4 t.ha⁻¹ zpravidla vyžadují dávku v rozmezí 120 - 200 (i více) kg N.ha⁻¹. Takovéto porosty je vhodné přihnojit regenerační dávkou do 80 kg N.ha⁻¹. Avšak při zakládání porostů řepky v sušších oblastech minimalizačními technologiemi nebo při dosud nerozložené slámě po předplodině v půdě je doporučováno navýšení dávky až na 100 kg N.ha⁻¹. Pro hnojení v období února a první polovině března je vhodné použití amidické formy dusíku (močovina, UREA^{stabil}, močovina se sírou), zatímco při pozdějších termínech hnojení je vhodná nitrátová forma (LAV, LAD apod.). V případě dobré

povrchové struktury půdy s hodnotou pH nad 6 a bělavými kořínky dosahující až k povrchu půdy, je možné k časnému regeneračnímu hnojení použít méně pohyblivou amonnou formu (DASA, SA). Při použití nitrátové formy již v časných termínech je doporučováno dávku snížit. Zvýšený příjem nitrátové formy v časných termínech podporuje vegetativní růst, což má za následek vyšší citlivost k nízkým teplotám. V případě nevyhovujících povětrnostních podmínek (sněhová pokrývka, srážky) může hrozit riziko vyplavení této formy dusíku. Druhou dávku dusíku je třeba aplikovat ihned, jakmile po regeneračním hnojení začnou rostliny vegetovat. Žádoucí je použití hnojiv s obsahem síry ve vodorozpustné síranové formě. Při časném hnojení nebo při hnojení v horších podmínkách (např. na částečně zamrzlých nebo podmáčených pozemcích, s nesouvislými zbytky sněhu, svažitých pozemcích apod.) je nutné první dávku snížit a celkovou dávku rozdělit na několik dílčích (Rathke et al., 2006; Růžek et al., 2017).

Hnojení ve fázi dlouhivého růstu, obvykle bývá kolem 1. - 10. dubna, nastává přibližně 2 - 3 týdny po druhém jarním regeneračním hnojení. Dávky se pohybují v rozmezí 50 - 80 kg N.ha⁻¹. Silné porosty s hustotou 30 - 40 rostlin na 1 m² hnojíme vyššími dávkami dusíku, cca o 20 kg N.ha⁻¹. Ve fázi žlutých pupat je hnojení možné jen na chudších půdách, kde není rostlinám zabezpečen přísun dusíku v době kvetení a ve fázi zelených šešulí. Dávka by se měla pohybovat do 40 kg N.ha⁻¹. Doporučenými hnojivy jsou LAV, LAD, DA, LV, SAM, DASA, DAM 390 (Bečka et al., 2007).

3.4 Fosfor (P)

Jak uvádí Černý et al. (2018), úspěšné pěstování řepky ozimé je dosahováno při dostatečné výživě fosforem. Řepka ozimá výrazně přispívá k záporné bilanci fosforu, neboť většina fosforu (přibližně 70 %) je lokalizována v semenech a tak i při zaorávce slámy pěstovaných plodin je fosfor z pole převážně exportován. Platí zde pravidlo, že čím je obsah fosforu v půdě nižší, tím větší hrozí riziko redukce na výnosu řepky. Pozitivní efekt fosforu na rostliny řepky popisují i Bastani et Hajiboland (2017). Zdůrazňují důležitou úlohu fosforu v různých fyziologických, biochemických a metabolických procesech, včetně zlepšení fotosyntézy, apod.

3.4.1 Fosfor v půdě

Fosfor se v půdě vyskytuje ve sloučeninách, které mají velmi pevné vazby. Vaněk et al. (2012) uvádí, že se celkový obsah fosforu v půdě pohybuje od 0,01 - 0,15 %. Základními sloučeninami různých forem fosforu v půdě jsou kyselina trihydrogenfosforečná (H_3PO_4) a v menší míře vazby kyseliny difosforečné ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$). Minerální a organické sloučeniny fosforu tvoří potenciální zdroj pro výživu rostlin a půdních organismů. Minerální formy jsou tvořeny primárními a sekundárními fosforečnany. Primárními fosforečnými minerály jsou apatity (chlorapatit, fluorapatit apod.), rozptýleně se vyskytující ve všech magmatických horninách. Sekundární fosforečnany jsou vápenaté soli, vznikající v půdách při chemických reakcích či uvolňování kyseliny fosforečné. V důsledku těchto reakcí může docházet až ke vzniku apatitů. V neutrálním prostředí se nejčastěji vytváří stabilnější sloučenina tzv. oktocalciumfosfát $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaHPO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ a na půdách alkalických jsou to především hydroxylapatity. V kyselém prostředí se vytváří soli kationtů železa a hliníku (strengit $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ a variscit $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$). Na chování fosforu v půdě a jeho dostupnosti pro rostliny má významný vliv hodnota pH, která rozhoduje o přítomnosti iontů v půdním roztoku. V půdě probíhá chemická sorpce fosforu velmi rychle, zvláště s hliníkem a železem. Doprovodným procesem je srážení rozpustných fosforečnanů přes řadu nestabilních sloučenin ve formě koloidních hydratovaných částic, pro rostliny ještě přijatelné, do doby, než dojde k jejich dehydrataci a postupné krystalizaci (Lickfett et al., 1999; Vaněk et al., 2012).

Stěžejní složkou v přístupnosti pro rostliny jsou organické formy fosforu, jejichž podíl v půdě činí kolem 30 - 50 % z celkového obsahu fosforu. Organické formy fosforu tvoří fytyl, fosfolipidy, nukleové kyseliny, nukleoproteidy a fosforylované lipidy. V půdě jsou přítomny v posklizňových zbytcích, kořenové hmotě nebo ve statkových hnojivech. Poměrně značná část organického fosforu je vázána v tělech mikroorganismů, který po jejich odumření může být v dalších mineralizačních procesech uvolněn a zpřístupněn rostlinám (Holtan et al., 1988; Lickfett et al., 1999; Vaněk et al., 2012).

3.4.2 Fosfor v rostlinách

Rostliny přijímají fosfor ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, a to ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Je přijímán aktivním způsobem, vyžadující dostatek energie, jejíž zásobárnou jsou vazby ATP, uvolňující se pomocí enzymu ATPázy. Rostliny mohou mít při

nízkých teplotách nedostatečné množství energie pro příjem fosforu, čímž mohou vykazovat nedostatek fosforu i přes to, že je ho v půdě dostatek. Příjem fosforu je podpořen dobrou biologickou činností půdy, vhodným pH, dostatečnou vlhkostí a obsahem fosforu v půdě na dobré úrovni. Přijatý fosfor je soustředěn do mladých listů, vegetačních vrcholů, květů a semen. Generativní orgány vykazují nejvyšší obsah fosforu. V semenech je fosfor vázán ve formě Ca - Mg soli kyseliny fytové zvané fytin, který je zásobní látkou fosforu, ale i hořčíku. Fosfor je součástí nukleových kyselin, sloučenin ATP, ADP, fosfolipidů, fosforylovaných sacharidů, bílkovin apod. Významná je i jeho úloha při fotosyntéze, podporuje růst kořenů, v rostlinách se účastní při transportu cukrů a ovlivňuje zrání (Bastani et Hajiboland, 2017; Holtan et al., 1998).

U rostlin řepky ozimé se nedostatek fosforu projevuje na mladých rostlinách červeným až fialovým zbarvením listů v důsledku zvýšené tvorby antokyanů. Tvorba antokyanů může být způsobena i stresovými faktory. Běžné jsou příznaky na chudých a utužených půdách i na okrajích pozemků zvláště za chladného počasí. U dospělých rostlin je nedostatek fosforu spojen s poruchou reprodukčních procesů. Nadbytek fosforu je v současných podmínkách méně častý a v praxi se s negativními dopady v podstatě nesetkáme (Havlin et al., 1999; Lickfett et al., 1999).

3.4.3 Výživa a hnojení řepky fosforem

Matula (2007a) uvádí, že rostliny v počátečních fázích růstu, kdy za rychlého růstu embryonální tkáň při intenzivním syntetickém a respiračním metabolismu jsou rostliny odkázány na zásoby fytinu v semenech a snadno přijatelný fosfor z vnějšího prostředí. Jelikož řepka ozimá přijímá fosfor od počátku vegetace je nutné sledovat jejich výživný stav v průběhu celé vegetační doby. Většinu fosforu přijímají během jarní vegetace a příjem (akumulace) vrcholí na konci tvorby šesulí nebo v období zrání. V průběhu vegetace není možné již fosfor efektivně doplňovat, z důvodu malé účinnosti na povrch půdy či listové aplikace. Dle Vaňka et al. (2012) po přihnojení amofosem a následné simulaci 30 mm srážek nebyl zaznamenán posun fosforu v půdě. Fosforečná složka hnojiva je soustředěna v povrchové vrstvě půdy. Riziko příjmu fosforu může nastat i v případě, že se přístupné formy nacházejí v hlubších vrstvách půdy. Značný pokles výnosů nastává tehdy, kdy řepka není schopna přijmout dostatek fosforu během vegetace. Tento stav může nastat zejména na půdách s nízkým obsahem fosforu v půdě nebo v nevhodných podmínkách pěstování (špatné

vláhové podmínky - sucho, nevhodné pH půdy, špatný vývin kořenů apod.), ale i na půdách s jeho dobrým obsahem. Proto by mělo být snahou udržovat pro řepku obsah fosforu na dobré úrovni. Při stanovení dávek fosforu by měl být zohledněn jeho export z půdy a na půdách s nízkým obsahem dávku navýšit pro doplnění optimální zásoby. Po hnojení fosforečnými hnojivy je žádoucí zapravení hnojiva do půdy, z důvodu nízké mobility fosforečných iontů v půdě. Zapravením hnojiv do půdy je ovlivněna jejich rozpustnost, u organických hnojiv také mineralizace organických forem. Z pohledu výživy rostlin je vhodná předseťová aplikace. Neúčinným se hnojení fosforem stává v případě, jeli nevhodné pH půdy. Aplikace hnojiv typu amofos, DAP, NPK, superfosfát (hnojiva s vodorozpustnou formou) na kyselých půdách není vhodná, z důvodu vysrážení fosforu do málo rozpustných forem. Na půdách kyselých lze aplikovat hnojiva s fosforem rozpustným nebo nerozpustným v kyselině citronové (fosmag, mleté fosfáty apod.), ovšem jejich působení je pozvolné a vliv na řepku malý. Z tohoto důvodu by péče o pH půdy mělo být prvořadé. Další možností je použití hnojiv pro lokální aplikaci. Při použití těchto hnojiv (NPK, amofos) je kladen důraz na stanovení vhodné dávky, hloubky uložení a na obsah fosforu v půdě (Černý et al., 2018; Rathke et al., 2006).

3.5 Draslík (K)

V rostlinách řepky draslík pozitivně ovlivňuje mrazuvzdornost, zajišťuje optimální vodní provoz rostlin - ovlivňuje osmotický tlak, což se příznivě projevuje v období, kdy jsou rostliny vystaveny stresovým podmínkám (vliv sucha). Dále ovlivňuje kvetení, působí fyto-sanitárně, působí na aktivitu enzymů apod. (Su et al., 2015)

3.5.1 Draslík v půdě

V půdě se draslík vyskytuje především v anorganických sloučeninách, přítomnost v organické formě, která může činit pouze několik desítek $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, je vzácná. Jeho hlavní výskyt je v primárních a sekundárních křemičitanech. U většiny půd se celkový obsah draslíku pohybuje okolo 0,5 - 3,2 %. Draslík v půdě je možné rozčlenit na tři základní kategorie (Matula, 2007a).

První kategorií je draslík nevýměnný, který je součástí krystalové mřížky minerálů (např. slídy, živce). Mezi nevýměnné formy je řazen také draslík fixovaný v mezivrstvách jílových minerálů. Stupeň pevnosti fixace v jílových minerálech je ovlivněn početnou řadou

faktorů, z nichž významným faktorem je vlhkost půdy. Například za sucha i vlhka jsou fixovány vermiculity a illity, kdežto za vyššího sucha jsou více fixovány smectity. Na půdách s vysokým zastoupením těchto jílových minerálů může fixace draslíku dosahovat hodnot až do 20 g draslíku na 1 kg jílu. V takových půdách má fixace draslíku značný dopad na volbu techniky hnojení. S cílem zlepšení zásoby výměnného K^+ jsou jednorázové aplikace vysokých dávek draselných hnojiv neefektivní, neboť s vyššími dávkami se zvyšuje riziko fixace. Menší fixace draslíku je uváděna na půdách kyselých, kde konkurentem K^+ je H^+ . Na alkalických půdách nebo po vápnění se fixace K^+ zvyšuje. Na výživě rostlin se nejvýznamněji podílí draslík výměnný. Ten je vázán na sorpční půdní komplex a může být vyměněn jiným kationtem. Nejvíce je sorbován jílovými minerály ze skupin montmorillonitu a illitu. Obsah výměnného draslíku se v půdě mění v závislosti na odběru rostlinami, klimatickými podmínkami a hnojením. Zastoupení K^+ v sorpčním komplexu by se mělo pohybovat kolem 3 - 5 %. Třetí kategorií je draslík vodorozpustný, který představuje pro rostliny pohodovou zásobu přijatelného draslíku. Vhodná koncentrace v půdním roztoku, s ohledem na stanovištní podmínky, by se měla pohybovat kolem 8 - 20 mg $K.L^{-1}$. V půdním roztoku je aktuální koncentrace K^+ a ostatních vodorozpustných kationtů ovlivňována přítomností mobilních aniontů (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). Do systému ustalování rovnovážných stavů mezi jednotlivými kategoriemi významně zasahuje odběr a příjem draslíku rostlinami, objem a směr pohybu vody (závislost na povětrnostních podmínkách, popřípadě závlahových dávkách) nebo dávky draselných hnojiv. Například na půdách s nízkou sorpční kapacitou je při vysokých dávkách hnojení v promyvném období možnost ztrát vyplavením (Černý et al., 2018; Matula, 2007a.).

3.5.2 Draslík v rostlinách

Rostlinami je draslík přijímán ve formě monovalentního kationtu K^+ , který po celou dobu plnění fyziologických funkcí zůstává ve stejné podobě. Je přijímán velmi dobře a je neaktivnější živinou ze skupiny živin - kationtů. V rostlinách se dobře pohybuje jak apoplastem, tak symplastem, xylémem i floémem. Příjem draslíku může být přijímán aktivním i pasivním způsobem, přičemž se zvyšující se koncentrací draslíku v půdním roztoku převažuje pasivní příjem. Při zvýšené aktivitě má K^+ antagonistické působení vůči ostatním kationtům, především k Na^+ , Mg^{2+} a Ca^{2+} . Významně může draslíku konkurovat pouze NH_4^+ , a to i při nižších koncentracích. Důvodem je značná rozměrová podobnost kationtu NH_4^+ a K^+ . Acidobazickým mechanismem je v rostlině přebytečný náboj K^+ vyrovnáván syntézou

organických kyselin a také příjmem aniontů, NO_3^- a Cl^- , které jsou lokalizovány a imobilizovány ve vakuolách buněk. Nadbytečný příjem draslíku ve spojení s intenzivní výživou dusíkem se podílí na zvýšeném obsahu nitrátů v rostlinách. Příjem draslíku je výrazně ovlivňován vlhkostí, teplotou a intenzitou slunečního záření. Proto jsou časté ročníkové výkyvy v příjmu a obsahu draslíku v rostlinách důsledkem rozdílných povětrnostních poměrů jednotlivých let (Su et al., 2015; Vaněk et al., 2012).

Při dostatku draslíku v rostlinách dochází k lepšímu vyžrávání pletiv, zlepšuje se jejich anatomická stavba, čímž se tak snižuje se riziko poléhání porostů a napadení chorobami a škůdci. Jeho přítomnost je důležitá v období dlouhivého růstu ve spojení s kyselinou gibberelinovou a 3-indolyloctovou, má významnou úlohu v meristémeh jako iontová pumpa nebo na aktivitě enzymů (ovlivňuje fotosyntézu, syntetické procesy apod.) (Jansen, 2011).

V nepříznivých podmínkách pro příjem draslíku se může jeho nedostatek projevit i na stanovištích s jeho relativně dobrým zásobením. Porosty řepky trpící nedostatkem draslíku jsou snadněji poškozovány mrazem, v důsledku omezení syntézy vysokomolekulárních látek, jako jsou bílkoviny, cukry apod. Obtížnější je také jejich regenerace a častější je i výskyt houbových chorob. Při hlubším nedostatku draslíku je již na podzim na starších listech řepky viditelné žluté lemování okrajů, které je způsobeno přednostním zásobováním mladých listů. V jarním období dochází k výrazným změnám v habitu rostlin. Listy jsou úzké, vzpřímené a přimklé ke stonku. Po odkvětu rostliny řepky získávají antokyanové zbarvení a metlovitý vzhled. Šešule jsou zakrnělé, deformované nebo mohou úplně chybět. Značnou deformaci mají i kořeny, které ztrácejí typický křulovitý tvar. Kořeny se nadměrně větví a ohýbají se těsně pod povrchem půdy do stran (Richter et Hřivna, 2001).

3.5.3 Výživa a hnojení řepky draslíkem

Vysoké požadavky na draslík jsou u řepky ozimé již v podzimním období, kde je ovlivňován růst nadzemní biomasy a transport asimilátů do kořenů. Ovšem jeho hlavní příjem je na počátku jarní vegetace, který vrcholí v období konce kvetení. Řepka ozimá na 1 t výnosu odebere 50 - 58 kg draslíku, což při výnosu $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ odpovídá 150 - 174 kg $\text{K} \cdot \text{ha}^{-1}$. S ohledem na vysoké nároky řepky na draslík je nutné použití minerálních nebo tekutých organických hnojiv. Potřeba draselného hnojení by měla být realizována na základě výsledku agrochemických rozborů půd, půdního druhu a také případné zapravení posklizňových zbytků. Nejběžnějšími používanými hnojivy jsou draselná sůl, síran draselný, kamex, kainit

nebo patentkali. Hnojiva mimo draslíku obsahují i určité množství jiných prvků, zejména Na a Mg. Vyskytují se ve dvou aniontových formách, a to jako sírany (SO_4^{2-}) a chloridy (Cl^-). S ohledem na tuto skutečnost doprovodný aniont chloridu zvyšuje koncentraci půdního roztoku a tím vytváří riziko ztrát vápníku a hořčíku v promyvném období. V půdě nejvíce zastoupené kationty vápník i hořčík jsou právě doprovodnými kationty při vyplavování chloridů (Kunzová, 2010). Dle Matuly (2007a) je jako efektivnější způsob hospodaření s výměnnými kationty (Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+) výhodnější častější (každoroční) hnojení menšími dávkami draselných hnojiv v jarním období, nežli podzimní aplikace před promyvným obdobím. Zvýšení zásoby draslíku v půdě je možné dosáhnout aplikací organických hnojiv (kejda skotu, močůvka, hnůj). Organická hnojiva mají nízký obsah mobilních aniontů (Cl^-).

3.6 Vápník (Ca)

Nedostatek vápníku se v půdním prostředí projevuje především snížením hodnoty pH a zhoršením půdních vlastností. Nízká hodnota pH a pokles obsahu vápníku v půdním roztoku způsobuje zhoršení podmínek pro růst rostlin. Často byla opomíjena funkce vápníku jako živiny pro rostliny z důvodu pozitivního vlivu na utváření a udržení půdních vlastností. (Barszczak et al., 1993).

3.6.1 Půdní kyselost a potřeba vápnění

Z pohledu půdní úrodnosti a výživy rostlin je významný výměnný vápník, vázaný na půdní koloidy výměnnou sorpcí. Nasycení koloidů vápníku by mělo dosahovat 60 - 80 % sorpční kapacity. Jílové minerály a organická půdní hmota jsou podstatou sorpčních vlastností půdy. Hodnota KVK (kationtová výměnná kapacita) informuje o obsahu a kvalitě neaktivnější složky půdy, přesněji indikuje půdní druh. Hodnota KVK půdy je konzervativní veličinou, jejíž změna bývá pozvolná a těžko měnitelná. Na konkrétních stanovištích je při hospodaření s živinami nutné v plné míře respektovat sorpční schopnosti půdy i aktuální hodnotu KVK. Kationtová výměnná kapacita půdy a její saturace kationty má velmi úzký vztah k fyzikálním (zejména se jedná o vodní kapacitu půdy, retenční schopnost půdy, strukturu, pórovitost, zpracovatelnost), chemickým a biologickým vlastnostem půdy (Matula, 2007a; Jansen, 2011).

Zapravení alkalických vápenatých hmot do půdy mění nejen celkový chemismus půdy, ale i s ní související dostupnost jednotlivých živin pro rostliny. Vápněním jsou rovněž

ovlivňovány biologické vlastnosti půdy, zejména je zesilována mineralizace organické půdní hmoty a produkce minerálních forem dusíku (Jansen, 2011).

Negativní působení kyselých půd a z ní odvozená nutnost její korekce vápněním nespočívá v samotné koncentraci hydroxoniových iontů (H_3O^+), ale v první řadě v možnosti aktivace hliníku až do toxické koncentrace kationtů hliníku v půdním roztoku, případně ve zvýšené koncentraci, toxicitě Mn^{2+} . V případě extrémní kyselosti (pH pod 4,2) by mohla vysoká koncentrace H_3O^+ konkurovat v příjmu živin (kationtů) (Matula, 2007a).

Prvním kritériem pro docílení vhodného pH by měla být deprese škodlivých produktů spojená s nízkou hodnotou pH půdy, tj. toxicity aktivních forem hliníku, železa, případně nadbytečné koncentrace manganu, dále zlepšení a stabilizace fyzikálního stavu půdy, optimalizace dostupnosti zásoby živin pro rostliny. Aktivní formy hliníku v půdě, zejména při pH pod 5,5, jsou úzce spjaty s hodnotou pH, její mineralogií a obsahem organické hmoty. Formy aktivního výměnného hliníku jsou plně inaktivovány vysrážením při hodnotách pH nad 5,6. Toxicitu hliníku snižuje půdní organická hmota tím, že je pevně váže v chelátech. Například po vysokých dávkách draselného hnojení, kdy je zvýšená koncentrace solí, dochází v půdním roztoku ke zvýšení koncentrace hliníku v důsledku jeho vytěsňování ze sorpčního komplexu. Při vysoké koncentraci vápníku v půdě může být ovlivněna přijatelnost většiny ostatních živin, hlavně fosforu a stopových prvků. Dochází ke zvýšené fixaci hořčíku v uhličitanech a k horšímu zpětnému uvolňování do půdního roztoku. Rovněž se zesiluje biologická mineralizace organické hmoty v půdě, kde je možnost úniku mineralizovatelného dusíku. V promyvném období hrozí riziko ztrát dusíku do podzemních vod a úniku „skleníkových plynů“ (oxidů dusíku a CO_2) do atmosféry. Dalším negativním důsledkem převápňování je vylučování stabilních humusových složek půdní organické hmoty z účasti na sorpci živin (kationtů). Při vyšší hodnotě pH vápník chelatizuje karboxylové skupiny humusu, které jsou tímto vylučovány z účasti na sorpci. Maximální sorpce humusových složek se proto pohybuje ve velmi úzkém rozmezí pH 5,5 - 6. Při nízké hodnotě pH (pod 5,5) existuje možnost inaktivace karboxylových skupin humusu chelatizací aktivních forem hliníku (Barszczak et al., 1993; Matula, 2007a; White et Broadley, 2003).

Obecně je možné konstatovat, že na půdách s nižším obsahem jílnatých částic a vyšším obsahem organické složky jsou vhodnější hodnoty pH nižší a naopak. Pro půdy nelze vyžadovat jednotnou hodnotu pH, neboť se liší množstvím a charakterem sorbentů (Merbach et al., 2013).

V případě nízkých hodnot pH je řepka schopna vlivem kořenových exudátů snížit či naopak zvýšit hodnotu pH až o jednotku. Nízké hodnoty pH se projevují snížením přístupnosti ostatních živin (P, S, Mg, B) či přeměny a využitelnosti dusíku. Dle aktuální hodnoty pH je možné aplikovat vápenec, dolomitický vápenec či dolomit, v dávkách 1 - 3 t.ha⁻¹ s vhodným zapravením do půdy (Černý et al., 2018; White et Broadley, 2003).

3.6.2 Vápník v půdě

Celkový obsah vápníku může být na karbonátových půdách více jak 10 %. V půdách se největší část vápníku nachází v těžko rozpustných sloučeninách, zejména uhličitanech, křemičitanech, hlinitokřemičitanech a síranech. Rozpustnost uhličitánů je závislá na aciditě půdy (v kyselějším prostředí je vyšší rozpustnost). Značný vliv na rozpustnost má biologická činnost půdy, čímž je podpořena produkce CO₂. Nejběžnějšími sloučeninami vápníku jsou vápence a dolomity. Působením CO₂ se vápenec (CaCO₃) rozpouští na hydrogenuhličitan Ca(HCO₃)₂, který je ve vodě dobře rozpustný a v půdním profilu dobře pohyblivý. Dobrá pohyblivost Ca(HCO₃)₂ může být v humidnějších oblastech spojována s vyšším rizikem ztrát v důsledku eluce. Dostatečné množství vápníku v půdě podporuje chemické, fyzikální i biologické vlastnosti. Příznivě působí na utváření drobtovité půdní struktury - koagulace koloidů, sycení sorpčního komplexu, výskyt a aktivita mikroorganismů, eliminace iontů H⁺, Al³⁺, Mn²⁺ apod. (Jansen, 2011).

3.6.3 Vápník v rostlinách

Rostlinami je vápník z půdního roztoku, kde je převažujícím kationtem přijímán jako kationt Ca²⁺. Příjem je realizován hlavně pasivně kořenovými špičkami, kde se Ca²⁺ snadněji dostane apoplastickou cestou do vnitřních částí kořene a odtud je dále transportován transpiračním proudem v xylému do další části rostliny. Aktivní transport je omezený. V rostlinných pletivech fyziologický význam vápníku spočívá především ve stabilizaci buněčných stěn. Největší množství vápníku je lokalizováno v buněčných stěnách, kde podmiňuje správnou funkci membrán (plazmalemy i tonoplastu) a membrán organel energetického metabolismu (chloroplastů a mitochondrií). V řadě výzkumů bylo potvrzeno, že když se vápník z membrány odstraní, dojde k velmi značnému ovlivnění její semipermeability, čímž se stává propustnou pro volnou difuzi. Riziko tohoto problému hrozí na extrémně kyselých půdách či na půdách s nízkou koncentrací vápníku. V rostlinách je

vápník, po objevení kalmodulinu a jiných bílkovinách, považován za významného posla při přenosu signálů. Příznivý vliv byl prokázán na dlouhivý růst buněk, ovlivňuje růst kořenů zvláště kořenového vlášení. Nízký obsah vápníku je v zásobních orgánech, z důvodu nízkého transportu ve floému. Reutilizace vápníku není možná, neboť je ukládán do vakuol ve formě nerozpustného štavelanu (Jansen, 2011; Matula, 2007a).

Vápník příznivě působí na příjem většiny iontů. Ovšem kationty H^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , zejména K^+ v nadměrných koncentracích omezují příjem vápníku. Příjem je ovlivňován i vnějšími podmínkami, při nižší vlhkosti a teplotě je příjem vápníku zesilován (Merbach et al., 2013).

Deficit vápníku je u řepky ozimé spojen s poruchami vegetačního vrcholu, deformací listů, zbrzděným prodlužovacím růstem kořenů a kořenového vlášení. Nároky řepky na vápník se pohybují v rozmezí 120 - 180 kg.ha⁻¹ (Richter et Hřivna, 2001; Vaněk et al., 2016).

3.7 Hořčík (Mg)

Jak uvádí Matula (2007a), minimálně 70 % našich půd vyžaduje bezprostřední a cílené hnojení hořčíkem pro dosažení spodní hranice dostačující zásoby hořčíku v půdě. Dřívější praktiky jednorázové aplikace vysokých dávek draselných hnojiv chloridového typu (tzv. způsoby melioračního, předzásobního, zásobního hnojení) výrazně přispěly k tomuto nepříznivému stavu. K výskytu deficitu hořčíku výrazně přispěl i draslík, živina z předchozího nadbytku, který se čím dál více stává deficitní živinou (Cakmak, 2013).

3.7.1 Hořčík v půdě

Obsah hořčíku v půdě či na konkrétních stanovištích je ovlivněn půdotvorným substrátem, zastoupením minerálů a hornin, jejichž zvětráváním se uvolňuje kationt Mg^{2+} . V půdě je hlavní zásoba hořčíku představována právě kationtem Mg^{2+} výměně sorbovaným na pevné fázi půdy. Vyšší uvolňování hořčíku vykazují bazické vyvřelé horniny jako čedič, gabro a nority ve srovnání s kyselými horninami, jako jsou žula nebo ryolity. Dalšími zdroji hořčíku mohou být i minerály jako je např. vermikulit, chlorit, amfibol, biotit, pyroxen aj. V procesu zvětrávání většiny minerálů a jejich následného uvolňování hořčíku je obtížné, podstatně horší než vápník. Značné zdroje hořčíku vykazují půdy s vyšším obsahem uhličitánů - dolomit ($MgCO_3$), magnezit ($MgCO_3$) ale také kalcit ($CaCO_3$), vyznačující se vyšší rozpustností. V půdě se hořčík vyskytuje i ve formě solí - síranů, fosforečnanů, chloridů, dusičnanů i hořečnatých

solí, které jsou poměrně dobře rozpustné. Vzhledem k vysokému kolísání obsahu hořčíku v půdotvorných substrátech se jeho obsah výrazně liší a pohybuje se v širokém rozmezí od 0,05 - 0,5 %, na dolomitech až do 10 %. Obsah mobilního - výměnného hořčíku (většinou vázán výměnnou sorpcí na půdní sorpční komplex) je pouze 5 % a z tohoto podílu přibližně do 10 % jako aktuálně přijatelný hořčík v půdním roztoku (vodorozpustný Mg). Na lehkých písčítých nebo rašelinových půdách s nízkým pH je obvykle zaznamenáván obsah hořčíku na nízké úrovni (Gransee et. Führs, 2012; Marschner, 2003).

Síla výměnné sorpce hořčíku na půdních koloidech je v porovnání s ostatními významnými kationty (K^+ , Ca^{2+}) slabší, zejména při zvýšené koncentraci monovalentních kationtů (K^+ , NH_4^+). Hořčík má značný rozměr hydratovaného iontu v porovnání s vlastní velikostí. Hydratační obal zvyšuje vzdálenost iontu od koloidu, čímž je zeslabeno jeho poutání (Vaněk et al., 2016). Z těchto důvodů je běžnější vyšší obsah hořčíku ve spodnějších vrstvách půdního profilu. Ztráty způsobené vyplavením Mg^{2+} jsou zesilovány vysokými jednorázovými dávkami draselných hnojiv, zejména chloridového typu, před promyvným zimním obdobím. Z pohledu procesu eluce kationtů a s ní související acidifikace lze kationty seřadit v tomto pořadí: $Mg > Ca > Al > Fe$. Při toku s gravitační vodou se hořčík s vápníkem stávají snadno doprovodnými kationty mobilních aniontů (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}). Ztráty hořčíku, obdobně jako chloridy, zvyšuje i nadbytečný minerální dusík, který nebyl porosty spotřebován. Takto nevyužitý dusík je předurčen ke ztrátám vyplavení dusičnanů z půdy, tím tedy i ochuzení půdy o hořčík. Zastoupení hořčíku v sorpčním komplexu by se mělo pohybovat 7 - 20 % ze sorpční kapacity. V půdním roztoku se za vhodnou dolní koncentraci považuje rozpětí mezi 10 - 40 $mg \cdot L^{-1}$, v závislosti na aktivitě ostatních kationtů, zvláště draslíku (Gransee et Führs, 2012; Vaněk et al., 2016).

V půdě dochází ke značným interakcím s ostatními kationty, zvláště s draslíkem. Při intenzivním hnojení draslíkem, amoniakálními formami dusíku nebo na půdách s nadměrnou zásobou výměnného draslíku dochází k depresi příjmu hořčíku. Na kyselých půdách je deprese příjmu ještě více zesilována v důsledku zvýšené koncentrace hydroxoniových kationtů (H_3O^+) a aktivních forem hliníku (Al^{3+}). Ve vlhčích hospodářských letech jsou podmínky pro doplňování draslíku do rhizosféry příhodnější a tudíž je zesilována preference příjmu draslíku před ostatními kationty. Přívod draslíku do rhizosféry v sušších letech zaostává, jeho koncentrace se snižuje a tím vzrůstá možnost příjmu hořčíku (Cakmak, 2013).

3.7.2 Hořčík v rostlinách

V rostlinách plní několik klíčových funkcí a je nezbytným prvkem pro růst a vývoj. Především je jeho význam spojován se stavbou chlorofylu, kde je centrálním atomem v jeho struktuře. Z celkového množství hořčíku je vázáno přibližně 20 % v chlorofylu. Na deficitních stanovištích roste jeho podíl v chlorofylu. Rostliny mají snahu „zachovat“ činnost chloroplastů pro fotosyntézu, proto u ozimé řepky jsou vizuální symptomy deficitu hořčíku méně časté. Naopak právě v souvislosti s množstvím biomasy, tak může zbývat méně hořčíku na fyziologické procesy. Hořčík ovlivňuje spoustu specifických metabolických procesů, kterými jsou: fotofosforylace (utváření ATP v chloroplastech), syntézu bílkovin, tvorbu chlorofylu, transport látek, ukládání asimilátů, tvorba reaktivních forem kyslíku, transport živin, vodní režim, fotooxidace v pletivech listů aj. Uvedené metabolické procesy pak dále ovlivňují další fyziologické a biochemické funkce v rostlinách, které jsou pro tvorbu výnosu rozhodující. V mnoha metabolických procesech je právě hořčík aktivátorem několika enzymů, z nichž nejvýznamnější enzym aktivovaný hořčíkem je ribulóza-1,5-bifosfátcarboxyláza/oxygenáza známý pod názvem Rubisco. Jedná se o klíčový enzym v procesech fotosyntézy, a tudíž ho lze označit za nejrozšířenější enzym biosféry (Gransee et Fühns, 2012). Významné je pozitivní působení hořčíku na metabolismus síry, neboť působí na zabudování síry do organických vazeb. Nelze opomenout ani příznivý vliv na přeměnu nitrátového dusíku v rostlinách a jeho asimilaci do organických vazeb. Hořčík ovlivňuje enzym nitritreduktáza, který je potřebný v průběhu enzymatické redukce nitrátů na amonný dusík (Marschner, 2003; Senbayram et al., 2015).

Rostliny přijímají hořčík jako dvojmocný kationt (Mg^{2+}), převážně pasivně. Transport hořčíku je v rostlinách poměrně dobrý. Příjem je ovlivňován i ostatními kationty, zejména K^+ . Nejvýznamnější období příjmu draslíku je u ozimé řepky během intenzivního růstu. Draslík oproti hořčíku může snadněji vstupovat do rostliny, a tím vzniká vysoké riziko antagonistického působení těchto iontů v dlouhivé fázi růstu. Antagonistické působení je také známé u amonného iontu (NH_4^+). Výše uvedené informace o příjmu hořčíku je důležité spojit s používáním jednotlivých forem hnojiv. Naopak oboustranné synergické působení je při hnojení fosforem a na půdách s dostatečnou zásobou přijatelného fosforu v půdě. Také nitrátová forma dusíku (NO_3^-) má vliv na zvýšený příjem hořčíku. S ohledem na výše uvedené působení hořčíku při přeměně nitrátů v rostlinách, lze považovat i toto působení za obousměrné (Senbayram et al., 2015; Vaněk et al., 2016).

Tab. 3: Vliv nedostatku hořčíku na obsah chlorofylu a karotenoidů v listech řepky (Vaněk et al., 2012)

Varianta	Sušina listů (%)	Chlorofyl	Karotenoidy
		mg.g ⁻¹ čerstvé hmoty	
Kontrola	13,6	2,33	0,21
Nedostatek Mg	17,7	1,33	0,11

V intenzivních produkčních systémech je hořčík stále významněji limitujícím faktorem, zejména při hnojení pouze N, P, K. Mezi první projevy deficitu hořčíku patří akumulace sacharózy v listech, což způsobuje inhibiční aktivitu enzymu Rubisco a následné snížení rychlosti fotosyntézy. Dochází tak k akumulaci sacharózy v listech (4 - 9 krát více) oproti listům rostlin s optimální výživou. Dalším negativním vlivem nedostatku hořčíku je zpomalení růstu kořenů, což se projevuje ještě před tím, než je viditelný projev deficitu hořčíku v nadzemní biomase (Andersen, 2000; Batal et al., 1997).

Růst kořenů je inhibován zejména v sušších letech nebo na lehkých vysychavých půdách. Rostliny na to mohou do jisté míry reagovat tím, že zvětší délku vlásečnicových kořínků a zvýší sekreci slizovitých látek s vysokou schopností zadržovat vodu. U ozimé řepky mají slabší a méně větvené kořeny menší příjmovou schopnost, zejména na počátku intenzivního růstu nadzemní částí rostlin (Carminati et Vetterlein, 2013; Černý et al., 2015b).

Mezi hromaděním asimilátů a růstem kořenů byla zjištěna úzká spojitost. Transport látek floémem je při deficitu hořčíku omezen. Předpokládá se, že omezení transportu látek floémem je zapříčiněno nízkou koncentrací ATP-Mg komplexu, který je využíván pro správnou funkci H⁺-ATPázy. Tento enzym je důležitý pro tvorbu energie, která je nutná ke vstupu látek do floému. U ozimých plodin (řepka ozimá, pšenice ozimá) nebo trvalých kultur může nedostatek sacharidů ve floému způsobit vážné problémy v souvislosti nízkými teplotami. Floémový tok se v zimním období zastavuje a ve floému tak zůstává vysoký obsah sacharidů, které slouží jako obrana před působením nízkých teplot. V jarním období jsou tyto mobilní rezervy naopak využity pro obnovu jak kořenů, tak i nadzemní biomasy. Pro pěstitele jsou tyto změny bez vizuálních příznaků rozhodující, s ohledem na význam kořenového systému při růstu rostlin a jejich produkci. Po inhibici transportu látek a růstu kořenů nastupují viditelné chlorózy, zejména na starších listech. Dochází k projevu nerovnoměrného rozložení chlorofylu na listech. Vliv nedostatku hořčíku na obsah chlorofylu a karotenoidů je

uveden v tabulce 3. V okolí nervatury jsou listy tmavší, naopak světlezelené, později žluté až nekrotizující jsou části listů mezi nervaturou. Listy trpící nedostatkem hořčíku jsou bohaté na obsah sacharidů, čímž nejsou schopny přeměňovat světelnou energii do látek jako ATP, NADPH a jsou místo toho vyvářeny reaktivní formy kyslíku (peroxid vodíku H_2O_2 , radikály superoxidu O_2^- apod.). Pokud nejsou tyto látky v buňkách deaktivovány, poškozují enzymy a chloroplasty, následně pletiva listů, a to zejména na svrchní straně. Intenzivnější vizuální projevy deficitu hořčíku jsou výraznější při déle trvajícím slunečním záření (Cakmak, 2013; Senbayram et al., 2015).

Na výskyt deficitu hořčíku má vliv i řada půdních vlastností, z nichž nejvýznamnější je hodnota pH. Na kyselých půdách ($pH < 5$) obvykle bývá zaznamenán nedostatek hořčíku, který je doprovázen nadbytkem manganu. V našich přirozených podmínkách pěstování se s nadbytkem hořčíku v podstatě nesetkáme. Důvodem je omezené používání hořečnatých hnojiv. Na příjem ostatních iontů prakticky hořčík nepůsobí antagonisticky a v půdách či vápenatých hnojivech je obsažen pouze v málo rozpustných sloučeninách. V případě nadbytku by hořčík působil obdobně jako vápník v souvislosti s vysokou hodnotou pH, kdy dochází k omezení rozpustnosti řady sloučenin (Senbayram et al., 2015; Vaněk et al., 2016).

3.7.3 Výživa a hnojení řepky hořčíkem

Pro řepku ozimou je uváděna potřeba hořčíku kolem $7 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ výnosu semen. Celkový odběr tak může činit až $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. V porovnání s odběrem ostatních makroprvků se jeví potřeba hořčíku pro ozimou řepku jako poměrně nízká. Podmínky pro příjem hořčíku řepkou ozimou jsou mnohdy značně rozdílné, měli bychom zejména zajistit dobrou zásobu hořčíku v půdě. Rostliny řepky ozimé potřebují hořčík již v počátečních fázích svého vývoje při tvorbě kořenů a transportu asimilátů do rostoucích orgánů (v podzimním období), během intenzivního období růstu, a také v období tvorby šešulí a semen. Při volbě hnojiva a způsobu hnojení je nutné zohlednit půdní vlastnosti, zejména riziko vyplavení hořčíku (na půdách lehkých, promyvných, s horšími sorpčními vlastnostmi) a obsah hořčíku v půdě. Hořečnatá hnojiva by měla být vybírána dle rozpustnosti. Hlavním cílem dobře rozpustných hnojiv je dosažení rychlého nárůstu obsahu vodorozpustného hořčíku v půdním roztoku. Pro základní hnojení je možné využít například kieserit či draselná hnojiva s hořčíkem (kamex, patentkali apod.), popřípadě dusíkatá hnojiva s hořčíkem (magnisul) pro přihnojení během vegetace. Pro dlouhodobější udržení hořčíku v půdě je vhodné volit hnojiva s pomalu rozpustnými

formami hořčíku (uhličitany), jako je například dolomit. V těchto formách je uvolňování hořčíku závislé na půdně - klimatických podmínkách, zejména na množství srážek, následně vlhkosti a také pH půdy. V hnojivech jako LAD, dasamag, fosmag apod. je hořčík obsažen také v pomalu rozpustných formách. S ohledem na ztráty vyplavením je vhodná aplikace menších dávek nebo rozdělení celkové dávky na dávky dílčí. Vhodná je aplikace před a během vegetační doby (Baranyk et al., 2007; Richter et Hřivna, 2001; Senbayram et al., 2015).

Ve výživě ozimé řepky je výhodné používat i mimokořenovou výživu hořčíkem. Toto řešení lze považovat jako náhradní a dočasné. U tohoto řešení je nutné vhodné stanovení tří proměnných faktorů ovlivňující produkci, kterými jsou: doba aplikace ve vztahu k růstu rostlin a tvorbě výnosových prvků, množství aplikovaného hořčíku a koncentraci solí v aplikovaném roztoku. Vhodný je způsob kombinace hořké soli ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) s močovinou nebo DAM. Za předpokladu, že byla dostatečná i předchozí výživa hořčíkem přes půdu, je možné parametry výnosu zlepšit i foliární aplikací. Hořčík je možné aplikovat i v pozdějších růstových fázích, ovšem za předpokladu vhodných podmínek pro tuto aplikaci (Cakmak, 2013; Vaněk et al., 2016).

Vhodným zdrojem hořčíku jsou organická hnojiva. Organická hnojiva mají delší dobu rozkladu a uvolňování hořčíku je závislé na podmínkách prostředí, zvláště ovlivňujících jejich mineralizaci. Posklizňové zbytky mají z celkové potřeby rostlin podíl 40 - 55 % hořčíku. Na stanovištích s nedostatkem hořčíku je přísun v organických hnojivech nižší, proto výživu rostlin především ovlivňují minerální hnojiva (Richter et Hřivna, 2001; Kubát et al., 2008; Senbayram et al., 2015).

3.8 Síra (S)

Řepka ozimá je naší nejnáročnější plodinou na výživu sírou a je nepostradatelnou živinou nejen řepky ale i ostatních plodin. Síra je součástí všech živých buněk a je stavebním prvkem esenciálních aminokyselin (cystein, methionin). Velmi významně se podílí na syntéze bílkovin a také plní ochrannou funkci proti houbovým chorobám. Je složkou vitamínů (thiamin, biotin), koenzymu A a ferredoxinu. Vyskytuje se dále v sulfoxidech, těkavých látkách, např. u česneku, cibule (Li et al., 2017).

3.8.1 Síra v půdě

Matula (2007b) uvádí, že celkový obsah síry v ornici se nejčastěji pohybuje v rozmezí 80 - 250 mg S.kg⁻¹. Z výsledků pokusů výzkumného ústavu Praha Ruzyně vyplývá, že celkový obsah síry se pohybuje v širokém intervalu od 50 až do 764 mg S.kg⁻¹. Téměř 90 % vzorků se pohybuje v intervalu od 100 do 300 mg S.kg⁻¹. Obsah síry v půdě je nejvíce ovlivňován půdním druhem. Větší zásoba síry je na humózních půdách, zejména v organické formě. Opakem jsou lehké půdy s nízkým obsahem humusových látek, kde bývá registrován výrazný deficit síry (Kulhánek et al., 2013; Scherer, 2001).

V současné době častěji dochází k poklesu obsahu síry v půdě, proto se hnojení sírou stává v České republice ale i v ostatních evropských zemích více aktuálním problémem. Významnou příčinou nutnosti hnojení sírou je výrazné snížení atmosférických depozic. V současné době se emise síry pohybují v úrovni 10 kg S.ha⁻¹ za rok (v roce 1990 asi 120 kg S.ha⁻¹) (Kulhánek et al., 2013; Vaněk et al., 2012).

Jednou z příčin poklesu obsahu síry v půdě a následná nutnost hnojení je způsobena méně častým používáním hnojiv obsahující síru (např. jednoduchý superfosfát obsahující 8 % fosforu, 20 % vápníku a 10 % síry) a rovněž časté zařazování plodin náročných na síru (Scherer, 2001).

Síra je v půdě zastoupena v anorganické a organické formě, přičemž převažující složkou je organická forma, tvořící hlavní zásobu síry v půdě. Vysoce dynamickou složkou je síra anorganická, která je hlavním zdrojem síry pro rostliny a tvoří jen 10 - 20 % z celkové síry. O tom, v jakém oxidačním stupni se bude síra vyskytovat, rozhodují redoxní podmínky v půdě. V zemědělsky obhospodařovaných půdách je anorganická síra přítomna ve formě síranů, nižších oxidačních stavech sulfidů, polysulfidů, thiosíranů, siřičitanů či elementární síry. Nejběžnější, zejména v dobře provzdušněných půdách je forma síranová. V půdách se sírany vyskytují jako vodorozpustné soli, sírany adsorbované na půdní koloidy nebo jako nerozpustné sírany. Havlin et al. (1999) uvádí, že v oblastech častých srážek a oblastech s velkými obsahy železa a hliníku mohou takzvané adsorbované sírany představovat značnou rezervu pro rostliny. Tato forma je výsledkem vyluhování síranů ze svrchní vrstvy ornice a jejich proplavení až do podorniční vrstvy. Rostliny mohou tyto zásoby využít tehdy, kdy mají dostatečný kořenový systém. V závislosti na vlhkosti půdy mohou být zdrojem síry pro rostliny i půdy s dostatečným obsahem sádrovce (CaSO₄ · H₂O). Koncentrace síranů a jejich

příjem je ovlivněn hodnotou pH půdy, chováním půdních koloidů, množstvím oxidů železa, hliníku a organickými ligandy (Kulhánek et al., 2013; Zelený et Zelená, 1996).

Síra se v organické formě vyskytuje v rozmanitých sloučeninách, jako jsou aminokyseliny (cystein, methionin), cholin-sulfátu, sulfolipidů, sulfonových kyselin a sulfátovaných polysacharidů. Organicky vázanou síru je možné rozdělit do dvou skupin: První skupinou je síra vázaná estericky, která není přímo vázána na uhlík (např. C-O-S sulfátové estery, C-N-S sulfamáty, N-O-S sulfátové thioglyceridy) (Kulhánek et al., 2013). Z těchto sloučenin je síra poměrně dobře uvolňována při jejich mineralizaci. Uvolnění síranů z esterů je způsobeno enzymy (sulfatázy) různých typů s vysokou specifikou k organickému zbytku molekuly. Síra těchto sloučenin je považována za hlavní potencionální zdroj pro rostliny. Druhou skupinou je síra vázaná přímo na uhlík (např. v sirných aminokyselinách, thiolech, disulfidech a sulfonových kyselinách) (Freney, 1986 in Kulhánek et al., 2013). Mineralizace těchto sloučenin je obtížnější a probíhá v několika krocích - rozklad složitých látek na jednodušší - až na aminokyseliny, odštěpení síry ve formě sulfanu (H_2S) a jeho postupná oxidace na síran. Obdobná přeměna této části mineralizace je u dusíku, kdy se vzniklý amoniak (NH_3) dále oxiduje na nitráty (NO_3^-). Nejdynamičtější částí organických sloučenin v půdě, která se po mineralizaci může významně podílet na výživě rostlin je síra vázaná v biomase mikroorganismů (pouze 1 - 3 %). Hlavním zdrojem organické síry jsou především posklizňové zbytky, kořeny rostlin, statkové hnojiva a minerální hnojiva (síran draselný 42 % K a 18 % síry, síran amonný 21 % dusíku a 24 % síry). V půdě mohou být obsaženy sloučeniny síry pocházející z ovzduší ve formě např. kyselých dešťů (H_2SO_4), v některých oblastech i sopečná činnost (Pedersen et al., 1998; Havlin et al., 1991).

3.8.2 Síra v rostlinách

Nároky na síru se zvyšují pro rody ze skupin rostlin v tomto pořadí: *Poaceae* < *Fabaceae* < *Brassicaceae*. To se samozřejmě odráží i v rozdílech obsahu síry v semenech rostlin, který je u *Poaceae* 0,18 - 0,19 %, *Fabaceae* 0,25 - 0,3 % a *Brassicaceae* 1,1 - 1,7 % (Baranyk et al., 2007; Kulhánek et al., 2013).

Intenzivní příjem síry začíná v období dlouhivého růstu a končí přibližně po odkvětu řepky. Zdravý porost v tomto období odčerpá z půdy denně asi 0,5 - 1 kg S.ha⁻¹. V době zralosti je charakteristický pokles odběru dusíku, vápníku a síry, způsobený snížením produkce sušiny nadzemní biomasy a také resorpcí živin do kořene (Richter et Hřivna, 2001).

Rostliny převážně přijímají síru z půdy jako síranový anion (SO_4^-), a to aktivním způsobem. Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku i půdními vlastnostmi (Matula, 2007b). Matula (2007b) ve své publikaci uvádí, že po aplikaci síranů do půdy (síran amonný, síran vápenatý) byla zjištěna výrazná deprese obsahu fosforu v nadzemní hmotě rostlin. Interakce antagonistického charakteru byly zjištěny pouze u aniontu selenu (SeO_4^{2-}), které v praxi nemají příliš velký význam (Matula, 2007b). V půdě se síra postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin, včetně organických a je oxidována až na sírany, které jsou pro rostliny hlavním zdrojem. V rostlinách slouží sírany jako zásobní látka a podle potřeby se redukuje (na H_2S) a zabudovávají do organických sloučenin. Při pH 4,0 je příjem SO_4^- nejvyšší a snižuje se při stoupající hodnotě pH (Leggett et Epstein, 1956). Rozhodující je obsah SO_4^- v půdě, kam se dostává hnojivy, spadem z ovzduší (po oxidaci SO_3^{2-}) a z půdních zásob. Kořeny rostlin mohou síru rovněž přijímat ve formě aminokyselin - cysteinu a methioninu, ovšem jejich obsah v půdě je malý. Transport SO_4^- xylémem vzestupným směrem je poměrně dobrý, ale opačným směrem je velmi pomalý. Možnost znovuvyužití síry ze starších listů v mladší je omezená. Nároky plodin na síru jsou značně rozdílné, většinou se pohybují v rozmezí od 20 - 50 kg S.ha⁻¹ (Zelený et Zelená, 1996).

Známou skupinou sirných sloučenin jsou glukosinoláty, jejichž molekula je tvořena cukernou složkou a aglykonem. Glukosinoláty jsou v brukvovitých rostlinách považovány za sekundární metabolity, z pohledu konzumentů produkce jsou považovány za antinutriční látky. Biorecyklace glukosinolátů však může být zdrojem síry pro základní metabolismus rostliny, a to hlavně při jejím nedostatku v živném prostředí. Je zde i zřejmá souvislost glukosinolátů s obranným mechanismem brukvovitých rostlin proti chorobám a škůdcům (Matula, 2007b). Fyziologicky jsou glukosinoláty prakticky indiferentní, problémy nastávají až při jejich štěpení, kdy vzniká celá řada více či méně účinných látek (Vaněk et al., 2012).

Deficit síry se nejprve projevuje omezením syntézy bílkovin, včetně enzymů (např. nitrátoreduktáza), a tím i snížením aktivity významných enzymových dějů, např. redukce nitrátů. Přijaté nitráty nejsou v dostatečné míře přeměněny na amoniak, v rostlinách je omezena tvorba aminokyselin a bílkovin, které jsou prvotními zdroji organických látek. Dusík se v nitrátové formě hromadí nevyužit v pletivech. Při deficitu síry rostliny syntetizují bílkoviny s vyšším obsahem argininu a asparátu (Marschner, 2003). Zvláště u náročných plodin na síru (řepka olejka) je snížena fotosyntetická aktivita, která vede ke snížení tvorby chlorofylu, a tím i hlavních energetických složek (sacharózy, škrobu, bílkovin a oleje), což

výrazně snižuje kvalitu produkce. Při deficitu síry je známé omezení fixace vzdušného dusíku, kdy je výrazně snížena aktivita nitrogenázy (Leggett et Epstein, 1956; Kulhánek et al., 2013).

Diagnostické údaje týkající se obsahu celkové síry v rostlinách jsou v současnosti dosti rozporuplné. Příčiny rozdílné interpretace analytických údajů spočívají v metodice experimentů (polní pokusy, nádobové pokusy, apod.), ve značné proměnlivosti obsahu síry v průběhu fenofáze a zvláště v polních podmínkách na přirozených stanovištích. Jak bylo zmíněno dříve, nedostatek síry se zpravidla nejdříve projevuje na lehčích půdách s vyšším promyvným režimem a na půdách s nízkou intenzitou organického hnojení. Na rostlinách je typickým vizuálním projevem nedostatku síry žloutnutí listů, v důsledku poklesu obsahu chlorofylu. Na mladých listech se nedostatek síry projevuje jako první (Marschner, 2003).

Chlorózy se začínají projevovat nejdříve na okrajích listů, šířící se k žilnatině, která ovšem zůstává zelená i při hlubokém nedostatku. U symptomů tohoto typu nedochází k nekrotizaci ani při extrémním nedostatku síry, tak jak tomu bývá například u hořčíku či dusíku. Obecně intenzitu projevu podporují vysoké či naopak nízké dávky dusíku. U řepky ozimé v raných fázích dochází k retardaci růstu. Jsou viditelné makroskopické příznaky s mramorováním listů a snížení přirozené odolnosti proti chorobám a škůdcům. Listové čepele jsou slabší, plocha listů menší, habitus rostlin je strnulejší. Chlorózy se šíří od okrajů listů. V hlavní růstové fázi jsou listy různě deformované, mramorované s typickým „lžičkovitým“ tvarem. Tyto příznaky se často objevují společně s antokyanovým zbarvením, jejichž syntéza se zvyšuje s rostoucí koncentrací glukózy v důsledku inhibice biosyntézy aminokyselin a bílkovin. V době květu dochází ke změnám barvy květů způsobené tvorbou bezbarvých leukoantokyanů místo žlutých flavonoidů způsobené inhibicí syntézy aminokyselin a bílkovin se zvýšenou tvorbou cukrů. V období dozrávání dochází ke snížení počtu šesulí a také jejich velikosti. Šesule jsou morfologicky deformované spojené s menším počtem semen (při hlubokém nedostatku jen 1 - 5 semen). Významně je redukována celková produkce semen, oleje a bílkovin (Pedersen et al., 1998; Zelený et Zelená, 1996).

Nadbytek síry může být způsoben vysokým obsahem síry v půdě, který se projeví vysokou koncentrací SO_4^{2-} v půdním roztoku, většinou bez negativního účinku na rostliny. Rostliny poměrně dobře snášejí vyšší obsah SO_4^{2-} a nadbytečné množství jsou schopny ukládat ve svých pletivech bez poškození. Velmi vysoké koncentrace SO_4^{2-} (nad 4000 mg v 1 litru) působí na rostliny depresivně. V aridních oblastech a krytých objektech (fóliovníky, skleníky) může vyšší obsah síranů spolupůsobit, hlavně s Cl a kationty Na^+ a K^+ , na zasolení

půd a zvýšení koncentrace solí v půdním roztoku což ovlivňuje celkový vývoj porostu (Vaněk et al., 2012).

Z druhého pohledu může být rizikem toxicita SO_2 , která se na rostlinách projevuje obdobně jako působení H_2SO_4 . V případě chronického onemocnění dochází ke žloutnutí listů, vybělení tkání mezi nervaturou v důsledku rozpadu chlorofylu a karotenů, mezižilní prostory se vybělují a listy opadávají (Zelený et Zelená, 1996). Při vysokých koncentracích dochází ke zpomalení fotosyntézy. Vlivem vlhkosti začne absorbovaný oxid siřičitý rozpouštět buňky mezofylu ve stomatech a poté následuje disociace na H^+ , HSO_3^- a SO_3^{2-} , které se akumulují a mohou mít za následek úplný rozpad chloroplastových membrán. V současné době tento problém již není aktuální, protože hlavní zdroje emisí jsou zachycovány. Výjimkou mohou být ojedinělé případy některých domácností, kdy zejména v zimním období dochází ke spalování ne příliš kvalitního hnědého uhlí s vysokým obsahem síry (Marschner, 2003; Vaněk et al., 2012).

3.8.3 Výživa a hnojení řepky sírou

Bečka et al. (2007) a Matula (2007b) uvádějí, že k zajištění dobrého výnosu semene řepky potřebuje porost řepky během své vegetace odebrat 70 - 90 kg S.ha⁻¹.

Odběr síry od založení porostů do období zimního klidu je poměrně malý, pohybuje se u dobrých porostů kolem 10 - 15 kg S.ha⁻¹. V podzimním období je doporučována skromná výživa a rovnoměrné rozmístění živin v orničním profilu (Bečka et al., 2007).

V průběhu zimního klidu je období stagnace odběru síry rostlinami, popřípadě poklesu odběru v závislosti na průběhu zimy, tj. v závislosti na stupni poškození rostlin - odumření listů růžice. Během zimního období by řepka měla být dostatečně zásobena živinami (N, P, S), protože rostliny řepky využívají živiny uložené v kořenovém krčku. Na úrodných hnědozemních půdách na hlubokých spraších byly zaznamenávány maximální odběry síry přes 110 kg S.ha⁻¹, které se vyznačují tzv. síranovou tvrdostí spodní vody. Rovněž vysoký odběr síry je v sušších ročnicích, kdy intenzivní transpirace vody porosty zesiluje vztlínání vod bohatých na SO_4^{2-} ze spodních půdních vrstev. Od počátku zrání do sklizně je výrazný pokles odběru síry dán opadem listů, který může představovat návratnost síry do půdy již před sklizní přes 20 kg S.ha⁻¹ (Matula, 2007b).

Rozhodující období ve výživě sírou je doba po obnovení jarní vegetace od počátku dlouhivého růstu až do počátku kvetení. V tomto období intenzivního růstu a vývoje

(4 - 5 týdnů) potřebují porosty řepky minimálně 20 - 40 kg S.ha⁻¹ ve formě SO₄²⁻ v povrchovém profilu půdy (0 - 30 cm). Proto hnojení sírou směřujeme především do období časného jara (únor - březen), kdy je využití síry z hnojiv nejvyšší a také deficit síry nejzřetelnější. Dávka by měla být stanovena na základě obsahu minerální síry v ornici. Obsah S_{min} se na lehkých půdách pohybuje kolem 16 mg.kg⁻¹, středních 13 mg.kg⁻¹ a půdách 10 mg.kg⁻¹. V případě nižšího obsahu, než jsou uvedené hodnoty, je možné doporučit hnojení sírou v dávce 20 - 40 kg S.ha⁻¹. Vhodná je aplikace společně s dusíkem (DASA, SAM). Další možností je aplikace např. kieseritu nebo hořké soli vhodné na stanovištích s nedostatkem hořčíku. Asi ve 2. dekádě dubna (v závislosti na srážkových poměrech), dochází ke změně pohybu vody v půdním profilu. Dochází ke zlepšení podmínek výživy sírou, neboť vzlínající voda má vyšší obsah SO₄²⁻ než voda srážková. Další potřebu síry lze indikovat pomocí obsahu síry v rostlinách, kdy za dostatečný obsah v rostlinách ve fázi dlouhivého růstu lze považovat asi 0,55 % síry v sušině (v závislosti na množství vytvořené biomasy) (Baranyk et al., 2007).

V rostlinách metabolismus síry úzce souvisí s metabolismem dusíku a jsou vzájemně velmi propojeny. Společně by dusík se sírou měly tvořit jeden ze základů ve výživě řepky. V případě nedostatku dusíku dochází i k omezení příjmu síry. Síra podporuje zakořeňování, ovšem luxusní zásobením dusíkem snižuje jeho intenzitu (Scherer, 2001; Zelený et Zelená, 1996).

Řepka je plodinou, která má vysoké nároky na spotřebu vody k tvorbě sušiny. Výnos řepky je závislý na dostatečné vodní kapacitě v půdě. V opačném případě na stanovištích s nedostatečnou vodní kapacitou v půdě je výživa sírou druhořadá (Matula, 2007b).

3.9 Bór (B)

Ačkoli je bór řazen mezi mikroprvky, jejichž obsah se pohybuje méně než 0,05 % v sušině rostlin, zastává v rostlinách různé významné funkce na úrovni makroprvků. Z pohledu působení v rostlinách je důležité zmínit jeho účast na tvorbě a stabilitě buněčných stěn, dále tvorbě bílkovin, generativních orgánů, růstu kořenů, transport asimilátů z chloroplastů a listů do zásobních orgánů apod. Mezi mimořádně citlivé plodiny na bór patří řepka. Můžeme tedy předpokládat, že více než 80 - 90 % porostů řepky je nutno hnojit bórem (Černý et al., 2015a; Baranyk et al., 2007).

3.9.1 Bór v půdě

Obsah bóru v půdě je primárně ovlivněn jeho přítomností v půdotvorném substrátu, tedy minerálech, které půda obsahuje. Nejčastěji se zde vyskytuje v podobě hydratovaných či bezvodných oxidů (často spolu s Na, Ca, Mg, popř. Fe) a dále ve formě složitých borokřemičitanů (turmalín, axinit). Dalšími zdroji bóru, označovanými jako sekundární mohou být především zdroje z odpadních vod, např. čistírenské kaly, závlaha říční vodou nebo aplikace rybníčních sedimentů. Pochopitelně jsou k dalším zdrojům řazeny i hnojiva obsahující bór. V půdě je obsah bóru značně různorodý a může se pohybovat od 5 - 200 mg.kg⁻¹. Nejčastěji se setkáváme s obsahem na lehkých půdách v rozmezí 10 - 20 mg.kg⁻¹ a 30 - 50 mg.kg⁻¹ na středních a těžkých půdách. Závislost výnosu řepky ozimé na obsahu bóru v půdě je dokumentována v tabulce 4. Zvětráváním minerálů se bór velmi pozvolna uvolňuje nejčastěji ve formě nedisociované kyseliny trihydrogenborité (H₃BO₃) či rozpustných boritanů. Tyto formy jsou pro rostliny přístupné ale v půdě snadno pohyblivé a mohou být zvláště při nízkém pH půdy a zvýšeném promyvném režimu vyplavovány. Celkově nižší obsah bóru obsahují půdy lehké z důvodu menšího obsahu minerálů s bórem. Na těžkých půdách je většinou celkový obsah bóru vyšší. Mobilní formy bóru mohou vytvářet anionty (boritany), které jsou následně poutány na jílové minerály. Z jílových minerálů je to zvláště illit a vermikulit, méně je to např. kaolinit a montmorillonit. Na uvedených minerálech dochází k vytváření reaktivními povrchovými částicemi silná specifická adsorpce, což vede k lepšímu zadržování na těžkých půdách oproti půdám lehkým. Půdní částice vytváří pro rostliny „konkurenční“ prostředí. Při stejném systému hnojení nebo při stejném obsahu bóru v půdě je přístupnost bóru pro rostliny lepší na půdách lehkých (Černý et al., 2015a; Yang et al., 2009).

Přijatelnost bóru je také závislá na pH prostředí. Dobrá přijatelnost je do hodnoty pH 6,3 ale se zvyšující hodnou klesá. Při pH 7,2 - 8,7 ale také při pH pod 5,0 je přijatelnost bóru nízká. Zvýšení pH zvyšuje adsorpci bóru na půdní částičky a v alkalických půdách se vytváří vápenato - hlinito - křemičité velmi těžko rozpustné a přijatelné sraženiny bóru (Černý et al., 2016).

Mobilita bóru je také významně ovlivněna obsahem a kvalitou organické hmoty ale také vlhkostí a teplotou půdy. Pozitivní závislost byla prokázána mezi přístupností bóru a obsahem primární organické hmoty. Bór obsažený v primární organické hmotě je důležitým zdrojem bóru pro rostliny, ovšem pro rostliny je přístupný až po uvolnění mineralizací. V

suchém období je přístupnost bóru pro rostliny nízká v důsledku snížení pohybu bóru v půdním roztoku hmotovým tokem, který je rozhodujícím pro jeho přiblížení ke kořenům. Snižuje se také transpirace rostlin, tj. transport z kořenů do nadzemní části rostlin. Můžeme se vlivem střídání suchého a vlhkého období či nízkých teplot setkat s nedostatkem bóru v různých růstových fázích některých plodin (Černý et al., 2016; Yang et al., 2009).

U bóru bylo zjištěno synergické působení s dusíkem, kde je uváděna vyšší efektivita využití dusíku. Je také popisováno synergické působení na příjem draslíku, zejména u plodin náročných na draslík. Antagonistické působení je uváděno u zinku, neboť po aplikaci hnojiv obsahující zinek byl zjištěn nižší příjem bóru rostlinami, zvláště na půdách vykazující deficit bóru. Při dostatečné výživě bórem přispívají oba mikroprvky ke zvýšení výnosů (Yang et al., 2009).

Tab. 4: Závislost výnosů řepky ozimé na obsahu bóru v půdě (Bečka et al., 2007)

Rozmezí obsahu B v mg.kg ⁻¹	Výnos (t.ha ⁻¹)	Výnos (%)
pod 0,4	2,98	100
0,81 - 1,00	3,11	104
1,01 - 1,20	3,16	106
1,21 - 1,40	3,01	101
nad 1,60	2,83	95

3.9.2 Bór v rostlinách

Obsah bóru v rostlinách se pohybuje v rozmezí 0,001 - 0,01 %, což v přepočtu představuje 10 - 100 mg.kg⁻¹. Mezi jednotlivými rostlinami či rostlinnými druhy existují značné rozdíly v obsahu bóru v rostlinách. V jednoděložných rostlinách (kukuřice, obilniny) je obsah bóru nižší a naopak u rostlin dvouděložných je obsah bóru vyšší (řepka, řepa, hrách). Celková potřeba rostlinami je také dána množstvím vytvořené biomasy (Černý et al., 2015a).

V rostlinách je bór poměrně málo pohyblivý. Bór je převážně transportován akropetálním pohybem, tj. od kořenů k vrcholům a je přiváděn až do okrajů a špiček listů. Opětovné využití bóru ze starších pletiv je nepatrné. V rostlinách nedochází k výraznému hromadění, pokud není jeho příjem výrazně vyšší než potřeba. To má za následek jeho hromadění v cytosolu a následné poškození pletiv, zejména na okrajích listů. Příjem bóru je

výrazně ovlivňován vnějšími podmínkami, za sucha se zvyšuje vazba bóru v půdě, takže je omezena jeho rozpustnost a přijatelnost rostlinami. Dalším faktorem ovlivňující příjem bóru jsou aciditní podmínky, kdy je lépe přijatelný v kyselém prostředí. Proto po vápnění či na půdách s alkalickou reakcí často dochází k jeho nedostatku (Vaněk et al., 2012; Vaněk et al., 2016).

Bór se ve fyziologických funkcích v rostlinách liší od ostatních mikroelementů. Nedochozí ke změně jeho mocenství a svým chováním připomíná spíše fosfor. Je schopen vytvářet estery kyseliny borité, se skupinami OH jiných organických sloučenin (alkoholy aj.) vytváří polyhydroxylové sloučeniny stabilizující buněčné stěny. Mezi nejvýznamnější funkce patří jeho účast na tvorbě a stabilitě buněčných stěn. V buněčných stěnách může být vázáno až 90 % z obsahu bóru v rostlinách, což je jedním z důvodů velmi malé pohyblivosti v rostlinách. Bór spojuje pektiny a vytváří příčné vazby mezi jednotlivými komponenty buněčných stěn, čímž se přímo podílí na její struktuře a nepřímo ovlivňuje tvorbu buněčné stěny. V této souvislosti byl zjištěn vliv bóru na lignifikaci. Uvedeným působením je zajištěna pevnost a elasticita pletiv. V rostlinách se bór významně podílí na tvorbě organických látek, zejména bílkovin (s čímž souvisí efektivita využití dusíku), nukleových kyselin (zejména RNA), sacharidů, a mimo jiné také působí na tvorbu růstových hormonů (IAA - kyselina indol-3-octová). Další významnou funkcí bóru je transport sacharidů z listů do zásobních orgánů, čímž je ovlivňována rychlost fotosyntézy, ale také růst zásobních orgánů (kořenů, plodů). Dalšími látkami, které bór ovlivňuje je například fosfor, neboť aktivuje membránové ATPasy. ATPasy se podílejí na aktivním transportu řady iontů. Pozitivní vliv bóru je také na tvorbu generativních orgánů (působení na klíčení pylové láčky, utváření semen ve vegetačním vrcholu) (Černý et al., 2015a; Yang et al., 2009).

Deficit bóru se projevuje chlorózami (červenofialové zbarvení starších listů a řapíků) nebo morfologickými změnami na rostlinách (zpomalení růstu nadzemních částí i kořenů rostlin). Při deficitu bóru se snižuje syntéza cytokininů a zvyšuje se hladina auxinů. Při akumulaci auxinů v rostlinách dochází k nekrotám rostlin. Nejběžnějším příznakem nedostatku bóru bývají poruchy pevnosti, u řepky ozimé je typickým projevem praskání kořenů a stonků. Dutiny pod kořenovým krčkem, které mohou být mimo jiné způsobeny i hmyzem spíše připomínají srdéčkovou suchou hnilobu u cukrovky. Tyto příznaky se většinou projevují již na podzim před nástupem vegetačního klidu. Bór také ovlivňuje prostřednictvím buněčných stěn odolnost rostlin před nepříznivými a škodlivými vlivy (např. mráz, patogenní

organizmy). U řepky ozimé je popisován nižší výskyt některých chorob (*Verticilium*, *Phoma*, *Plasmodiophora brassicae*) a škůdců (mšice, roztoči, klopušky). Dalšími příznaky může být omezení fertility, která vede k horšímu nasazování nebo až nevytvoření šešulí (Černý et al., 2015a; Yang et al., 2009).

Jak bylo uváděno v předchozích kapitolách, existují poměrně velké rozdíly v citlivosti rostlin na nadbytek bóru. Snadněji jsou poškozovány rostliny nenáročné na bór. Velmi citlivou plodinou je ječmen, který má nízký obsah bóru a vytváří malé množství biomasy. Poškození nadbytkem bóru může vykazovat projevy toxicity, zvláště pokud je pěstován po plodině hnojené vysokou dávkou bóru. Nadbytek bóru se projevuje hnědými nekrotickými místy na listech a pochvách stébel. Následně dochází k zasychání, celý list žlutne a pochopitelně se promítne ve snížené kvalitě produkce a depresi výnosu (Černý et al., 2015a).

3.9.3 Výživa a hnojení řepky bórem

Ve výživě ozimé řepky je hnojení bórem již standardním opatřením. Bór je nejlépe přijímán z půdy, kde se běžně vyskytuje v podobě kyseliny borité. V půdním roztoku je poměrně mobilní, a tak snadno proniká ke kořenům. Pro hnojení do půdy je možné využít například tetraboritan sodný, tj. Borax (11 % B), kyselinu boritou (15 - 17,5 % B) či Solubor (17 % B). U vyšších dávek hrozí riziko toxicity na citlivé plodiny ale také k negativnímu ovlivnění produkce u méně citlivých plodin, proto by se dávka měla pohybovat v rozmezí 1 - 2 kg.ha⁻¹. V případě omezení příjmu bóru přes půdu mohou být použita listová hnojiva aplikovaná postřikem. Z výše uvedených hnojiv lze pro hnojení na list použít např. Borax a Solubor. Aplikovaná koncentrace roztoku s bórem by měla být 0,2 - 0,5 %, přičemž je doporučována dávka pro mimokořenovou aplikaci 0,3 - 0,4 kg B.ha⁻¹. Mimokořenová aplikace je vhodná na alkalických půdách a v období sucha zvláště na těžkých půdách, kdy je příjem bóru značně omezen. Po intenzivních srážkách je naopak vhodné použití aplikace na list. Mimokořenová aplikace by měla být posunuta do pozdějších růstových fází z důvodů větší listové plochy, ale také proto, že bór přijatý později více působí na tvorbu výnosu semen. U plodin náročných na bór (řepka, cukrová řepa) je nutné postřik opakovat, zejména pokud nebyla řešena výživa přes půdu. Například při vlhkém průběhu zimního období je u řepky ozimé možné předpokládat nižší obsah bóru v půdě, proto by měl být aplikován již s prvními vstupy do porostů. V případě vynechání hnojení bórem na podzim je nutná aplikace časně z jara (Bečka et al., 2007; Černý et al., 2015a; Yang et al., 2009).

3.10 Mangan (Mn), zinek (Zn) a molybden (Mo) ve výživě řepky

V řadě experimentů byl prokázán pozitivní vliv stopových prvků na výnos ozimé řepky. Po bóru lze jmenovat ještě mangan, zinek a molybden. Jak uvádí Yang et al. (2009) tyto prvky příznivě ovlivňují růst a vývoj řepky ozimé. Příjem manganu je významně ovlivněn aciditními podmínkami stanoviště a také redox potenciálem půdy. Přijatelnost manganu se zvyšuje v kyselém prostředí nebo na zamokřených stanovištích. Na intenzivně obhospodařovaných půdách (dobrá aerace, rozvoj mikroorganismů aj.) dochází k tvorbě vícemocných sloučenin a snižuje se tak jeho přijatelnost. V půdě se vyskytuje v různých oxidačních stupních (Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+}) avšak rostlinám je dostupný jako Mn^{2+} . Účastní se řízení oxidačních, redukčních a karboxylačních procesů při tvorbě cukrů a bílkovin. Je důležitým esenciálním prvkem při fotosyntetických pochodech, je aktivátorem mnoha enzymů, podílí se na výstavbě chloroplastů apod. (Vaněk et al., 2012; Yang et al., 2009). Zinek je rostlinami přijímán jako Zn^{2+} a jeho fyziologický význam spočívá v tom, že ovlivňuje řadu enzymových reakcí, působí na metabolismus glycidů, ovlivňuje prodlužovací růst buněk apod. U řepky ozimé zinek podporuje její větvení. V případě zvýšeného obsahu fosforu v půdě je možné očekávat problémy s příjmem zinku. Naopak synergické působení na příjem molybdenu vykazuje fosfor. Vyšší příjem molybdenu je také zaznamenáván na půdách s alkalickou reakcí. Rostlinami je přijímán jako aniont MoO_4^{2-} a využíván pro zajištění důležitých enzymových funkcí. Molybden je důležitý v metabolismu dusíku, kde je součástí enzymů - nitrátoreduktáza účastnících se na redukci $N - NO_3^-$ (Liu et al., 2017).

3.11 Hodnocení hlavních faktorů ovlivňující půdní prostředí a efektivitu rostlinné výroby

Pěstování polních plodin je zejména biologický proces, proto je zohlednění této skutečnosti jednou ze základních podmínek pro dosažení optimálních výsledků v tomto sektoru podnikání. Předpokladem je tedy přizpůsobení soustavy hospodaření také ekologickým hlediskům, které přispívají ke stabilitě agrosystému, ochraně životního prostředí a k vyšší ekonomické efektivnosti podnikatelských aktivit zemědělských podniků (Andersen, 2000; Javůrek et Vach, 2008; Kubát, 2008).

Půda je jednou ze základních složek životního prostředí a patří mezi životně důležité a těžko obnovitelné zdroje. Produkční a mimoprodukční funkce půdy je nezastupitelná. Je nutné neustále prohlubovat systém její ochrany, neboť půda je vystavena stále rostoucímu

antropogennímu zatížení. Jednotlivými agrotechnickými opatřeními se má půda upravit do stavu, kdy jsou plodinám poskytovány vhodné podmínky pro růst a vývoj. Současně je kladen důraz na minimalizaci negativních dopadů na stanoviště. Z dlouhodobého hlediska by právě zájem o důsledky hospodaření na půdě měl být zájmem trvalým především toho, kdo na půdě hospodaří (Hůla et al., 2010).

3.11.1 Výživa a hnojení polních plodin

Základním živným prostředím polních plodin je půda, kde zásoba živin v půdě tvoří podstatu její úrodnosti. Výnosy a kvalita polních plodin jsou do značné míry závislé na výživném stavu půdy. Jedná se tedy o schopnost půdy zásobovat rostliny potřebnými živinami v dostatečné výši a vzájemných poměrech během celé vegetace, zvláště v kritických obdobích růstu a vývoje. Cílem by měla být harmonická výživa rostlin, jejímž základem je udržování vyrovnané zásoby živin v půdě. Významné postavení v rostlinné produkci má „ročník“, zejména tedy povětrnostní a klimatické jevy (Matula, 2007a).

Na půdách s dobrým chemismem a vyrovnanou zásobou živin je možné realizovat neekonomičtější a nejjednodušší technologii výživy rostlin. Pouze se věnuje pozornost hnojení dusíkem, kde je výnosový dopad dusíku jako živiny neopominutelný. V současné praxi se bohužel čím dál více jednostranně hnojí dusíkem. Disharmonie výživného stavu porostu má za následek zesíleného výskytu zvláště houbových chorob, negativní dopad na výnos, kvalitu a končí hlubokou destrukcí úrodnosti půdy. Při nevhodném chemismu půdy a disharmonii zásoby jednotlivých živin nemůže být normativně aplikovaný dusík plně využit k tvorbě plánovaného výnosu. Takto nevyužitý dusík může být potencionálním zdrojem kontaminace povrchových a podzemních vod, nebo rovněž zdrojem škodlivého úniku oxidů dusíku do atmosféry (Altiery, 1995; Klír et al., 2008; Vach et Javůrek, 2008).

V zemědělské praxi je častým problémem tzv. paušální přístup hnojení na jednotlivých půdních blocích, čímž je myšleno, že na všech stanovištích je používána shodná dávka bez ohledu na stav porostů, půdní a klimatické podmínky apod. Výsledkem jednostranného hnojení je nevyrovnané zásobení živin v půdě a plošná nevyrovnanost jednotlivých pozemků, která v konečné fázi negativně působí na výnos. Jednou z možností zvýšení efektivity hospodaření je systém precizního zemědělství, kde jsou využívány nové technologie, jejichž hlavním cílem je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním podmínkám daného stanoviště. Hlavní zásadou je provádět pěstební zásahy na správném místě, se

správnou intenzitou a ve správný čas. Diferencované agrotechnické zásahy umožní zefektivnit a optimalizovat spotřebu materiálových vstupů do pěstebních technologií, a tím snížit negativní dopady na životní prostředí, což povede ke zvýšení kvality produkce a udržitelnosti pěstebních systémů polních plodin (Lukas et al., 2011).

3.11.2 Struktura plodin

Jedním z rozhodujících faktorů úspěšného hospodaření v zemědělských podnicích se považuje účelná skladba plodin, neboť výrazně přispívá k vysokému využití potenciálu stanoviště pěstovaných plodin a agrotechnických opatření. V mnoha výzkumech bylo prokázáno, že ani nejvýkonnější odrůdy či intenzivní hnojení při nevhodně zvolené struktuře plodin nezajistí předpokládané výnosy, a tím ani uspokojivý ekonomický výsledek zemědělských podniků (Altiery, 1995; Andersen, 2000).

V dnešních způsobech hospodaření došlo k významným změnám, což se projevilo přechodem na užší specializaci pěstování pouze lukrativních tržních plodin. Zemědělské podniky jsou často tlakem trhu nuceny k opakovanému pěstování plodin více let po sobě, než je únosné. V takových to případech je nutné zvážit, zda okamžité ekonomické efekty takového hospodařícího systému se v budoucnu neprodraží v nákladech na odstraňování negativních následků. Dochází k zanedbávání ekologických hledisek, které znamenají nedodržení biologické vyváženosti zastoupení plodin na orné půdě. Porušování ekologických principů a nerespektování biologických zásad ve strukturální skladbě zemědělských plodin zejména způsobuje tyto negativní jevy: negativní dopad na půdní strukturu, zvýšená potřeba agrochemických vstupů a s tím spojené vyšší náklady a spotřebu pesticidů, možná rizika obsahu toxických látek v půdě a vodě, zvýšený výskyt škodlivých činitelů, nedostatek nebo absence organického hnojení apod. Možnostmi řešení může být například posílení živočišné výroby, zařazení jetelovin a luskovin do osevních postupů (sledů), zvýšené využívání kompostů, využití meziplodin apod. (Hůla et al., 2010; Javůrek et Vach, 2008; Tullberg, 2000).

3.11.3 Zhutnění půdy

Zhutňování půd je stále častějším problémem a na mnoha stanovištích je vážnou příčinou zhoršení úrodnosti a produkční schopnosti půd. Je omezováno plné využití genetického potenciálu nových výkonných odrůd a je snížena efektivita vstupů do produkčního procesu pěstovaných plodin. Genetické zhutnění půdy je dáno přirozenými

vlastnostmi těžkých půd, naproti tomu zhutnění technogenní je způsobeno nevhodnými způsoby mechanizovaného zpracování půdy. Současné hlavní příčiny zhutňování půd jsou tedy antropogenního charakteru. Již známá je situace, kdy je půda dlouhodobě degradována kompakcí v podorničních horizontech. V těchto hloubkách je zhutnění půdy velmi perzistentí a eliminující v dlouhodobém časovém horizontu (Hůla et al., 2010; Javůrek et Vach, 2008).

Přejezdy pojezdových ústrojí strojů po pozemcích dle Tullberga (2000) zvyšují energetickou náročnost následného zpracování půdy o 25 - 45 %. Opakované přejezdy pracovních souprav mají zejména v sušších ročních období za následek rozrušení svrchní vrstvy půdy, v mnoha případech až na elementární stav. Zejména při vysokých teplotách a nízké vlhkosti půdy a intenzivní mineralizaci půdní organické hmoty může docházet ke ztrátám uhlíku ve formě emisí CO₂, které vedou ke snížení úrodnosti. Nadměrné technogenní zhutnění negativně ovlivňuje infiltraci srážkové vody do půdy, vzdušný režim a teplotu půdy, redukuje růst kořenů, jejich prodlužování a prorůstání do spodních vrstev, tvorbu kořenového vlášení, půdní edafon aj. U řepky ozimé, která vytváří křivý kořen, se omezuje růst tím, že neproniká zhutnělou vrstvou v podorničí a deformuje se, což má za následek nižší příjem vody a živin (Kovaříček et al., 2014; Lhotský, 2000).

Při odstraňování či omezování zhutnění půdy je třeba dbát na propojenost a kombinaci jednotlivých opatření s ohledem na půdní a klimatické podmínky daných stanovišť. Jednou z možností eliminace degradačních procesů v půdě představují technologie pásového zpracování půdy (strip tillage). Hlavními výhodami této technologie je: a) ochrana půdy v důsledku ponechání rostlinných zbytků v meziřádkách (omezení vodního stresu při hlubším zpracování v porovnání se systémy celoplošného hlubšího zpracování a omezení eroze), b) vyšší teplota a kvalitněji připravené seťové lůžko, c) vyšší efektivita využití hnojiv (uložení hnojiv do blízkosti kořenů), d) zvýšení zásoby vody v půdě v důsledku jejího nezpracování mezi řádky plodiny a snížení evaporace z důvodu pokrytí meziřádků rostlinnými zbytky, e) snížení produkce CO₂ na jednotku plochy, f) snížení spotřeby energetických a ekonomických vstupů (Brant et al., 2016).

3.11.4 Parametry a variabilita půdního bloku a jejich vztah k jeho obhospodařování

Mezi primární faktory určující vliv prostorového umístění půdního bloku v krajině na systémy obhospodařování je řazena samozřejmě výměra (velikost), tvar, svažitost a její změna

v rámci pozemku, přítomnost krajinných prvků, rozmístění a počet překážek antropogenního původu (sloupy elektrického vedení,...), vzdálenost od podniku apod. (Brant et Kroulík, 2018; Landers, 2000).

Vliv velikosti a tvaru pozemku (půdního bloku) na efektivitu jeho hospodářského využití je jedním z dlouhodobě hodnocených parametrů. Obecně je známo, že nárůst velikosti půdního bloku je spojován s nárůstem podílu času spotřebovaného pro přímé pracovní činnosti pracovní soupravy vůči celkovému času, který zahrnuje i jeho spotřebu na činnosti přímo nesouvisějící s prováděním práce při agrotechnické operaci. Faktory jako je např. přeprava soupravy, otáčení se na souvrati, seřizování stroje, rozložení stroje do pracovní a přepravní polohy apod. V případě nárůstu plochy půdního bloku je pozitivně ovlivňována plošná výkonnost soupravy za jednotku času. Jak uvádí literatura, nárůst velikosti plochy půdního bloku na zvýšení plošné výkonnosti souprav se projevuje při zvyšování výměry přibližně kolem 45 ha (Brant et Kroulík, 2018).

Při shodné velikosti půdního bloku je výkonnost pracovních souprav výrazně modifikována jeho tvarem. Z hlediska obhospodařování se za optimální tvar pozemku (půdního bloku) považuje obdélník a poměru stran 1:2 až 1:4. Na menších a nepravidelných půdních blocích může s nárůstem pracovních záběrů docházet ke zvyšování překrývání pracovních jízd. Vyšší plošná výkonnost je spojena s nárůstem tahové síly, či výkonu motorů tažných prostředků což vede k nárůstu celkové hmotnosti souprav a tím i většímu tlaku na půdu (Brant et Kroulík, 2018). Zatížení půdy přejezdy vede k negativnímu zhutňování, které se projevuje sníženou infiltrační schopností půdy, obtížnou zpracovatelností, narušením půdní struktury a samozřejmě i na vývoji porostu kulturní plodiny včetně jeho hustoty apod. K zatížení půdy přejezdy dochází nejen na menších a nepravidelných pozemcích ale i na okrajích pozemků (souvratích) vykazujících náhlou změnu směru (Brant et Kroulík, 2018; Javůrek et Vach, 2008).

4 Materiál a metody

Diplomová práce byla zaměřena na hodnocení vztahů mezi dosaženým výnosem ozimé řepky na provozních plochách zemědělského podniku, agrochemickými vlastnostmi půd a používaným systémem hnojení, přičemž vliv ročníku (agrotechnika, průběh počasí apod.) byl hodnocen jako jeden ze sledovaných faktorů. Vyhodnocení probíhalo v hospodářských letech 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 v zemědělské společnosti Rakochmel s.r.o. V každém roce bylo sledováno šest různých půdních bloků, na kterých byla pěstována řepka ozimá.

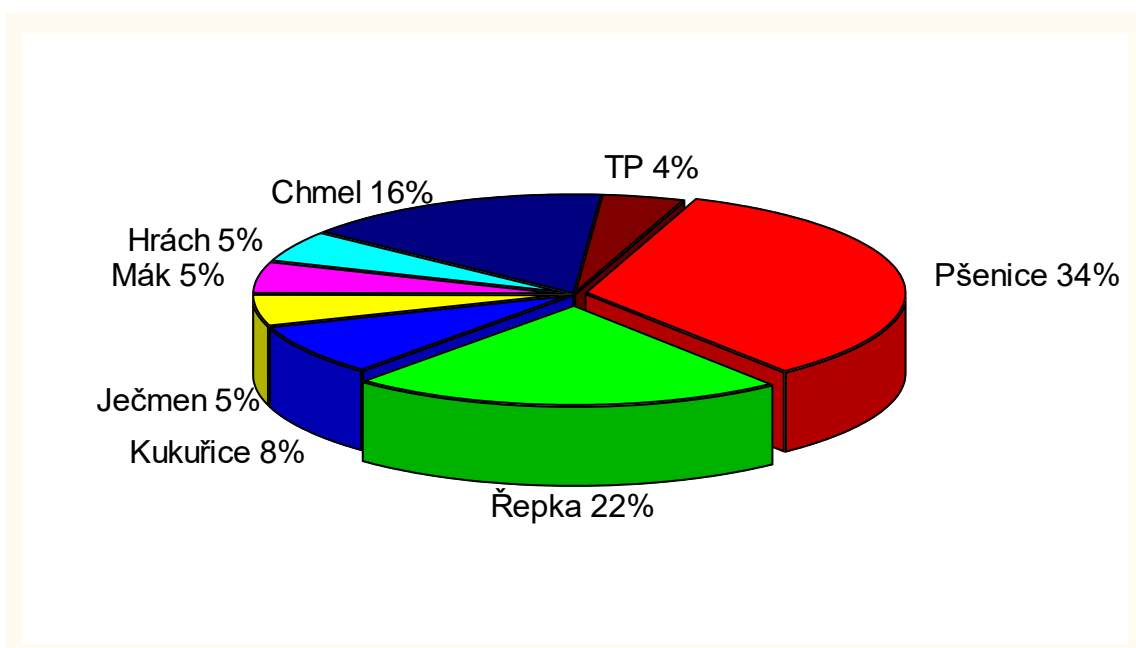
Pro vyhodnocení vzájemných závislostí sledovaných agrochemických parametrů byly použity statistické metody regresní a korelační analýzy s využitím polynomicke spojnice trendu. Regresní a korelační analýzou bylo zjišťováno, zda spolu náhodné veličiny souvisejí, do jaké míry či nikoliv. Byla zjišťována těsnost vztahu a průběh závislosti mezi výnosem řepky ozimé a celkové dávkou dusíku, dále mezi výnosem a jednotlivými agrochemickými parametry - hodnotou pH, obsahem přístupných živin P, K, Mg a Ca. Jako podklady pro vyhodnocení agrochemických vlastností půd byly použity výsledky z agrochemické laboratoře. Meteorologické údaje (teploty, srážky) byly získány ze soukromé meteorologické stanice Kolečovice. Ostatní soubory dat (systém hnojení apod.) či přiložené fotografie, které slouží jako pomocné podklady pro vyhodnocování, byly získány z vlastních průzkumů, pozorování či evidence. Značná pozornost byla také věnována hodnocení půdně - klimatických podmínek a jejich vlivu na výnos ozimé řepky. Půdní podmínky byly hodnoceny na základě BPEJ a bodové výnosnosti, kde data byla získána z webových stránek Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd. Součástí podkladů pro hodnocení půdních podmínek byly i výsledky penetrometrického měření prováděné v roce 2017, získané z vlastního průzkumu.

4.1 Charakteristika oblasti hospodaření

Zemědělská společnost Rakochmel s.r.o. se nachází v obci Kolečovice, která je lokalizována 60 km severozápadně od Prahy a 10 km od Rakovníka. Oblast hospodaření je na území Středočeského kraje, kde je geomorfologickým celkem Rakovnická pahorkatina, tvořící severní část Plzeňské pahorkatiny. Do jejího územního plánu spadají obce Heřmanov a Zderaz. Celková výměra obhospodařované půdy se pohybuje kolem 950 ha, přičemž hlavní činností je rostlinná prvovýroba. Významnou součástí rostlinné výroby je i pěstování chmele, který z celkové výměry zaujímá plochu 150 ha. Rakochmel s.r.o. hospodaří bez živočišné

výroby a hlavními plodinami v osevním postupu jsou řepka ozimá a pšenice ozimá, v menší míře je to dále kukuřice, ječmen ozimý, hrách a mák. Zastoupení jednotlivých plodin je uvedeno v koláčovém grafu č. 2. Vedlejší produkty (sláma obilnin, sláma řepky, aj.) jsou během sklizně rozdraceny a následně zapraveny do půdy.

Graf 2: Koncentrace jednotlivých plodin v osevním postupu



Hodnocené půdní bloky se nacházejí v nadmořské výšce v rozmezí 360 - 430 m. n. m. a jsou lokalizovány v katastrálním území (dále jen k. ú.) Kolečovice u Rakovníka, k. ú. Heřmanov u Kolečovic a k. ú. Zderaz u Kolečovic. Na základě klimatických charakteristik je výrobní zemědělská oblast charakterizována jako obilnářská s výrobní podoblastí O2, klimatickým regionem MT 1 (mírně teplý) s průměrnou roční teplotou 7 - 8,5 °C. Oblast hospodaření se nachází ve srážkovém stínu Krušných hor a Doupovských vrchů. Důsledkem této skutečnosti se srážky od roku 2012 - 2017 pohybovaly v rozmezí 350 - 700 mm za rok s pravidelnými jarními přísušky, které mají v jarním období pro rostliny řepky zásadní význam.

Půdy se vyznačují vysokou heterogenitou, přičemž převažujícím půdním typem byla kambizem. Dle půdně bonitované ekologické jednotky se bodová výnosnost pohybuje téměř na všech půdních blocích v rozmezí 28 – 58 (viz. tabulka 5). Tyto hodnoty charakterizují půdy velmi málo produkčně schopné, což je potvrzeno i jednotlivou kategorií třídy ochrany. Většina půdních bloků je zařazena do třídy ochrany III. a IV. Třídy ochrany označené III. a IV.

jsou charakterizovány jako půdy s průměrnou nebo podprůměrnou produkční schopností, využitelné pro výstavbu i jiné nezemědělské účely.

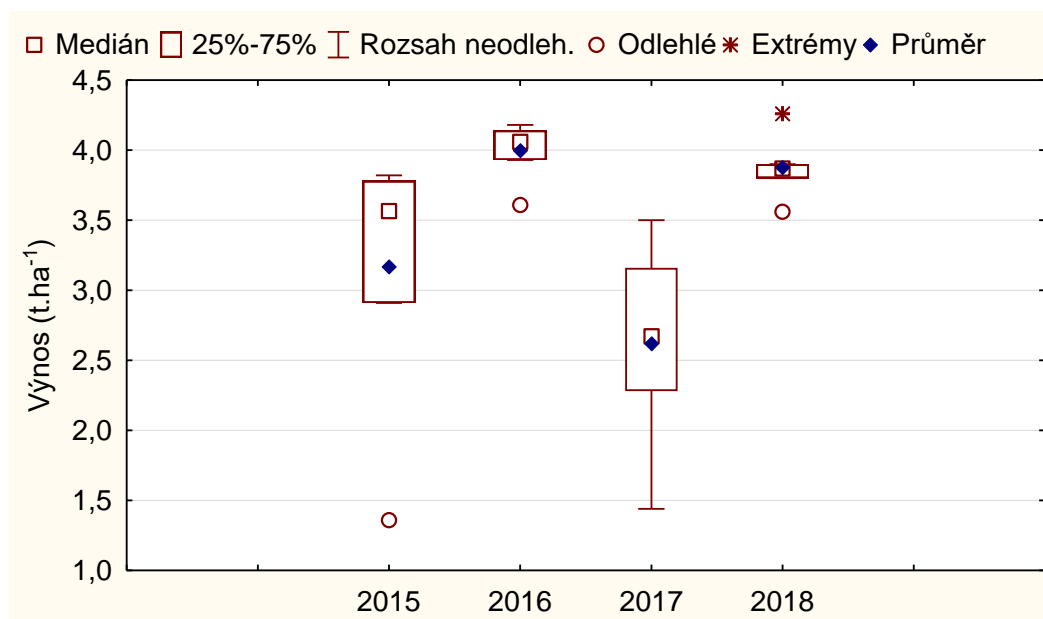
Tab. 5. Hodnocení vybraných půdních bloků dle BPEJ (<https://bpej.vumop.cz/>)

Půdní blok	Výměra (ha)	BPEJ	Třída ochrany	Výnosnost
1	19,41	4.31.11	IV.	35
2	59,12	4.30.04	IV.	28
3	71,89	4.33.01	III.	52
4	4,34	4.33.01	III.	52
5	10,17	4.02.00	I.	71
6	11,10	4.33.01	III.	52
7	62,46	4.33.11	III.	45
8	28,96	4.30.11	III.	35
9	15,41	4.56.00	I.	53
10	22,21	4.21.12	V.	25
11	5,39	4.12.00	II.	62
12	35,30	4.30.01	III.	43
13	23,21	4.31.11	III.	35
14	33,84	4.33.01	III.	52
15	10,33	4.33.01	III.	52
16	33,44	4.56.00	I.	53
17	15,87	4.33.11	III.	45
18	11,07	4.30.01	III.	55
19	84,05	4.30.04	IV.	28
20	5,39	4.30.01	III.	43
21	26,07	4.33.01	III.	52
22	10,55	4.33.01	III.	52
23	10,17	4.56.00	I.	53
24	61,68	4.30.01	III.	43

Porosty řepky byly zakládány bezorebnými technologiemi s využitím diskových a radličkových strojů pro zpracování půdy. Výsev probíhal diskovým secím strojem s meziřádkovou vzdáleností 12,5 - 15 cm do hloubky 1 - 3 cm. Z širokého sortimentu odrůd byly přednostně pěstovány hybridní odrůdy (Marathon, Exstorm, Exception, Arsenal apod.), které jsou plastické a přizpůsobivé do všech výrobních oblastí, zejména do oblastí s povětrnostními a klimatickými výkyvy, které jsou v naší oblasti velmi aktuální.

Výnosy řepky ozimé z jednotlivých hodnocených let jsou uvedeny v grafu 3. Z průměrných výnosů jsou patrné značné ročníkové výkyvy. Výnosy byly vypočteny z přesné evidence při sklizni plodin. Vážení každé pracovní soupravy s příslušnou plodinou bylo realizováno při sklizni i expedici všech plodin, které je prováděno na mostní váze o maximální nosnosti 25 tun.

Graf 3: Výnosy řepky ozimé v letech 2015 - 2018

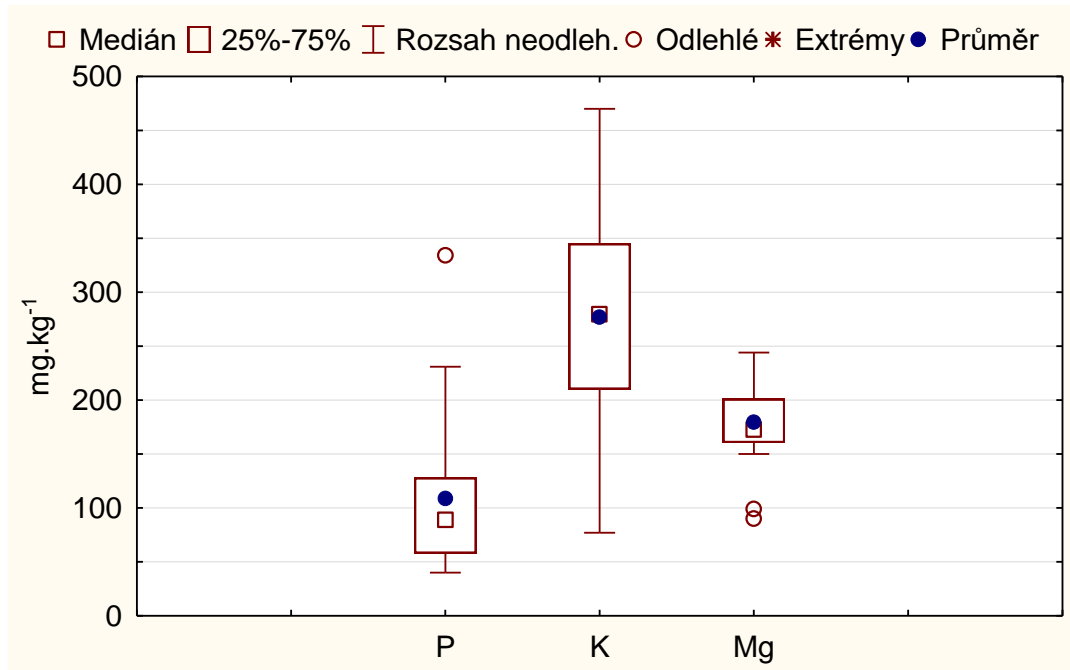


4.2 Agrochemické vlastnosti půd

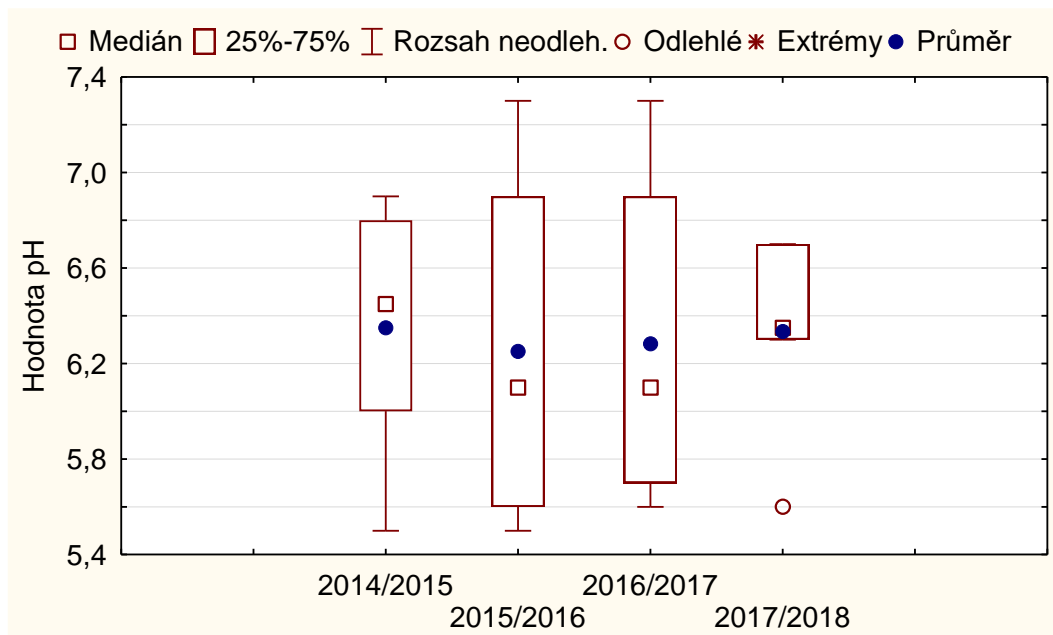
Rozbory agrochemických vlastností půd prováděla Zemědělská oblastní laboratoř Malý a spol. Postoloprty. Stanovení půdních živin (fosfor, draslík, hořčík, vápník) bylo prováděno metodou Mehlich III., pH/CaCl₂. Doplnění těchto živin je prováděno na základě jejich obsahu v půdě. Vzorke půdy byly během sledovaných let 2015 - 2018 odebrány na všech půdních blocích vždy v jarním období od 9.3 až 1.4. Listové analýzy jsou prováděny 2 -

6 krát pouze na vybraných půdních blocích v intervalu 1 - 2 krát za rok, ale v diplomové práci nebyly hodnoceny. V příložených grafech 4, 5, 6 jsou uvedeny obsahy přístupných živin a hodnot pH.

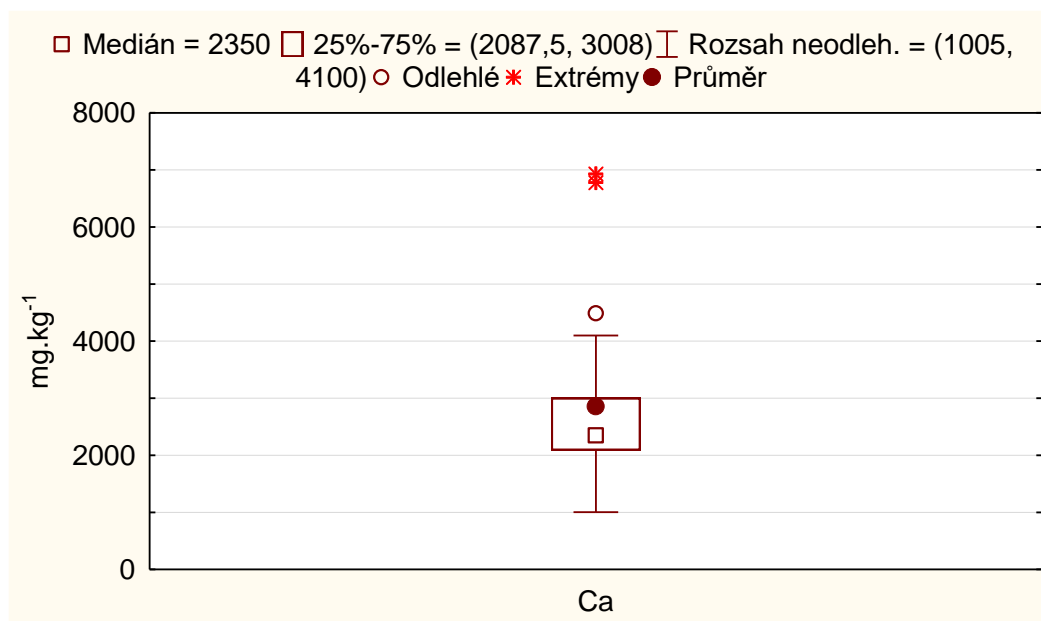
Graf 4: Obsah P, K a Mg v hospodářských letech 2015 - 2018



Graf 5: Hodnoty pH v letech 2015 - 2018



Graf 6: Obsah vápníku v půdě (2015 - 2018)

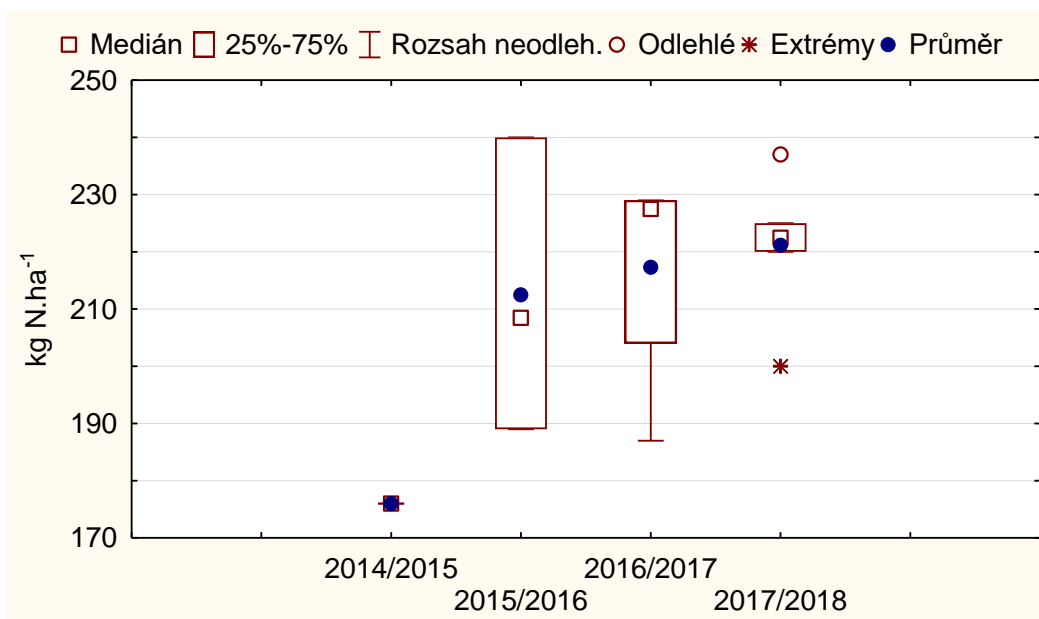


4.3 Hnojení dusíkem

Dusíkaté hnojení bylo prováděno na základě předpokládaných výnosů. Lze říci, že je spíše preferován jednotný přístup hnojení, tedy s malou diferenciací dávek. Ke zjištění aktuálního obsahu dusíku v půdě, popřípadě k upřesnění dávek pro předseťové, regenerační, produkční či kvalitativní hnojení byly využívány rozborů minerálního dusíku (N_{\min}) s půdní vrstvy z 0 - 0,3 m. Minerální dusík není stanovován na všech půdních blocích, proto v diplomové práci nebyl hodnocen. V grafu 7 je uveden přehled celkových dávek dusíku v jednotlivých letech. Faktor produktivity aplikovaného dusíku (PFP) byl vypočten dle vztahu $PFP = \text{výnos (kg.ha}^{-1}) / \text{aplikované množství N (č. ž. v kg.ha}^{-1})$.

Nejčastěji používanými dusíkatými hnojivy byl ledek amonný s přidavkem dolomitu (LAD) obsahující polovinu dusíku v NO_3^- a polovinu NH_4^+ (27,5 % N, 4 % Ca, 3 % Mg). Dále je využívána směs dusičnanu amonného a síranu amonného (DASA) s obsahem dusíku 26 % (8,7 % N - NO_3^- a 17,3 % N - NH_4^+) a 13 % síry. K přihnojování dusíkem během vegetace bylo především používáno kapalné hnojivo DAM 390 s celkovým množstvím dusíku 30 % hmotnostních (100 kg = 30 kg hnojiva) a 39 % objemových (100 l = 39 kg hnojiva). Obsahuje 42,2 % NH_4NO_3 a 32,7 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (1/2 N ve formě NH_2 , 1/4 N v NO_3^- a 1/4 N v NH_4^+). Výjimkou byly roky 2016 a 2017, kdy byl sortiment používaných hnojiv rozšířen o NP hnojivo Amofos (12 % N - NH_4^+ a 52 % P_2O_5), použitého z důvodu nízkého obsahu fosforu v půdě na některých půdních blocích (Vaněk et al., 2016).

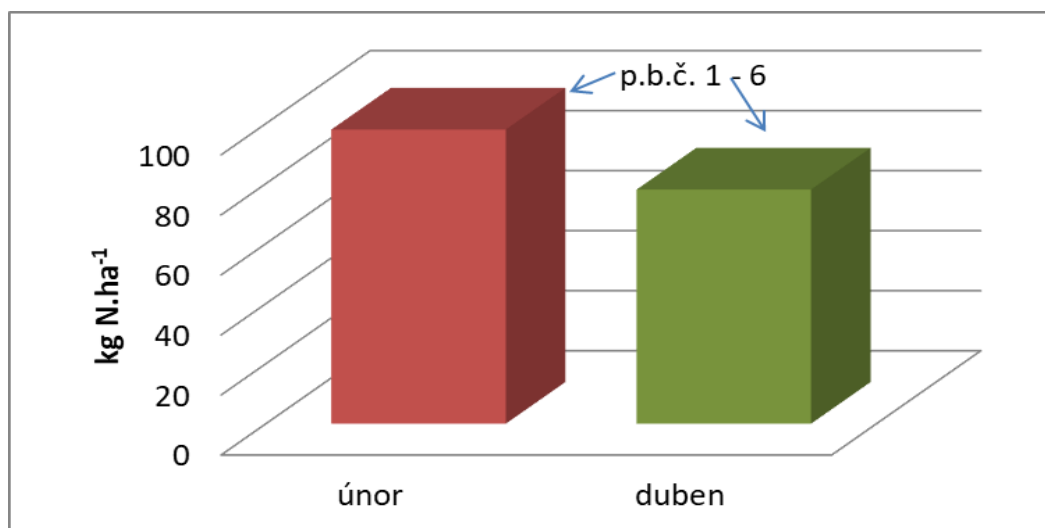
Graf 7: Dávky dusíku v hospodářských letech 2015 - 2018



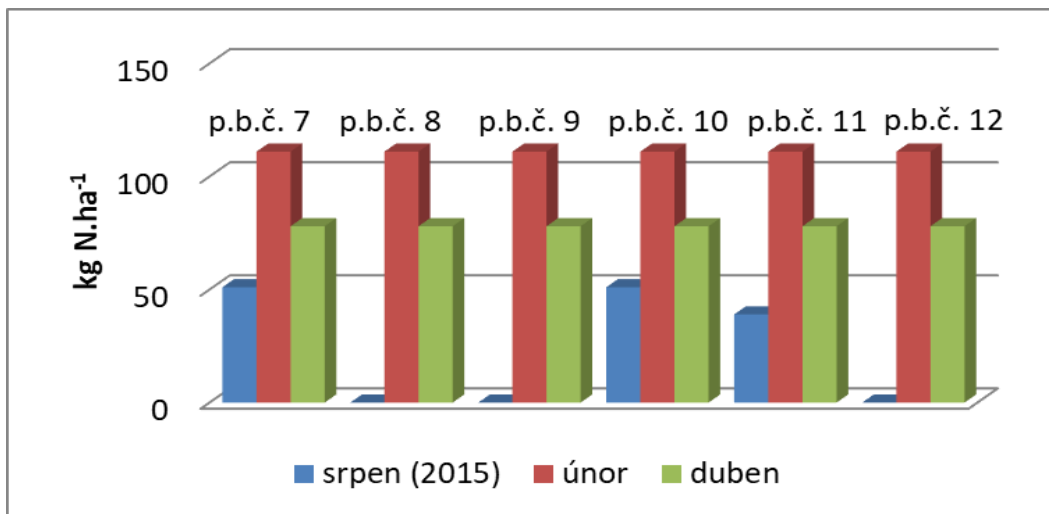
4.3.1 Hnojení dusíkem z časového hlediska

Na níže uvedených grafech (8, 9, 10, 11) jsou znázorněny dávky dusíku v čistých živinách v jednotlivých měsících. Z grafů jsou v jednotlivých letech patrné značné odchylky, jak v dělení dávek, tak i celkových dávkách dusíku.

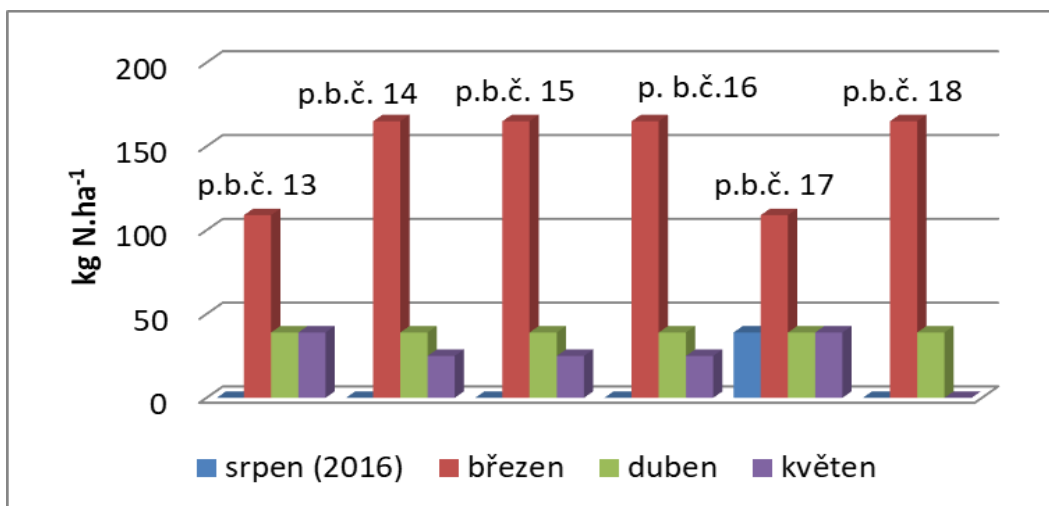
Graf 8: Hnojení dusíkem z časového hlediska (2015)



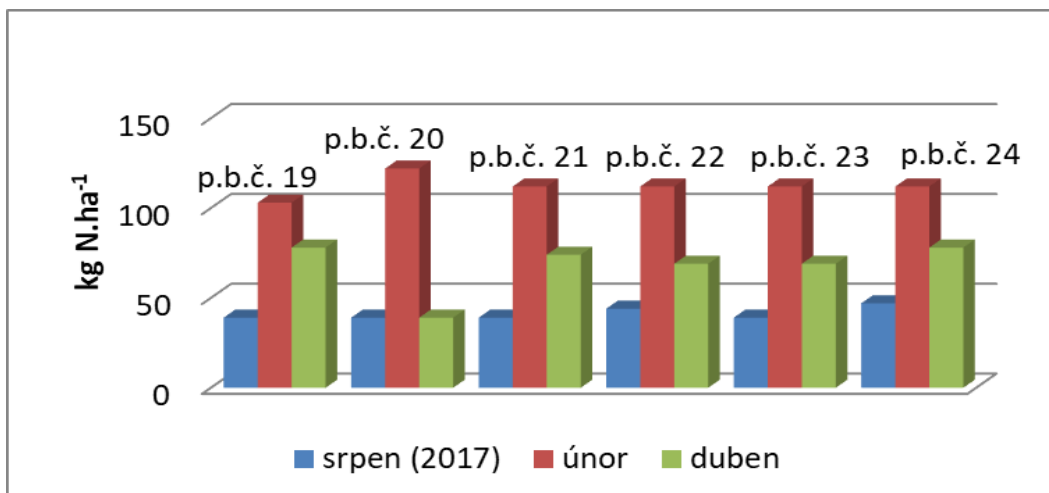
Graf 9: Hnojení dusíkem z časového hlediska (2016)



Graf 10: Hnojení dusíkem z časového hlediska (2017)



Graf 11: Hnojení dusíkem z časového hlediska (2018)



5 Výsledky

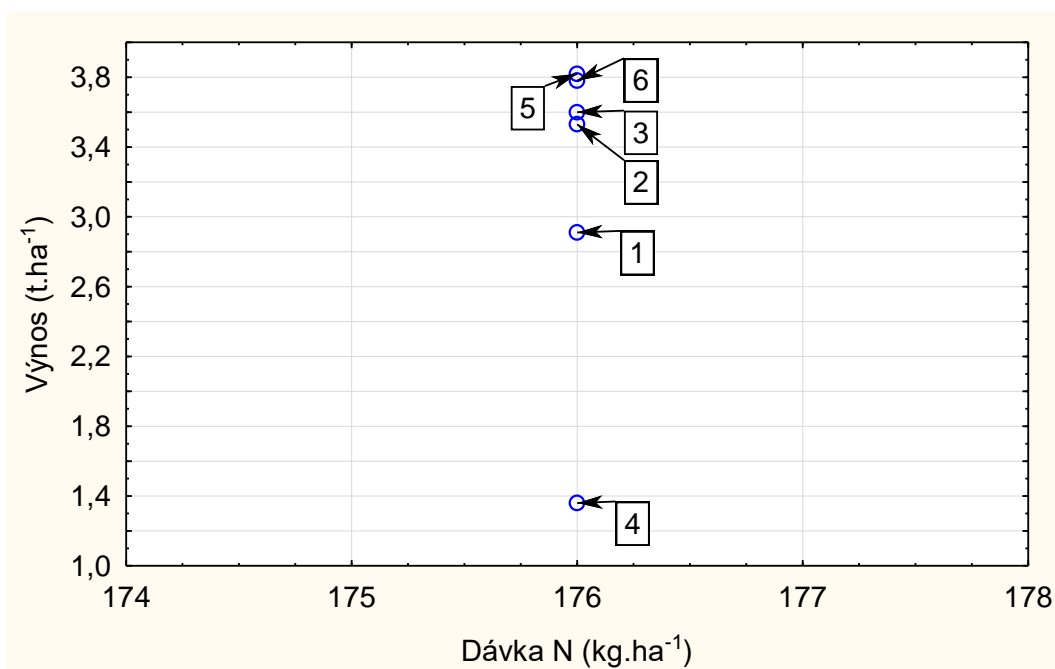
5.1 Porovnání celkové dávky dusíku a výnosu semen ozimé řepky

V následujících čtyřech grafech (12, 13, 14, 15) byly porovnávány celkové dávky dusíku (v čistých živinách) v závislosti na výnosu ozimé řepky. Součástí kapitoly jsou i výsledky vypočteného faktoru produktivity aplikovaného dusíku.

5.1.1 Rok 2014/2015

V roce 2014/2015 byl na všech sledovaných půdních blocích (dále jen p. b.) uplatňován uniformní přístup hnojení dusíkem. Jak dokumentuje graf 12, rozdíly ve výnosech jsou velmi rozdílné. Celková dávka byla aplikována v několika dílčích, a to v období od 23.2. až do 14.4. Při celkové dávce dusíku $176 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ bylo nejnižšího výnosu dosaženo na p. b. č. 4 ($1,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) a naopak nejvyššího výnosu ($3,82 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) na p. b. č. 5. Tento rok nebyl výnosově optimální, průměrný výnos společnosti ($3,21 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) nedosáhl na průměrný dosažený výnos ve střeodočeském kraji ($3,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

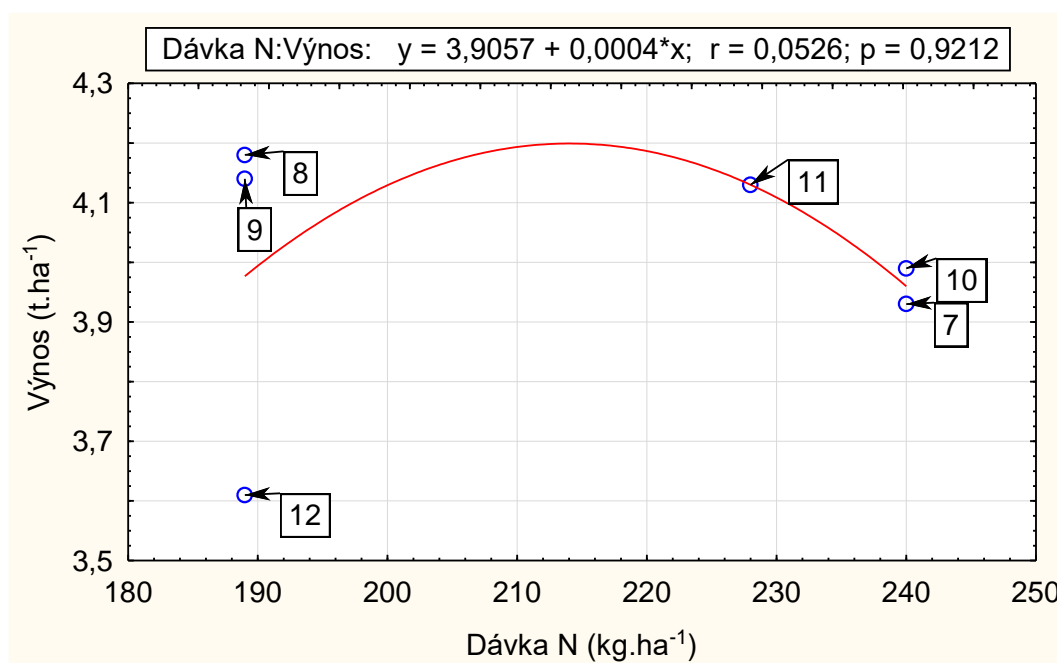
Graf 12: Porovnání výnosu ozimé řepky a celkové dávky N v roce 2015



5.1.2 Rok 2015/2016

Výnosově nadprůměrný byl rok 2015/2016, průměrný výnos byl 4 t.ha⁻¹ (výnos v kraji 3,5 t.ha⁻¹). Na p. b. 7, 10 a 11 bylo realizováno přihnojení dusíkem již v podzimním období. V tomto roce došlo k navýšení celkových dávek dusíku (viz graf 13). Průměrná dávka dusíku hodnocených půdních bloků byla 213 kg.ha⁻¹. Na třech p. b. (8, 9, 12) byla stanovena dávka 189 kg.ha⁻¹, druhá nejvyšší dávka 228 kg.ha⁻¹ pouze na jednom p. b. (11) a nejvyšší dávka 240 kg.ha⁻¹ na dvou p. b. (7, 10). Z grafu 13 je patrné, že nejvyššího (p. b. č. 8) ale zároveň i nejnižšího (p. b. č. 12) výnosu bylo dosaženo při dávce 189 kg.ha⁻¹. Při dávkách 240 kg.ha⁻¹ se výnosy pohybovaly kolem 4 t.ha⁻¹.

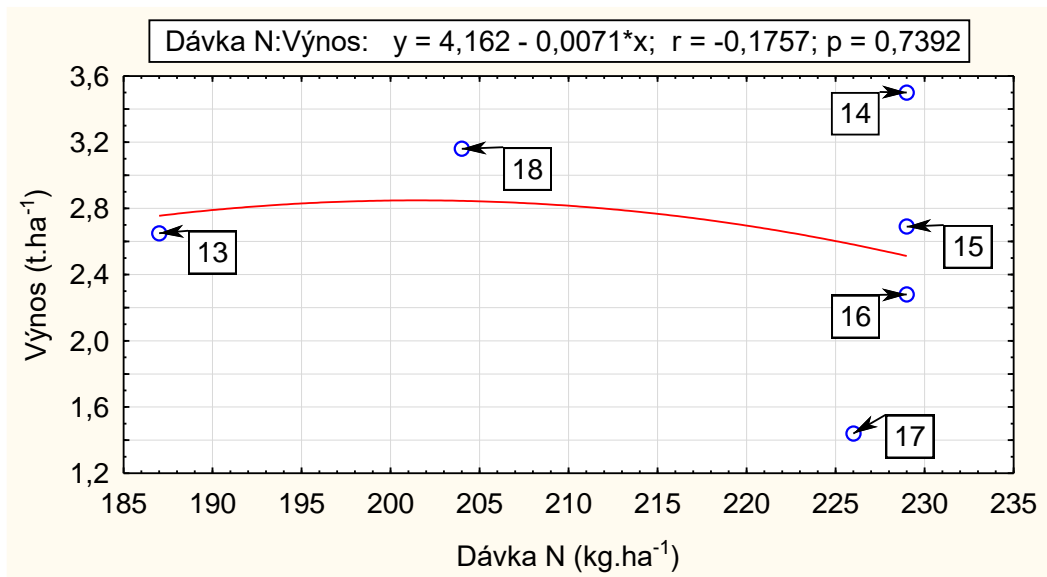
Graf 13: Porovnání výnosu ozimé řepky a celkové dávky N v roce 2016



5.1.3 Rok 2016/2017

Průměrný výnos společnosti Rakochmel s.r.o. dosáhl pouze 2,42 t.ha⁻¹, v porovnání s krajem, který byl 2,96 t.ha⁻¹. Podzimní přihnojení bylo realizováno pouze na p. b. č. 17. Opět v tomto roce došlo k nepatrnému navýšení celkových dávek dusíku. Při dávkách dusíku s celkovou dávkou 226 a 229 kg.ha⁻¹ byl zaznamenán jak nejvyšší, tak i nejnižší výnos. Na p. b. 13, kde byla stanovena celková dávka 189 kg.ha⁻¹ byl téměř shodný výnos jako na p. b. č. 15, kde byla stanovena nejvyšší dávka dusíku 229 kg.ha⁻¹. Rozdíl mezi těmito dávkami činí 40 kg.

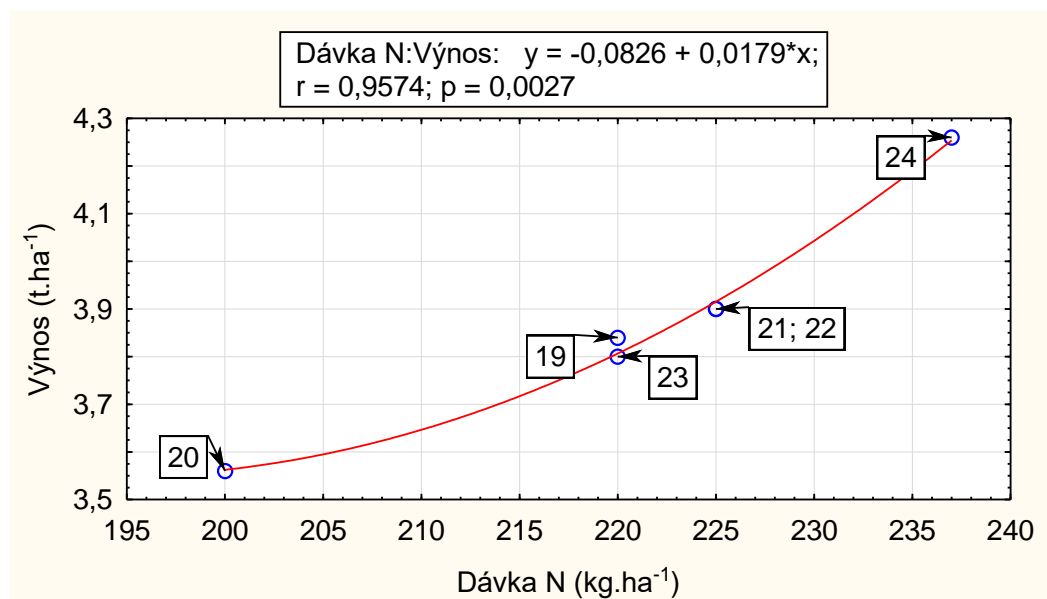
Graf 14: Porovnání výnosu ozimé řepky a celkové dávky N v roce 2017



5.1.4 Rok 2017/2018

Výjimkou byl poslední hodnocený rok (graf 15), který byl navzdory povětrnostním vlivům nadprůměrný. Výnosy společnosti byly vyšší o 0,62 t.ha⁻¹ oproti středočeskému kraji. Na všech sledovaných p. b. bylo v tomto roce prováděno podzimní přihnojení dusíkem. I v tomto roce došlo ke zvýšení celkových dávek dusíku. Průměrná dávka byla 221 kg N.ha⁻¹. Dávky dusíku se pohybovaly v rozmezí 200 – 237 kg N.ha⁻¹. V tomto případě lze říci, že se zvyšující dávkou dusíku se zvyšuje i výnos řepky.

Graf 15: Porovnání výnosu ozimé řepky a celkové dávky N v roce 2018



5.1.5 Faktor produktivity využití dusíku (PFP)

Jedním se zajímavých výpočtů pro pěstitele je výpočet dílčího faktoru produktivity, který zahrnuje výnos hlavního produktu a aplikovanou dávku dusíku. Vypočtené hodnoty z jednotlivých p. b. jsou zaznamenány v tabulce 6. Hodnoty faktoru produktivity byly v letech 2015, 2016 a 2017 velmi variabilní. Výjimkou byl rok 2018, ve kterém jsou vypočtené hodnoty velmi vyrovnané a rozdíly se pohybují v řádu desetin.

Tab. 6: Vypočtené hodnoty faktoru produktivity aplikovaného dusíku (PFP)

2015		2016		2017		2018	
Půdní blok č.	PFP - N (kg.kg ⁻¹)	Půdní blok č.	PFP - N (kg.kg ⁻¹)	Půdní blok č.	PFP - N (kg.kg ⁻¹)	Půdní blok č.	PFP - N (kg.kg ⁻¹)
1	16,53	7	16,37	13	14,17	19	17,45
2	20,05	8	22,11	14	15,28	20	17,8
3	20,45	9	12,90	15	11,74	21	17,33
4	7,72	10	16,62	16	9,95	22	17,33
5	21,70	11	18,11	17	6,37	23	17,27
6	21,47	12	19,10	18	15,49	24	17,97

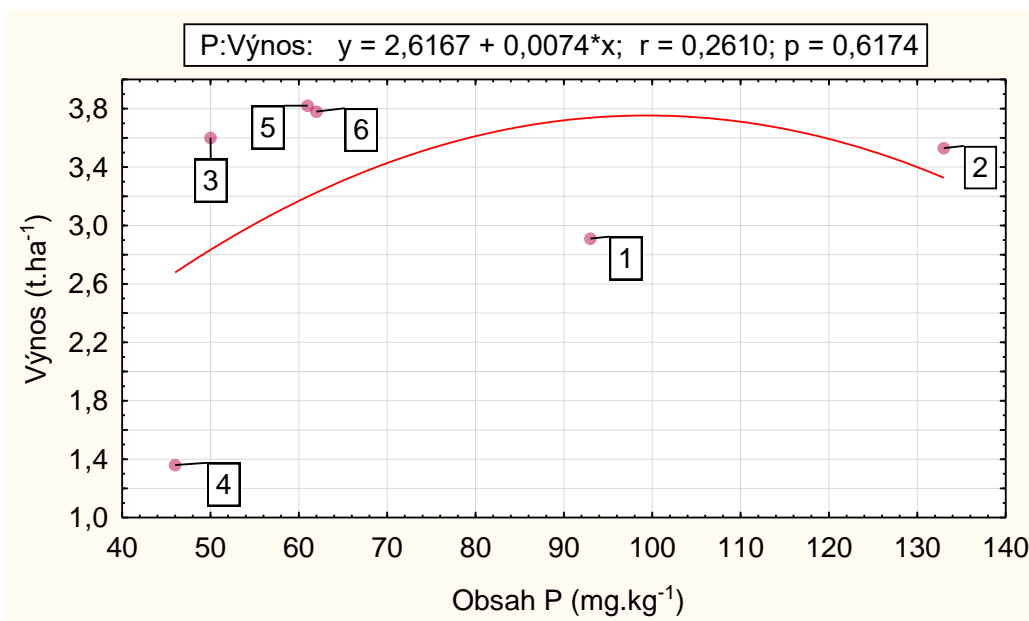
5.2 Porovnání výsledků agrochemických vlastností půd a výnosu semen ozimé řepky

V uvedených následujících grafech byl porovnáván výnos ozimé řepky v závislosti na jednotlivých agrochemických parametrech. Kompletní přehled výsledků agrochemických rozborů půd je uveden v příloze v tabulce 1. Součástí uvedených výsledků je i tabulka 7, ve které jsou hodnoceny jednotlivé půdní bloky z pohledu plošné nevyrovnanosti.

5.2.1 Rok 2014/2015

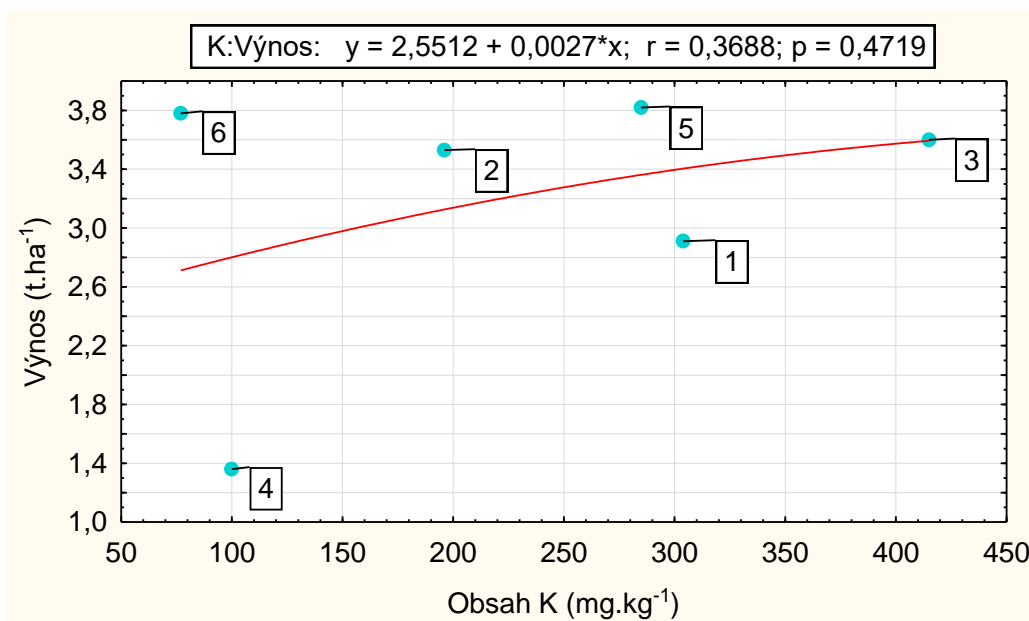
Nejnižší obsah fosforu (graf 16) byl zaznamenán na p. b. č. 4, kde byl zároveň i nejnižší výnos řepky (1,36 t.ha⁻¹). Ostatní půdní bloky vykazovaly zásobení fosforem v úrovni vyhovující až vysoké. Nejvyšších výnosů bylo dosaženo při úrovni vyhovující. Půdním blok č. 3 vykazoval nízké zásobení fosforem (50 mg.kg⁻¹), avšak na tomto pozemku byl výnos řepky vyšší než na p. b. č. 2, kde byl obsah fosforu na vysoké úrovni (133 mg.kg⁻¹).

Graf 16: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na celkovém obsahu P v roce 2015



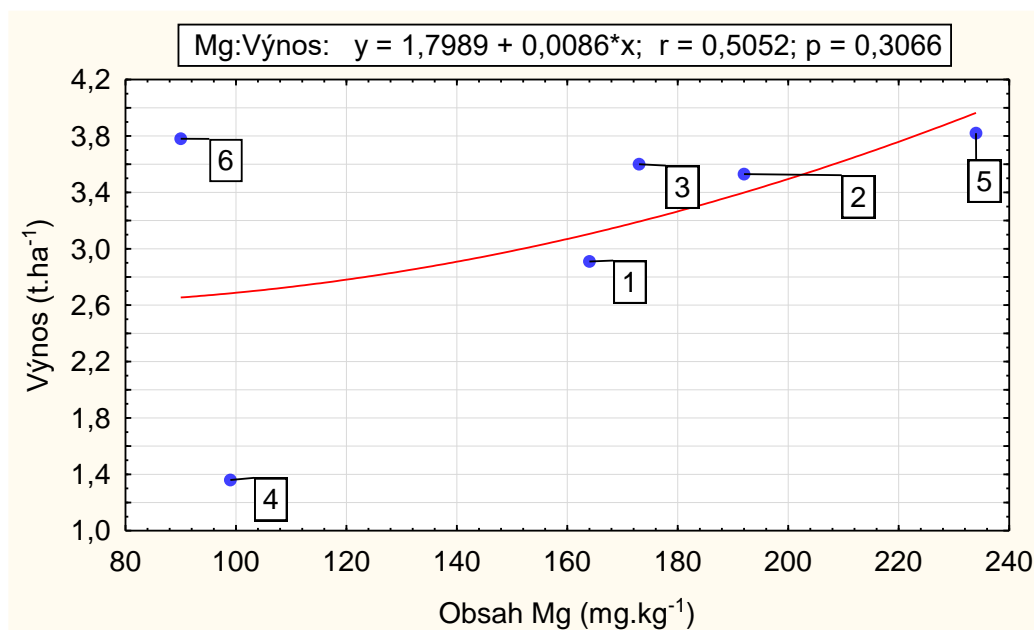
Draslík (graf 17) v roce 2015 vykazoval značné rozdíly jak z pohledu obsahu v půdě, tak i ve výnosech řepky. Téměř nejvyššího výnosu bylo dosaženo na půdním bloku č. 6, který vykazoval nejnižší obsah draslíku v půdě (77 mg.kg⁻¹). Ostatní půdní bloky, výjimkou je p. b. č. 4, vykazovaly úroveň zásobení dobrou až vysokou. Nejvyšší výnos, avšak s minimálním rozdílem v porovnání s p. b. č. 6 byl na p. b. č. 5, kde se obsah draslíku pohyboval na dobré úrovni.

Graf 17: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na celkovém obsahu K v roce 2015



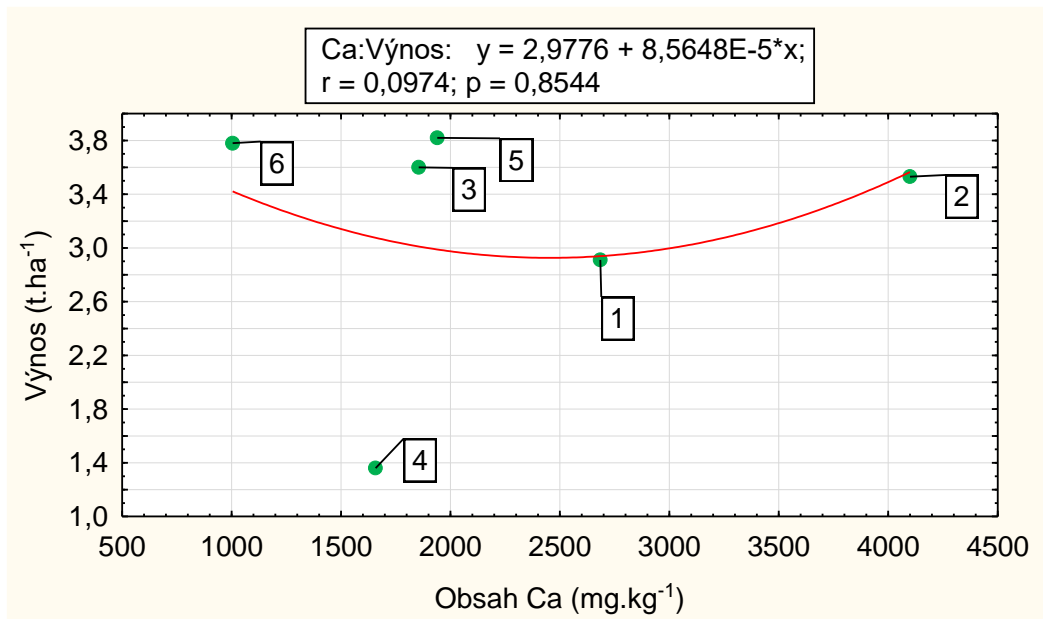
Obdobný případ, jako u draslíku v roce 2015, je zaznamenán i u hořčíku (graf 18), kde byl zjištěn nejnižší obsah v půdě (90 mg.kg^{-1}) a zároveň téměř nejvyšší výnos (rozdíl výnosu činí pouhých $0,04 \text{ t.ha}^{-1}$). Nejnižší výnos (p. b. č. 4) rovněž vykazoval nízký obsah hořčíku v půdě. Lze říci, že u ostatních pozemků byl nárůst ve výnosech spojen se zvyšujícím se obsahem hořčíku v půdě.

Graf 18: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na celkovém obsahu Mg v roce 2015



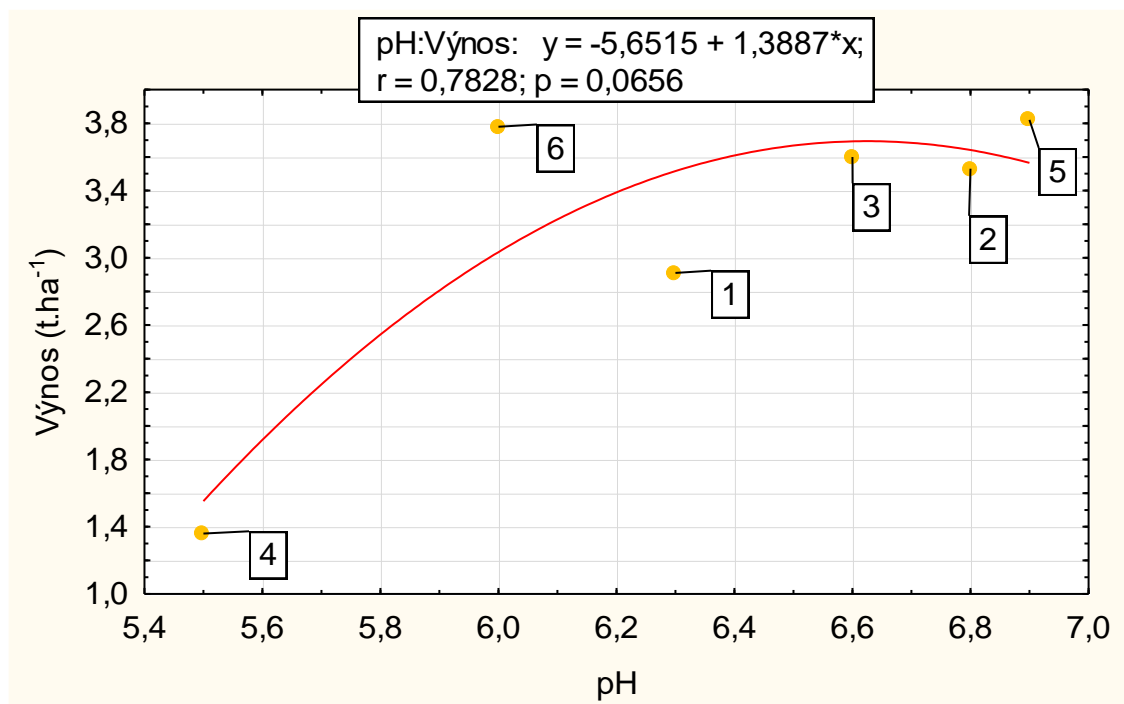
Z grafu 19 je patrné značné rozpětí v obsahu vápníku v půdě. Obsahy vápníku se v tomto roce pohybovaly od úrovně nízké až po úroveň vysokou. Nejvyšších výnosů bylo dosaženo na p. b. č. 3, 5, 6, které vykazovaly v jednom případě nízký a ve dvou případech vyhovující obsah vápníku. Půdní blok č. 2 s vysokým obsahem vápníku dosáhl nadprůměrného výnosu.

Graf 19: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na celkovém obsahu Ca v roce 2015



Porovnání výnosu ozimé řepky a hodnot pH je uvedeno v grafu 20, ze kterého vyplývá, že nejvyšších výnosů bylo dosaženo při hodnotě 6,0 a hodnotách v rozmezí 6,6 – 6,9. Nejnižší výnos byl zaznamenán na p. b. č. 4, kde hodnota pH byla 5,5. Korelačního koeficient dosáhl poměrně vysoké hodnoty, což poukazuje na statisticky významnou závislost.

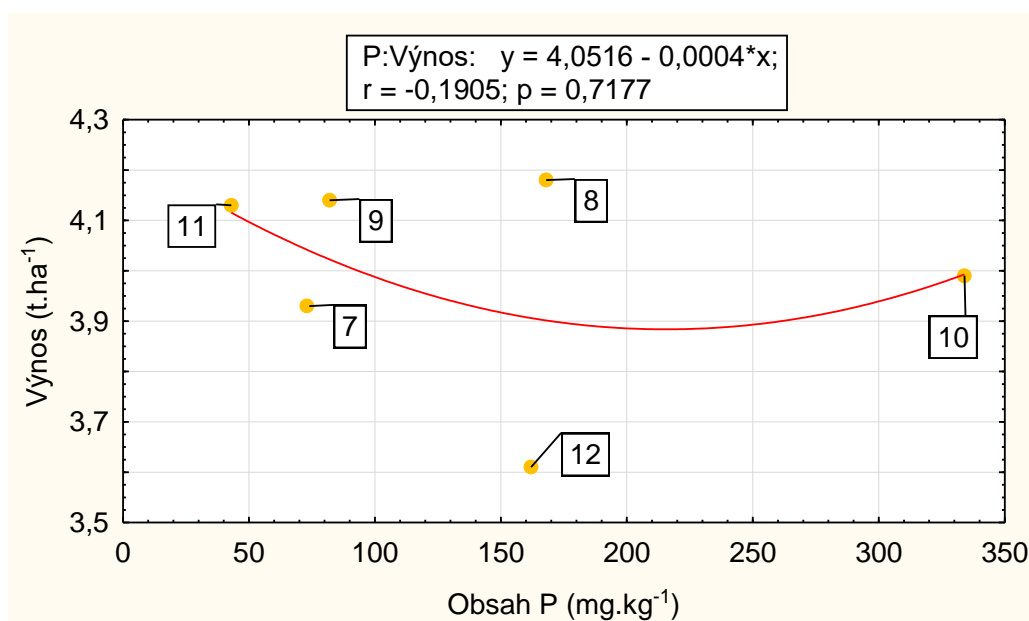
Graf 20: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na hodnotě pH v roce 2015



5.2.2 Rok 2015/2016

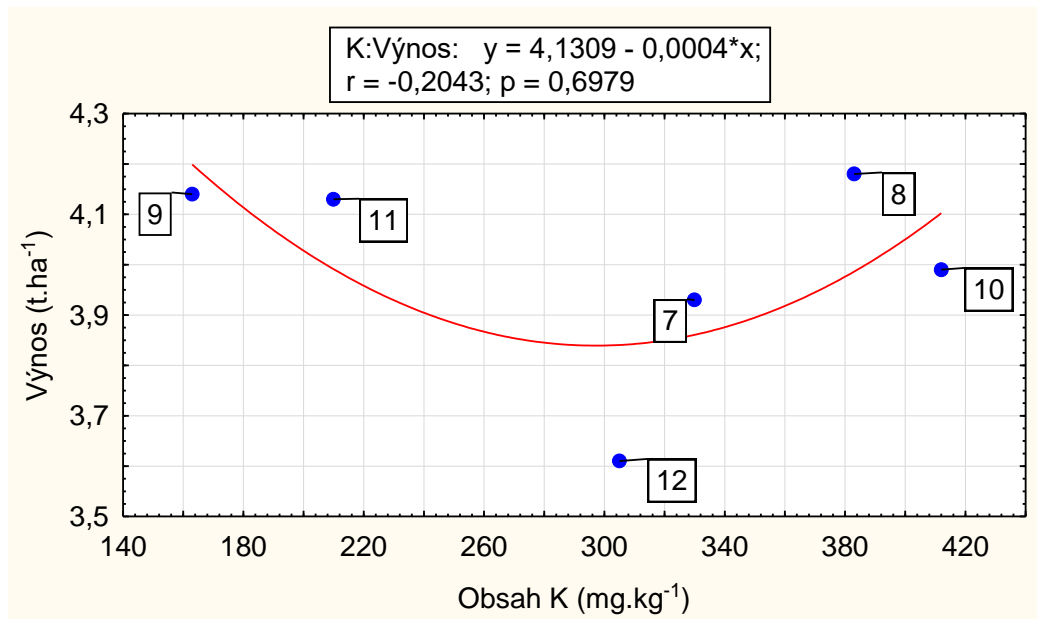
V roce 2016 byl nejnižší obsah fosforu zjištěn na p. b. č. 11. Obsahy fosforu na ostatních pozemcích se pohybují v úrovni vyhovující až velmi vysoké. Z grafu 21 je patrné, že výnosy řepky se mění nezávisle na obsahu fosforu v půdě. Nejvyššího výnosu bylo dosaženo na p. b. č. 8, s obsahem fosforu hodnoceným jako vysoký. Vysoký obsah fosforu vykazoval i p. b. č. 12, ačkoli na tomto pozemku byl výnos řepky nejnižší.

Graf 21: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na celkovém obsahu P v roce 2016



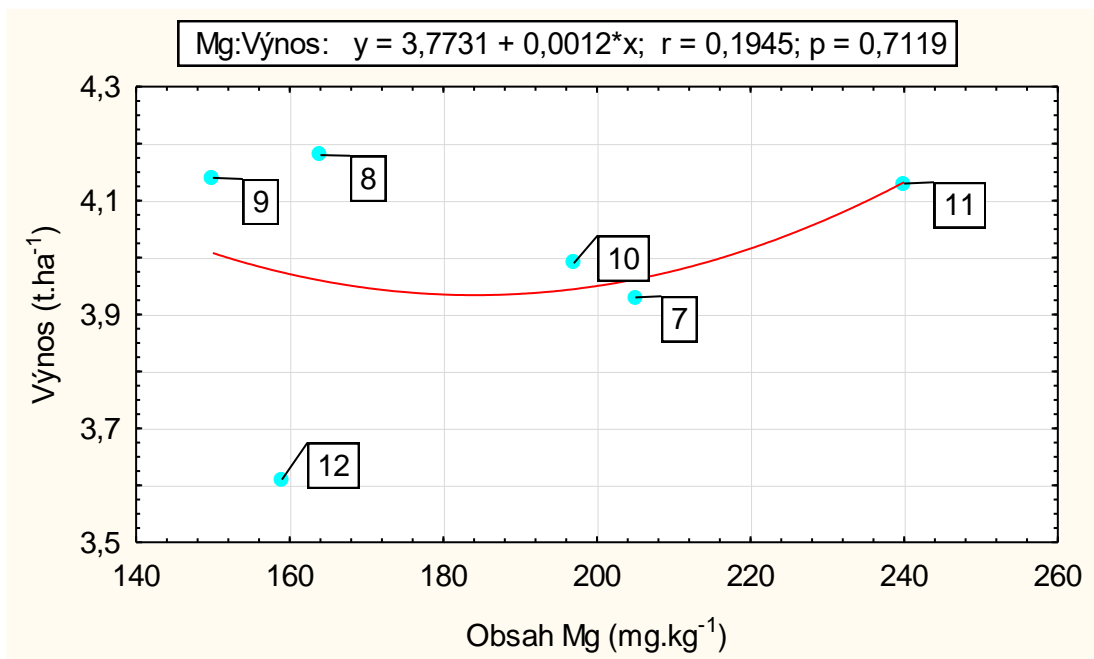
Z pohledu zásobení draslíkem (graf 22), vykazovaly všechny hodnocené půdní bloky vyhovující až vysokou úroveň. Nejvyšší výnos byl na p. b. č. 8, s obsahem draslíku hodnoceným jako vysoký. Srovnatelné výnosy poskytly i p. b. 9 a 11, vykazující vyhovující a dobré zásobení.

Graf 22: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na obsahu K v roce 2016



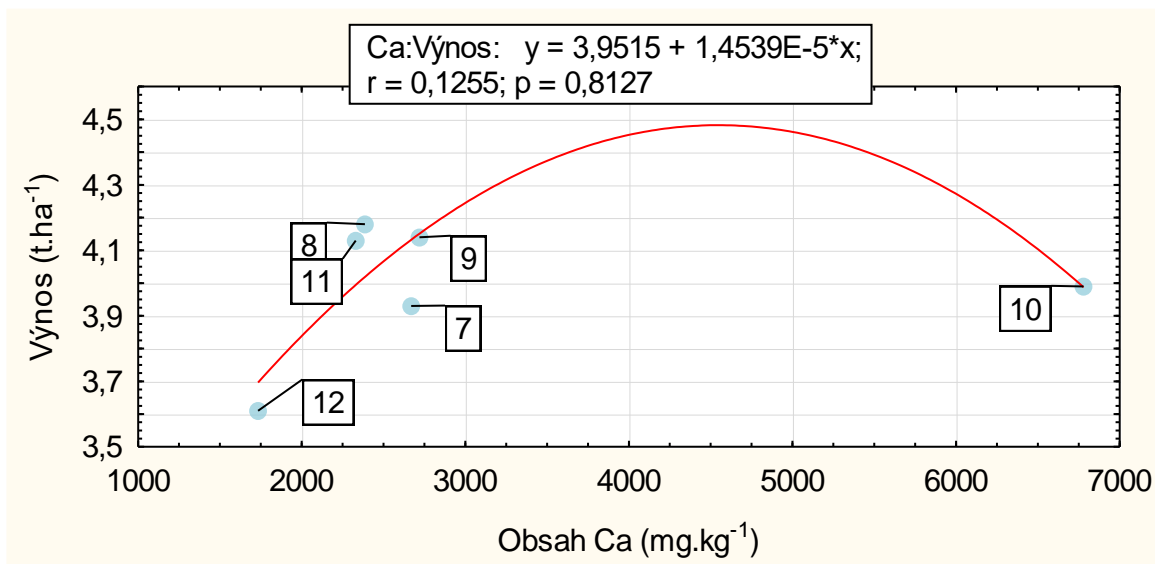
Podobné hodnocení bylo i u obsahu hořčíku (graf 23), kde se obsahy pohybovaly v úrovni vyhovující až dobré. Vysokých výnosů bylo dosaženo na p. b. č. 9 a 8 s obsahem hořčíku vyhodnoceným jako vyhovující a dobrý. Nejnižší výnos byl na p. b. č. 8, kde obsah hořčíku vykazoval vyhovující úroveň.

Graf 23: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkové obsahu Mg v roce 2016



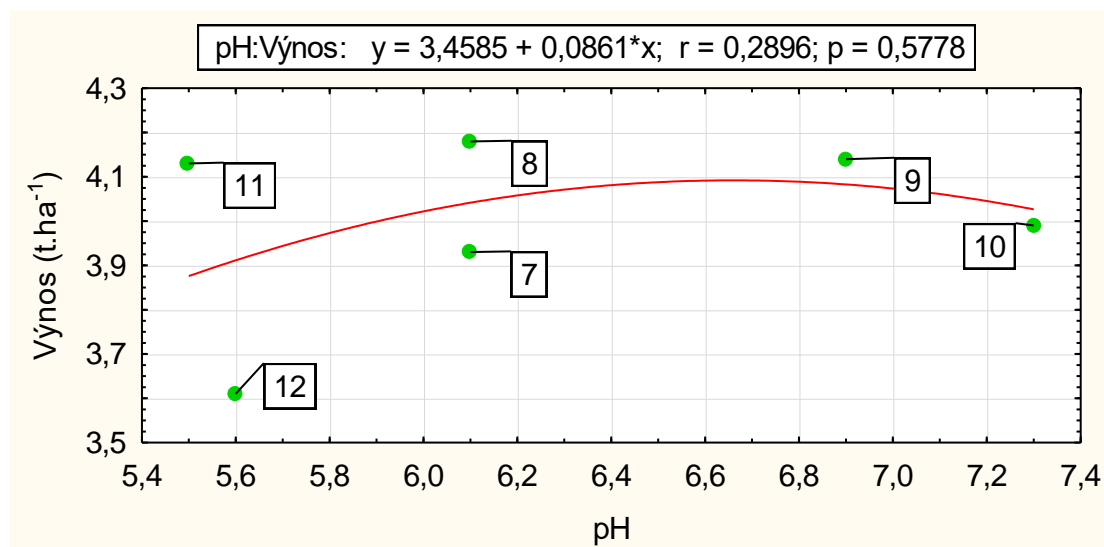
Půdní blok č. 10 v grafu 24 vykazuje velmi vysoký obsah vápníku v půdě. Jak je patrné z grafu, nejvíce půdních bloků se pohybovalo v úrovni zásobení vyhovující až dobré. Nejnižší úroveň zásobení vápníku na p. b. č. 12 poskytla i nejnižší výnos.

Graf 24: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkové obsahu Ca v roce 2016



Při porovnání výnosů řepky a hodnot pH byly zjištěny velmi značné rozdíly. Jak je uvedeno v grafu 25, nejnižší hodnota pH byla 5,5 na p. b. č 11 a nejvyšší hodnota pH 7,3 na p. b. č. 10. Rozdíl mezi těmito hodnotami činí 1,8. Z výsledků vyplývá, že při překročení pH nad 7,0 (alkalická půdní reakce) dochází již k redukci výnosu. Nejvyššího výnosu bylo dosaženo při hodnotě pH 6,3.

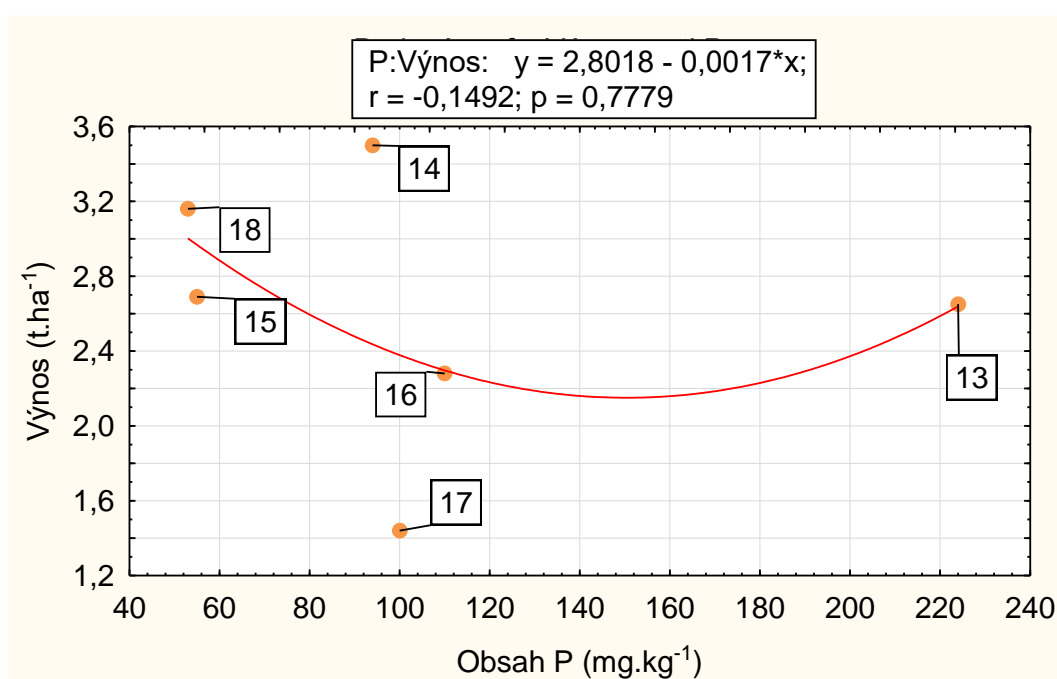
Graf 25: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na hodnotě pH v roce 2016



5.2.3 Rok 2016/2017

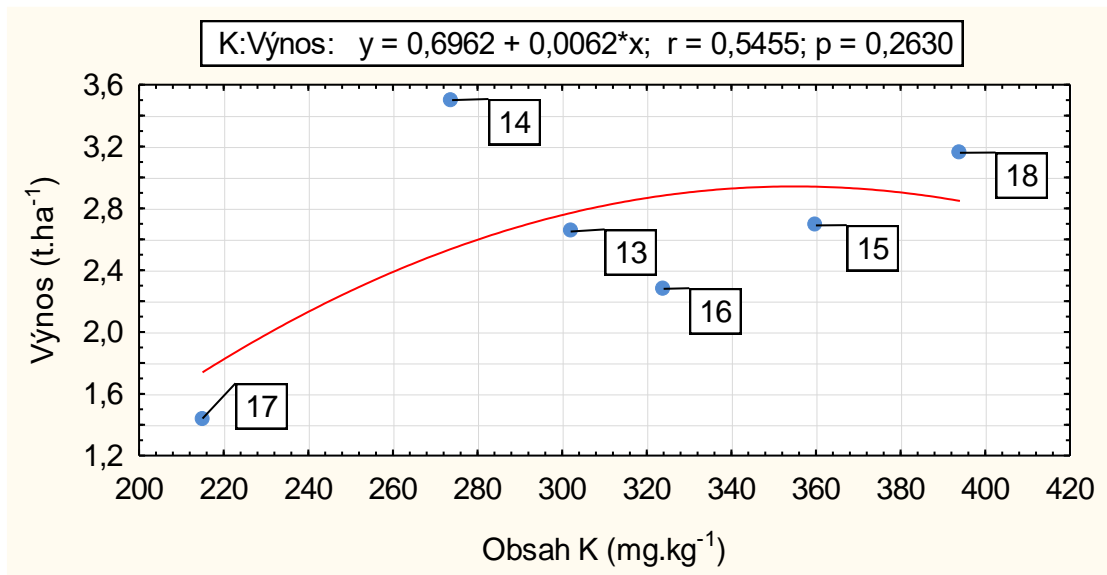
Obsah fosforu (graf 26) v roce 2017 pohyboval na vyhovující až velmi vysoké úrovni zásobení. Při zásobení na dobré úrovni bylo dosaženo nejvyššího výnosu (p. b. č. 14) ale i nejnižšího výnosu (p. b. č. 17). Uspokojivých výsledků v tomto roce bylo dosaženo i na p. b. č. 15 a 18 s vyhovujícím a dobrým obsahem fosforu v půdě. Velmi vysoký obsah fosforu (p. b. č. 13) nevykazoval významné navýšení výnosu.

Graf 26: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu P v roce 2017



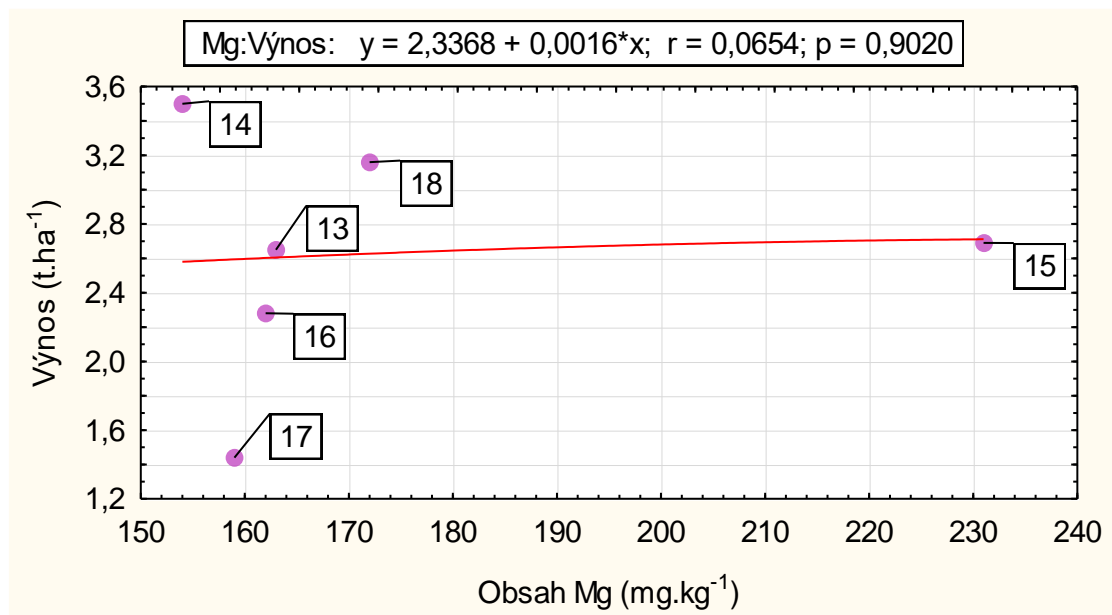
Nejnižší výnos 1,44 t.ha⁻¹ byl zjištěn na p. b. č. 17 (graf 27). Tento pozemek vykazoval dobrou úroveň zásobení draslíkem (215 mg.kg⁻¹). Na ostatních p. b. byl obsah draslíku hodnocen jako dobrý až vysoký. Nejvyšší výnos poskytl p. b. č. 14 s dobrou zásobou draslíku.

Graf 27: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu K v roce 2017



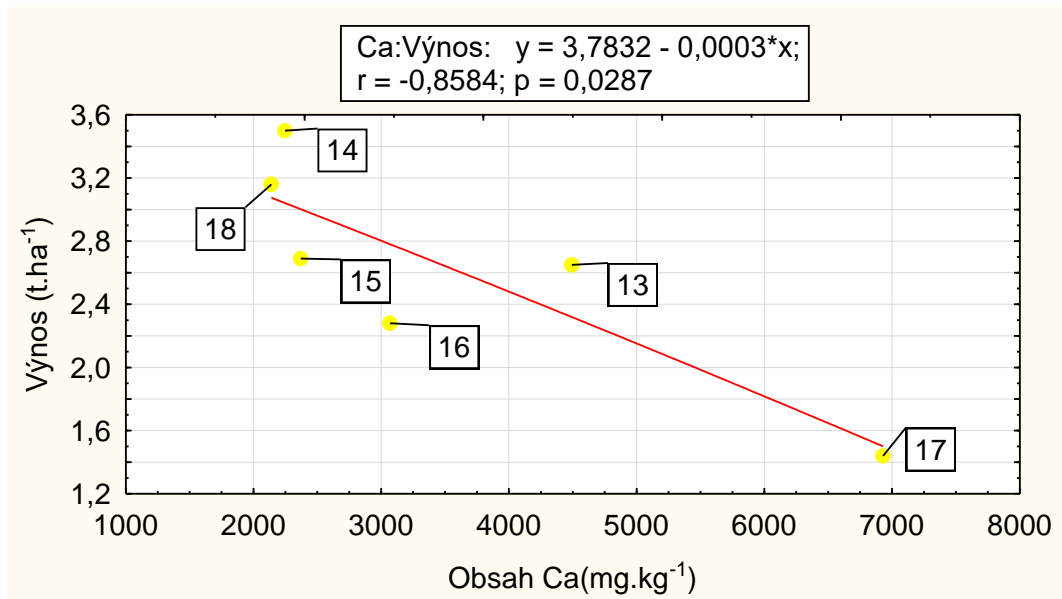
Vyhovující až dobrou úroveň obsahu hořčíku v půdě vykazovaly všechny hodnocené pozemky (graf 28). Jak nejvyšší, tak nejnižší výnos byl na p. b. 14 a 17 s vyhovujícím obsahem hořčíku v půdě.

Graf 28: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na celkovém obsahu Mg v roce 2017



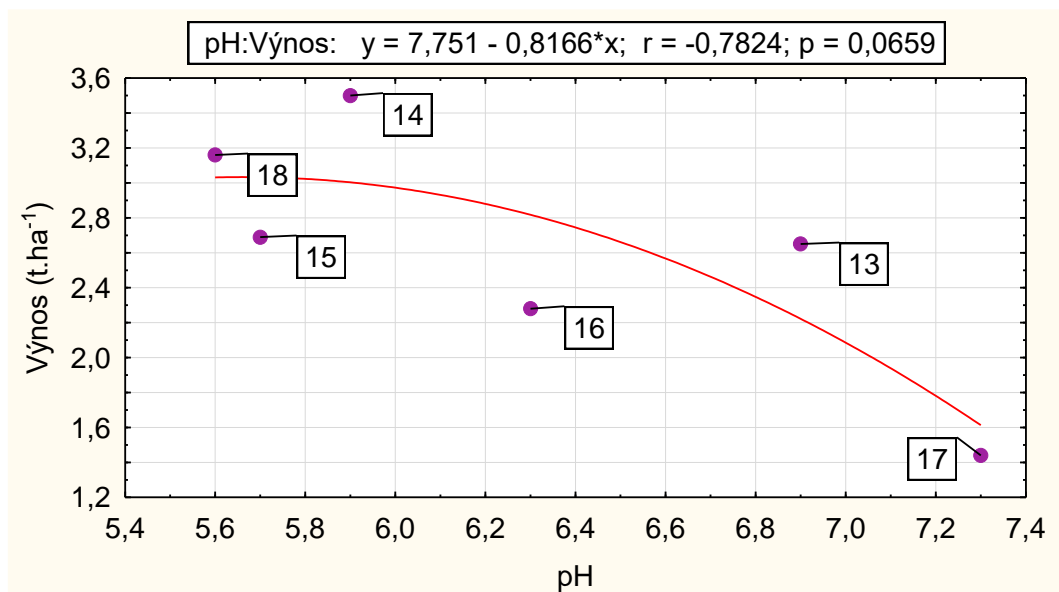
Jak je uvedeno v grafu 29, nejlepších výsledků bylo dosaženo při obsahu vápníku na dobré úrovni. Lze říci, že na ostatních pozemcích, částečně i p. b. č. 13, s postupným zvyšováním obsahu vápníku v půdě klesá i výnos. Na půdním bloku č. 17, s velmi vysokým obsahem vápníku 6930 mg.kg⁻¹ byl výnos 1,44 t.ha⁻¹.

Graf 29: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu Ca v roce 2017



V roce 2017 byly nejvyšší výnosy na půdních blocích s hodnotou pH pohybující se v rozmezí kolem 5,6 – 6,0 (graf 30). Naopak při alkalické půdní reakci, pH nad 7,0, došlo k výrazné redukci výnosu. Při takto vysoké hodnotě pH byl na p. b. č. 17 nejnižší výnos (1,44 t.ha⁻¹). Graf 29 dokumentuje, že tento p. b. vykazoval i nejvyšší obsah vápníku v půdě.

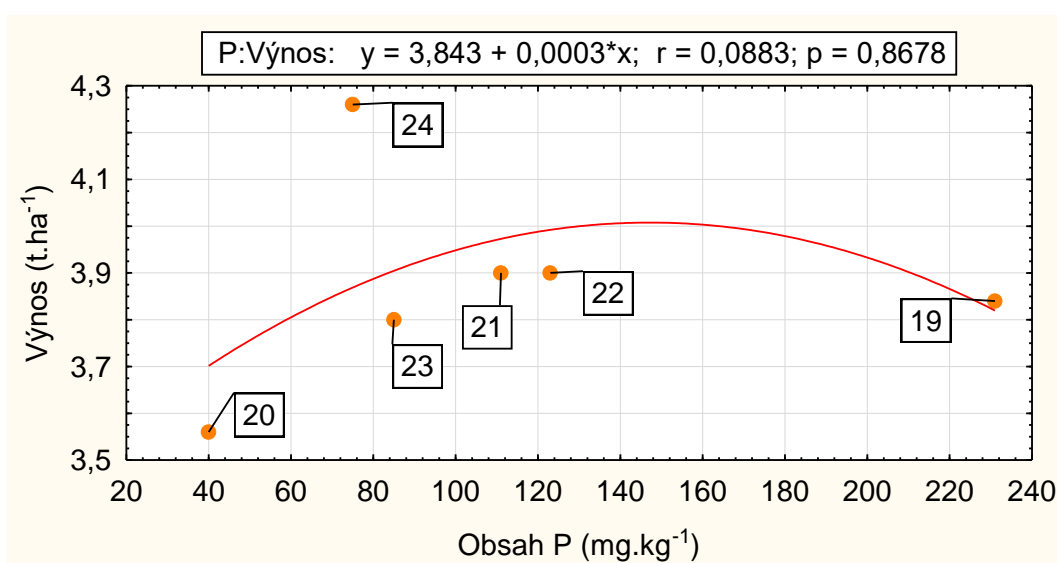
Graf 30: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na hodnotě pH v roce 2017



5.2.4 Rok 2017/2018

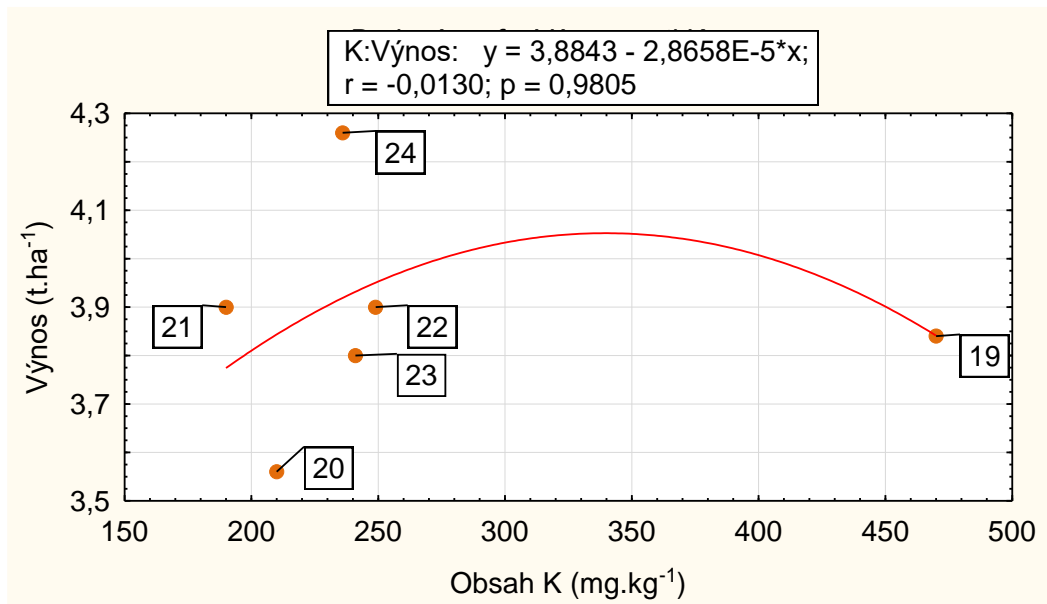
Nejnižší obsah fosforu (graf 31) v roce 2018 byl na p. b. č. 20. Tento půdní blok zároveň dosáhl i nejnižšího výnosu řepky. U půdních bloků č. 21, 22, 23 a 24 byl nárůst ve výnosech spojen i s nárůstem obsahu fosforu v půdě, kde bylo vyhodnoceno zásobení na vyhovující až vysoké úrovni. Při zásobení na velmi vysoké úrovni (p. b. č. 19) nebyl zjištěn výrazný nárůst výnosu.

Graf 31: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu P v roce 2018



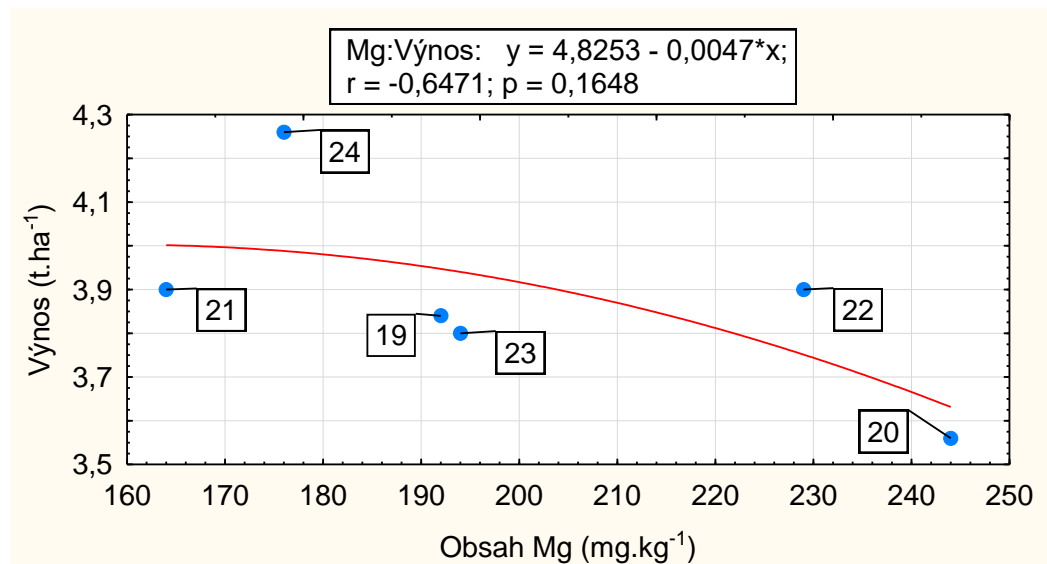
Zjištěné hodnoty zásobení draslíkem (graf 32) se pohybovaly v úrovni vyhovující až vysoké. Nejvyššího výnosu 4,26 t.ha⁻¹ bylo dosaženo na p. b. č. 24 s dobrým obsahem draslíku v půdě. Velmi vysoký obsah draslíku (470 mg.kg⁻¹) na p. b. č. 19 dosáhl výnosu 3,84 t.ha⁻¹). Tento výnos je srovnatelný s p. b. č. 21, 22, 23, kde se výnos pohyboval v rozmezí 3,56 – 3,9 t.ha⁻¹.

Graf 32: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu K v roce 2018



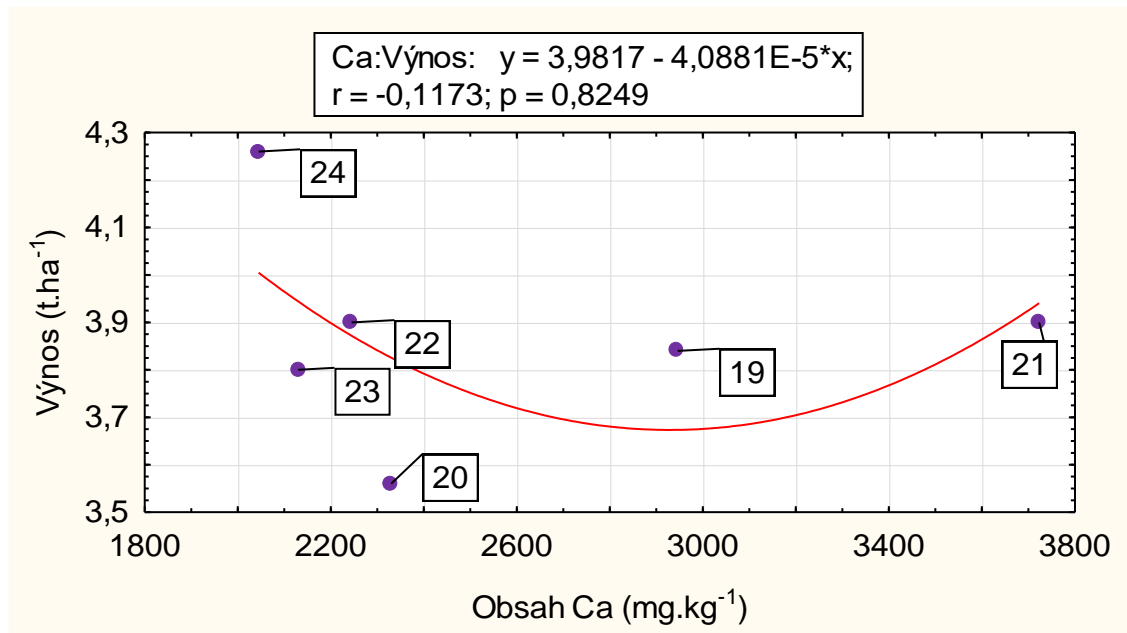
Všechny hodnocené půdní bloky v roce 2018 vykazovaly dobrou úroveň zásobení hořčíkem (graf 33). Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší úrovní byl 80 mg.kg⁻¹. Půdní blok č. 20 s nejvyšším obsahem hořčíku 244 mg.kg⁻¹ poskytl nejnižší výnos .

Graf 33: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu Mg v roce 2018



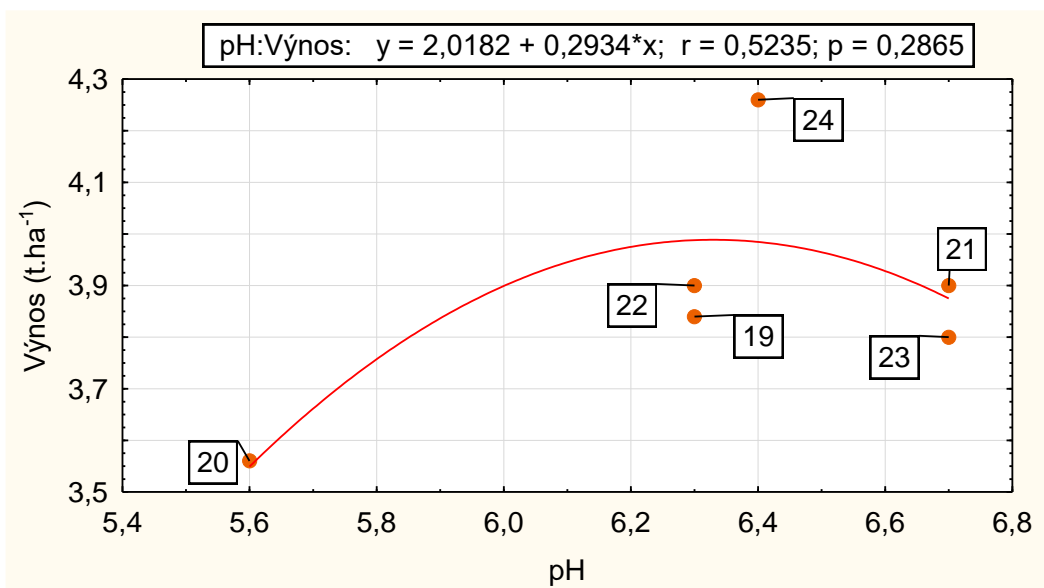
Půdní blok č. 21 jako jediný vykazoval vysoký obsah vápníku v půdě (graf 34). Dosažený výnos na tomto pozemku byl 3,9 t.ha⁻¹. Ostatní půdní bloky vykazovaly dobrý obsah vápníku v půdě. Rozdíl ve výnosech při porovnání půdních bloků s nejnižším a nejvyšším výnosem činil 0,7 t.ha⁻¹.

Graf 34: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti celkovém obsahu Ca v roce 2018



V grafu 35 je uvedeno, že nejvyšší výnosy (p. b. č. 19, 21, 22, 23 a 24) byly dosaženy při hodnotě pH v rozmezí 6,3 – 6,7. Na půdním bloku 20 bylo zjištěno pH 5,6 a zároveň nejnižší výnos.

Graf 35: Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na hodnotě pH v roce 2018



5.2.5 Hodnocení plošné nevyrovnanosti agrochemických vlastností půd (2015 – 2018)

V tabulce 7 jsou uvedeny výsledky plošné nevyrovnanosti zásobení jednotlivými živinami prováděné na základě variačního koeficientu. Největší nevyrovnanost, poměr nevyrovnaných : vyrovnaných půdních bloků, byla u parametrů pH (10:5) a obsahem fosforu v půdě (12:3). Nejnižší nevyrovnanost byla u obsahu draslíku (5:10) a hořčíku (4:11). U obsahu vápníku byl zjištěn téměř rovnovážný stav, kde bylo 7 půdních bloků nevyrovnaných a 8 vyrovnaných.

Tab. 7: Hodnocení plošné nevyrovnanosti dle variačního koeficientu

Půdní blok	Hodnocení variačního koeficientu				
	pH	P	K	Mg	Ca
1	Silně nevyr.	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný
3	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
3	Vyrovnaný	Nevyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
4	Nelze stanovit				
5	Nelze stanovit				
6	Nelze stanovit				
7	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
8	Nevyrovnaný	Silně nevyr.	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
9	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Nevyrovnaný
10	Vyrovnaný	Silně nevyr.	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
11	Nelze stanovit				
12	Nevyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
13	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Vyrovnaný	Nevyrovnaný
14	Vyrovnaný	Silně nevyr.	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
15	Nelze stanovit				
16	Nevyrovnaný	Silně nevyr.	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Nevyrovnaný
17	Nelze stanovit				
18	Nelze stanovit				
19	Nevyrovnaný	Silně nevyr.	Vyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný

Tab. 7: Pokračování

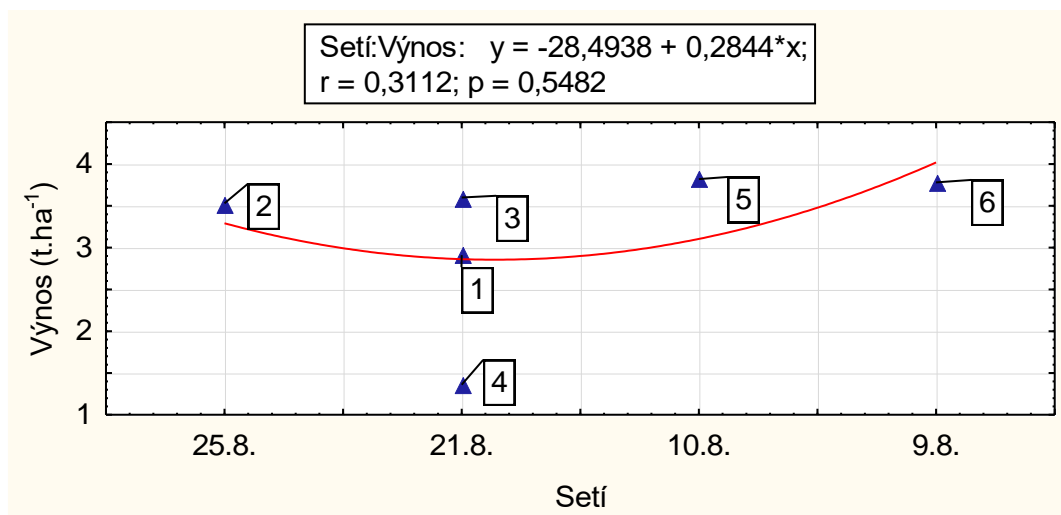
20	Nelze stanovit				
21	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný	Vyrovnaný
22	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný
23	Nelze stanovit				
24	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný	Nevyrovnaný
	Silně nevyrovnaný:nevyrovnaný:vyrovnaný				
	1:9:5	5:7:3	0:5:10	0:4:11	0:7:8
Poměr N:V	10:5	12:3	5:10	4:11	7:8

5.3 Agrotechnika a půdně klimatické podmínky

5.3.1 Porovnání výnosu ozimé řepky v závislosti na termínu setí

Při porovnání výnosu řepky a termínu setí byla v hospodářských letech 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 a 2017/2018 nejvyšší hodnota korelačního koeficientu ($r = 0,3112$, tedy slabá závislost) v roce 2014/2015 (graf 36). V ostatních ročnících se hodnoty korelačních koeficientů pohybovaly v záporných hodnotách, což poukazuje na statisticky nevýznamnou závislost mezi výnosem ozimé řepky a termínem setí. Nelze tedy stanovit, zda jsou výhodnější termíny setí začátkem či koncem srpna. Z podrobných tabulek v příloze (tabulky 4, 5, 6, 7) lze usoudit, že vysokých výnosů je možné dosáhnout jak při termínech setí začátkem srpna, tak i při setí v druhé polovině srpna.

Graf 36: Porovnání výnosu ozimé řepky a termínu setí v roce 2015



5.3.2 Půdní podmínky a jejich variabilita

V roce 2017 bylo na 13 z 24 hodnocených půdních boků provedeno penetrometrické měření, vždy v osmi opakováních, jehož cíl měl vést ke zjištění variability jednotlivých půdních bloků. V tabulce 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty penetračního odporu v MPa a průměrné dostupné hodnoty hloubky půdy v cm doplněné u obou parametrů variačním koeficientem. Z hodnot variačního koeficientu (Vk) jsou patrné poměrně značné odchylky, které budou promítnuty do fyzikálních vlastností půd. Tyto výsledky mohou sloužit jako doplňkové podklady pro hodnocení půdních podmínek jednotlivých půdních bloků. Podrobné naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze v tabulce 9.

Tab. 8: Variabilita půdních podmínek

Půdní blok	Výměra	Průměr a variační koeficient			
		cm	Vk	MPa	Vk
1	19,3	34	16,63	5,02	22,5
2	53,91	34,5	8,76	6,19	9,11
3	71,56	36	17,81	4,54	30,38
4	4,34	33	23,13	5,85	6,52
8	28,96	38,62	20	4,51	10,49
9	17,52	30,75	25,52	3,53	37,58
10	21,84	37,25	9,49	4,36	32,36
11	5,39	35	14,64	4,88	20,32
14	33,97	26,62	32,93	4,7	23,66
15	10,33	22,5	29,95	6,37	12,99
16	53,44	30	9,42	5,48	22,54
21	26,07	29,5	14,38	5,93	12,02
22	10,55	24	17,81	6,61	9,48

Obr. 1: Půdní penetrometr (foto Šiler)



Obrázek 2 demonstruje vliv heterogenity půdních podmínek na vývoj a zapojení porostů ozimé řepky. V levé části je znázorněno hnojení jednotlivými živinami na základě stanovištních podmínek a aktuální potřeby rostlin. V pravé části je na všech půdních blocích hnojení prováděno uniformním přístupem, tedy stejnou dávkou bez ohledu na stanovištní a půdní podmínky. Takovéto systémy mají jistě vliv na efektivitu i hospodárnost rostlinné výroby. Obrázek 3 dokumentuje technogenní zhutnění v hloubce 0 - 35 cm.

Obr. 2: Vliv heterogenity půdních podmínek na vývoj ozimé řepky (foto Šiler)



Obr. 3: Technogenní zhutnění (0 - 35 cm) (foto Šiler)



Níže uvedená fotografie dokumentuje negativní vliv na půdní strukturu a vzcházení řepky ozimé, který je způsoben opakovanými přejezdy pracovních souprav po pozemku. Již při nízké intenzitě srážek (do 5 mm) půda není schopna infiltrovat srážkovou vodu a dochází k vytvoření půdního škrálovu, a tím k omezení vzdušného režimu v půdě.

Obr. 4: Porušení půdní struktury vlivem opakovaných přejezdů pracovních souprav a následný vliv na vzcházení řepky ozimé (foto Šiler)



6 Diskuse

6.1 Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2014/2015

Výnosy řepky ozimé se v hospodářském roce 2014/2015 pohybovaly v rozmezí 1,36 - 3,78 t.ha⁻¹. V tomto ročníku byl zvolen uniformní přístup hnojení, tedy na všech sledovaných půdních blocích byla aplikována celková dávka 176 kg č.ž.N.ha⁻¹. Rathke et al. (2006) a řada dalších autorů uvádějí, že tzv. paušalizované přístupy hnojení jsou z agronomického hlediska neefektivní a neekonomické. Regenerační hnojení bylo rozděleno do dvou dílčích, přičemž první dávka dusíku byla aplikována 23.2. a druhá pouze s odstupem tří dnů. K regeneračnímu hnojení byla použita DASA (8,7 %N-NO₃⁻, 17,3 % N-NH₄⁺). Produkční hnojení bylo realizováno v polovině dubna kapalným hnojivem DAM 390 v dávce 78 kg N č.ž.ha⁻¹. Při hnojení dusíkem by mělo být racionálním myšlením rozhodnuto o správné volbě dané formy hnojiva, neboť například amonný iont může v nadměrných koncentracích antagonisticky působit na příjem jiných kationtů. Opakem je nitrátová forma, která synergicky působí na příjem všech kationtů (Vaněk et al., 2016). Nadměrný přívod jednomocných kationtů (NH₄⁺, K⁺) může způsobit tzv. peptizaci půdní struktury, která negativně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půd (Merbach et al., 2013). Dosažené výnosy, které lze v tomto ročníku označit jako nadprůměrné, se na půdních blocích (dále jen p. b.) 2, 3, 5, 6 se pohybovaly v úrovni 3,53 - 3,82 t.ha⁻¹. Na základě teoretického jednoduchého výpočtu dle normativního odběru řepky (55 kg N.t⁻¹) lze při dávce 176 kg č.ž. N.ha⁻¹ očekávat výnosy kolem 3,2 t.ha⁻¹. Silně podprůměrného výnosu bylo dosaženo na p. b. č. 4, který dosáhl pouze 1,36 t.ha⁻¹. Nízký výnos poskytl i p. b. č. 1 (2,96 t.ha⁻¹). S ohledem na dosažené výnosy je třeba zvážit, zda byla u těchto p. b. celková dávka dusíku správně zvolena. Jak je obecně známo, hnojení dusíkem by mělo být uskutečňováno na základě stavu porostu, půdně-klimatických charakteristik, obsahu N_{min}, biologické kontroly porostu před a po zimě, ze znalostí biologie pěstované odrůdy apod. (Diepenbrock, 2000). Jelikož je řepka pěstována výhradně po obilních předplodinách, je nutné se zmínit o hnojení před setím či během setí. Důležité je hnojení dusíkem, vedoucí k podpoře rozkladu slámy. U obilnin je vhodné provést vyrovnávací hnojení k podpoře rozkladu slámy s následným zapravením do půdy. Dle Růžka et al. (2017) při nedostatečném rozkladu slámy již na podzim, může rozklad slámy pokračovat a konkurovat dostupnosti dusíku pro rostliny. Lze tedy předpokládat, že rozvržení

dusíkatého hnojení do více dílčích dávek, může vést k lepší efektivitě využití dusíku rostlinami.

Vypočtené hodnoty faktoru aplikovaného dusíku korespondují s dosaženými průměrnými výnosy řepky (tabulka 6). Z uvedených výsledků vyplývá, že využití dusíku rostlinami se mění v závislosti na dosaženém výnosu, tedy s rostoucím výnosem se zvyšuje i efektivita aplikovaného dusíku a naopak.

Při porovnávání výnosu řepky a obsahu fosforu v půdě byla zjištěna slabá závislost ($r = 0,2610$). Obsahy fosforu v půdě se pohybovaly v úrovni nízké až vysoké. Nejnižší výnos semene řepky byl na p. b. č. 4, který vykazoval nejnižší (45 mg.kg^{-1}) úroveň zásobení fosforem. Rovněž nízký obsah fosforu v půdě byl na p. b. č. 3, který poskytl nadprůměrný výnos. Tento p. b. vykazoval u ostatních živin úroveň vyhovující až vysokou. Půdní blok č. 4 vykazoval nízkou úroveň všech sledovaných parametrů (K, Mg, Ca, pH). Hodnota pH měla kyselou půdní reakci. Redukce výnosu na p. b. č. je částečně přičítána vlivu stanoviště. Jedná se o velmi malý p. b. (4,34 ha) nepravidelného tvaru s omezeným světelným režimem, nevyhovující svažitostí, nedostatečnými půdními a vláhovými podmínkami. Z výsledků uvedených v tabulce 8 (variabilita půdních podmínek) právě p. b. č. 4 vykazoval největší variabilitu v hloubce půdy.

Jak popisuje mnoho autorů např. Brant et Kroulík (2018), Javůrek et Vach (2008) či Landers, 2000 parametry a variabilita půdního bloku ve vztahu k jeho obhospodařování jsou významnými faktory ovlivňující mimo jiné i fyzikální vlastnosti půd. Dle Branta et Kroulíka (2018) na malých a nepravidelných p. b. dochází vlivem nárůstu pracovních záběrů ke zvyšování překrývání pracovních jízdy, což vede k negativnímu zhutňování. Zhutňování půd vede ke snížení infiltrační schopnosti půd, obtížné zpracovatelnosti, porušení půdní struktury, vývoji porostů, biologické činnosti půd apod.

Obsah fosforu, ale i některých ostatních živin, na vysoké úrovni se jeví jako neefektivní. Nelze předpokládat, že čím vyšší je obsah příslušné živiny, tím vyšší bude i výnos. Omezený příjem fosforu rostlinami, i přes jeho dobré zásobení v půdě, může nastat při nevhodných podmínkách pěstování. S ohledem na oblast pěstování, která se nachází v oblasti srážkového stínu, tedy v sušší oblasti s častými jarními přísušky lze předpokládat, že v těchto podmínkách lze na některých lokalitách očekávat problémy s dostupností fosforu pro rostliny. Riziko příjmu lze očekávat i v případě, že přístupné formy fosforu se nachází v hlubších vrstvách půdy (Černý et al., 2018; Rathke et al., 2006).

Slabá závislost ($r = 0,3688$) byla zjištěna mezi výnosem řepky ozimé a obsahem draslíku v půdě. Téměř nejvyšší výnos byl na p. b. č. 6, který vykazoval nízkou úroveň zásobení draslíkem, ale i hořčíkem a vápníkem. Vysoký obsah draslíku (415 mg.kg^{-1}) byl na p. b. č. 3, který vykázal rovněž nadprůměrný výnos. U vysokých obsahů draslíku v půdě se při nevhodných vláhových poměrech zvyšuje riziko fixace do mezivrstev jílových minerálů (Matula, 2007a). Matula (2007a) uvádí, že draslík je na jílové minerály typu vermiculity a ility fixován v suchých i vlhkých podmínkách, kdežto na smectity je spíše více fixován v suchých podmínkách. Na půdním bloku č. 3 je patrný vysoký obsah draslíku, který by mohl znamenat problémy s příjmem hořčíku (přílohy tab. 1). V některých případech se hmotnostní poměr K:Mg pomalu blíží k hodnotě 3, která by mohla znamenat omezený příjem hořčíku.

Silnější závislost ($r = 0,5052$) byla zjištěna mezi výnosem řepky a obsahem hořčíku v půdě. Kromě p. b. č. 6, kde byl obsah hořčíku na nízké úrovni lze říci, že při zvyšujícím se obsahu hořčíku v půdě roste i výnos. Kromě p. b. č. 4 a 6 jsou obsahy hořčíku na dobré úrovni zásobení. U p. b. č. 4, kde je půdní reakce hodnocena jako kyselá se shodujeme s tvrzením Senbayrama et al. (2015), který uvádí že na kyselých půdách obvykle bývá zaznamenán i deficit hořčíku.

Téměř žádnou závislost nevykazoval výnos semen řepky a obsah vápníku v půdě. Nejvyšších výnosů bylo dosaženo jak na půdách s nízkým obsahem vápníku, tak i vysokým obsahem vápníku v půdě. Vysoká závislost byla zjištěna mezi výnosem řepky a pH půdy. U p. b. č. 6 a 4 je nízký obsah vápníku spojen i s poklesem hodnot pH, což potvrzuje i Barszczak et al. (1993). Vlivem kořenových exudátů je řepka schopna na nízké pH do určité míry reagovat. Je uváděno zvýšení či snížení pH až o jednotku (Černý et al., 2018).

U půdních bloků, u kterých je k dispozici vyšší počet dílčích výsledků jednotlivých agrochemických parametrů jsou viditelné vyšší výnosy u pozemků s vyšší plošnou vyrovnaností (p. b. č. 1, 2, 3). V opačném případě je možné říci, že čím více je jednotlivých agrochemických parametrů plošně nevyrovnaných, tím více je výnos řepky redukován.

Z dostupných informací (přílohy tabulka 3) jsou viditelné značné rozdíly v hodnotách kationtové výměnné kapacity (KVK). Zjištěné hodnoty poukazují na střední až nízké sorpční schopnosti půd. Jansen (2011) dodává, že KVK je v úzké korelaci s fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi půdy, které se nesporně projevují v půdní úrodnosti.

Z použitých odrůd byly použity dvě hybridní odrůdy (DK Exquisite, Rohan) a jedna liniová odrůda (Arot). Odrůda Rohan byla použita na p. b. č. 4 a 6, na kterých bylo dosaženo

nejnižších výnosů. Na základě odrůdových pokusů SPZO (Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin) v roce 2015 nejvyšší výnos poskytla právě odrůda DK Exquisite. Je velmi pravděpodobné, že jistý podíl na redukcí výnosů měl v tomto ročníku i vliv použité odrůdy.

V roce 2015 byla zjištěna slabá závislost ($r = 0,3112$) mezi výnosem řepky a termínem setí. Z výsledků jednoznačně nevyplývá, zda jsou výnosově výhodnější časně či pozdní termíny setí.

Za jeden z hlavních faktorů způsobující redukcí výnosů lze považovat vliv povětrnostních a klimatických podmínek (graf 37, přílohy tab. 10). Jak uvádí Baranyk et al. (2007) nejvyšší potřeba srážek je v období po zasetí a v období kvetení řepky. Právě v období května a června byly zaznamenány nižší úhrny srážek oproti ostatním porovnávaným ročníkům. Za období květen (22,6 mm) a červen (70,8 mm) činil srážkový úhrn 93,4 mm, což se jeví jako nedostatečné. Nedostatečné srážkové úhrny vedou ke zkrácení doby kvetení, která způsobuje redukcí výnosu (Weymann et al., 2015).

6.2 Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2015/2016

Hospodářský rok 2015/2016 byl výnosově nadprůměrný. Z hodnocených ročníků bylo právě v tomto roce dosaženo nejvyššího výnosu řepky. Průměrný dosažený výnos v tomto roce byl $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, což je v porovnání se Středočeským kraje a ČR téměř o $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ více. Nutno podotknout, že rozdíly v dosažených výnosech řepky byly minimální a skutečné hledání příčin redukce výnosů je problémové. Nejvyšší rozdíl ve výnosu vykazoval p. b. č. 12. Rozdíl mezi tímto p. b. a nejnižším dosaženým výnosem v tomto ročníku činil $0,57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$

V tomto roce se dávky dusíku pohybovaly v rozmezí $189 - 240 \text{ kg} \text{ č.ž.N} \cdot \text{ha}^{-1}$, z čehož vyplývá, že v porovnání s předchozím ročníkem došlo k navýšení dávek dusíku. Mezi výnosem řepky a celkovou dávkou dusíku nebyla v tomto roce zjištěna významná závislost. Při dávkách dusíku $189 \text{ kg} \text{ č.ž.N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bylo dosaženo jak nejnižšího, tak nejvyššího výnosu řepky. U dávek $240 \text{ kg} \text{ č. ž.N} \cdot \text{ha}^{-1}$ nebyl zaznamenán výrazný nárůst ve výnosech. Na p. b. č. 7, 10 a 11 bylo realizováno již po zasetí přihnojení kapalným hnojivem DAM 390. Půdní bloky č. 8 a 9 dosáhly nejvyšších výnosů, přičemž rozdíl mezi výnosy byl pouhých $0,04 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Řepka ozimá na těchto půdních blocích byla zařazena po ozimém ječmeni. Jedním z možných důvodů využití dusíku je, že zde efektivita využití dusíku byla ovlivněna množstvím slámy po daných předplodinám. Ječmen oproti pšenici poskytuje nižší výnos slámy z hektaru. Důležité je i rovnoměrné rozdrčení slámy při sklizni či vliv hloubky zapravení slámy do půdy

(Hůla et al., 2008). Baranyk et al. (2007) dodává, že plodiny zanechávající větší množství slámy lze považovat za méně vhodné, popřípadě je nutné použití vyrovnávacího hnojení dusíkem. Příkladem by mohl být p. b. č. 12, který poskytl nejnižší výnos a předplodinou byla pšenice ozimá. U tohoto p. b. bylo vynecháno přihnojení dusíkem po zasetí.

Za optimální dávky dusíku lze považovat dávky kolem 190 kg č.ž.N.ha⁻¹. Nejvyšší faktor produktivity využití dusíku byl zjištěn právě u dávek 189 kg č.ž.N.ha⁻¹.

Nepřímá závislost byla zjištěna mezi výnosem řepky a obsahem fosforu ($r = -0,1905$) a draslíku ($r = -0,2043$) v půdě. Obsahy fosforu v půdě se pohybovaly v úrovni vyhovující až velmi vysoké. Výjimkou byl p. b. č. 11, který vykazoval nízký obsah fosforu v půdě. Nízké zásobení fosforem nemělo negativní vliv na výnos. Obdobný stav zásobení byl také u draslíku, kde obsah v půdě byl vyhovující až vysoký.

Velmi slabou závislost vykazoval výnos řepky a obsah hořčíku v půdě ($r = 0,1945$). Mezi výnosem řepky a obsahem vápníku byla rovněž slabá závislost ($r = 0,1255$). Obsah hořčíku byl na půdních blocích č. 7, 8, 10, 11 dobrý a na p. b. č. 9 a 12 vyhovující. Obdobné zásobení bylo i u vápníku. Půdní blok s vyhovujícím obsahem vápníku poskytl nejnižší výnos. Opakem byl p. b. č. 10 s velmi vysokým obsahem vápníku, u kterého nebylo zaznamenáno významné navýšení výnosu. Nadměrné koncentrace vápníku v půdě mohou ovlivňovat přijatelnost ostatních živin. Zejména se jedná o fosfor a stopové prvky. V důsledku zvýšené fixace hořčíku v uhlíčitanech by mohlo hrozit horšímu zpětnému uvolňování této živiny do půdního roztoku. Je také zesílena biologická aktiva půdy, a tím i zvýšený obsah mineralizovatelného dusíku (Matula, 2007a). Nevýhodou by dle Matuly (2007a) mohlo být riziko vyplavení dusíku, zejména ve vlhčích podmínkách.

Rovněž slabá závislost byla zjištěna i u porovnání výnosu řepky a hodnot pH půdy ($r = 0,2896$). V souvislosti s vysokým obsahem vápníku se na shodném p. b. (p. b. č. 11) setkáváme i s vysokou hodnotou pH. Barszczak et al. (1993) uvádí, že při vysokých hodnotách pH dochází u vápníku k chelatizaci karboxylových skupin humusu, které tímto nejsou schopny účastnit se sorpce. Maximální schopnost sorpce humusových složek je uváděna při hodnotě pH 5,5 - 6.

Na základě dostupných hodnot KVK lze říci, že sledované půdní bloky vykazovaly nepatrně vyšší hodnoty KVK. Hodnocení KVK ale hodnocení nadále zůstává na střední úrovni kationtové výměnné kapacity.

V hodnoceném ročníku byly použity odrůdy hybridní Marathon, EXPLICIT a Exstorm. Všechny použité odrůdy poskytly výborné výnosy. Nejvyšších výsledků dosáhla odrůda Exstorm (4,18 t.ha⁻¹), druhé místo obsadila odrůda Marathon (4,14 t.ha⁻¹) a třetí byla odrůda EXPLICIT (4,13 t.ha⁻¹). Dle výsledků SPZO nejvyšších výnosů dosáhly odrůdy Marathon (4,73 t.ha⁻¹), Exstorm (4,6 t.ha⁻¹) a EXPLICIT (4,42 t.ha⁻¹). Vliv termínu setí na výnos byl minimální.

Dle Diepenbrocka (2000) či Zhanga et al. (2017) jsou srážky v období kvetení považovány za jeden z hlavních faktorů podporující výnos řepky. Diepenbrock (2000) označuje dobu kvetení řepky za jednu z nekritičtějších fází utvářející výnos. Srážky v období kvetení byly 127,9 mm. Jak bude hodnoceno v následujících letech, za optimální je možné považovat úhrny srážek v době kvetení nad 100 mm. Srážky pod 100 mm se jeví jako nedostatečné. V tomto případě se dostáváme do rozporu s tvrzením Baranyka et al. (2007), který popisuje výnosovou depresi řepky při srážkovém úhrnu v době kvetení již při 80 mm.

6.3 Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2016/2017

Průměrný výnos řepky v roce 2017 byl 2,42 t.ha⁻¹. Jedná se o nejnižší výnosy ze všech sledovaných ročníků.

Průměrná dávka dusíku v tomto roce byla 217 kg č.ž. N.ha⁻¹, to znamená o 3 kg č.ž. N.ha⁻¹ více než v minulém roce. U hnojení dusíkem došlo v porovnání s ostatními ročníky k nepatrným odlišnostem. Na většině p. b. (p. b. č. 14, 15, 16, 18) bylo již v březnu aplikováno kolem 76 % (165 kg č.ž.N.ha⁻¹) celkové průměrné dávky dusíku, přičemž převažující forma dusíku byla nitrátová. U ostatních p. b. dávka dusíku v březnu činila asi 50 % celkové průměrné dávky. Přihnojení po zasetí bylo realizováno pouze na p. b. č. 17, který poskytl nejnižší výnos 1,44 t.ha⁻¹. Dle Baranyka et al. (2007) by výše regenerační dávky dusíku měla být v dobré korelaci s půdními a klimatickými podmínkami. Z pohledu ekonomických ztrát i ochrany životního prostředí je vhodné vyčkat s dusíkatým hnojením až do doby optimálního otevření jara, obzvláště na lehčích půdách a dobrých porostů (Weymann et al., 2015). U příliš velkých dávek dusíku (nad 100 kg č.ž.N.ha⁻¹) a promyvném režimu, může docházet ke značným ztrátám proplavením (zejména NO₃⁻) do spodních vrstev půdy. Z variant hnojení dle Balíka et al. (2012) vyplývá, že nejvyšší ztráty dusíku vyplavením jsou po aplikaci hlavně minerálních hnojiv. Po aplikaci minerálních hnojiv byl v lyzimetrických vodách zjištěn nadlimitní obsah nitrátového dusíku (nad 50 mg.L⁻¹) (Balík et al., 2012).

Nejvyšší faktor produktivity aplikovaného dusíku byl na p. b. č. 18, kde dávka byla 204 kg č.ž.N.ha⁻¹. Nejnižší efektivita využití dusíku byla na p. b. č. 16 a 17, která se v průměru pohybovala 8,16 kg.kg⁻¹. U těchto p. b. byla zvolena dávka dusíku 226 a 229 kg č.ž.ha⁻¹. Tyto dávky se v tomto hospodářském roce jeví jako méně vhodné. Rozdílnost využití dusíku na jednotlivých půdních blocích popisuje i Liu et al. (2017), který zdůrazňuje nutnost stanovení dávek na základě stanovištních podmínek. Dávky na jednotlivých půdních blocích se mohou lišit až o několik desítek kilogramů (Liu et al., 2017).

Z výsledků předešlé kapitoly (graf 26, 27, 28, 29) je možné říci, že u všech přístupných živin se jejich obsah pohyboval v úrovni vyhovující až dobré. U parametrů P, Ca a pH nebyla zjištěna statisticky významná závislost. Hodnoty korelačních koeficientů se pohybovaly v záporných či téměř nulových hodnotách. Statisticky průkazná závislost byla zjištěna mezi výnosem řepky a obsahem draslíku v půdě ($r = 0,5455$). Půdní blok s nejvyšším výnosem (p. b. č. 14) vykazoval dobré zásobení P, K i Ca, pouze u Mg bylo zásobení na vyhovující úrovni. Z pohledu plošné vyrovnanosti se jednalo o půdní blok, který vykazoval vyrovnanou zásobu K, Mg, Ca ale silnou nevyrovnanost P. Při shodných dávkách dusíku bylo nejvyššího výnosu dosaženo právě na tomto půdním bloku, který vykazoval nižší disharmonii zásobení živin. To odpovídá výsledkům Matuly (2007a), který uvádí, že se zvyšujícím se deficitem některé z přístupných živin v půdě klesá i výnos řepky. Dále dodává, u lokalit s větší disharmonií výživného stavu není vyšší intenzita hnojení dusíkem opodstatněná. Vysoká úroveň zásobení příslušnou živinou nemá opodstatněný význam, naopak se může projevit negativní vliv na půdní úrodnost (Matula, 2007a; Diepenbrock, 2000). V tomto roce byl nejčastější živinou s vysokým obsahem v půdě draslík, u něhož je právě v některých případech možné očekávat negativní vliv i na ostatní živiny v půdě. V prvním případě ve vlhčích letech v podzimním období může docházet k vyplavení K⁺. Nejvíce zastoupené kationty v půdě (Mg²⁺, Ca²⁺) často bývají doprovodnými kationty při vyplavování chloridů, neboť draselná hnojiva obsahují i jiné prvky (Matula, 2007a).

Zajímavé výsledky byly zjištěny u vápníku a hodnoty pH. U vápníku byla zjištěna hodnota $r = -0,8584$. Z grafu uvedeného z výsledků (graf 29, 30) je viditelný pokles výnosu řepky s narůstajícím obsahem vápníku v půdě i hodnoty pH. Stejný průběh lze vyhodnotit i u výnosu řepky a hodnoty pH. Nejvyšší výnosy řepky byly dosaženy při dobré úrovni vápníku v půdě a pH v rozmezí 5,6 - 6,0. Nevýhody vysokého obsahu v půdě byly uvedeny v kapitole 6.2.

Zvolenými odrůdy byly Marathon, Exstorm, Explicit a Exeption. Dobré výnosy dosáhly odrůdy Marathon, Exstorm a Exeption. U odrůdy Marathon bylo dosaženo zároveň druhého nejnižšího výnosu. Nejnižší výnos poskytla odrůda Explicit. Z poloprovozních pokusů SPZO byly jako nejvýkonnější odrůdy vyhodnoceny Marathon, Exstorm a Explicit, které ve shodném roce dosáhly téměř 4 t.ha⁻¹.

Značný podíl na redukcí výnosů v tomto ročníku měl nesporně vliv povětrnostních změn v porovnání s ostatními hodnocenými ročníky. V období kvetení řepky byl zjištěn nejnižší úhrn srážek za všechny sledované období. Úhrn srážek se v tomto období pohyboval kolem 60 mm (graf 37). Při těchto podmínkách, podpořenými vyššími teplotami lze předpokládat zkrácenou dobu kvetení řepky. V takovém případě dochází k redukcí dvou výnosotvorných prvků, a to počtu zrn v šešuli a hmotnosti tisíce semen (Baranyk et al., 2007; Zhang et al., 2017). Dle Zhanga et al. (2017) v oblastech trpících nedostatkem či nerovnoměrným rozložením srážek nelze výrazné zvýšení výnosu očekávat ani zvýšením výsevku, nebo dokonce zvýšenou intenzitou hnojení. Cílem každého hospodáře by mělo být cílem udržení co největšího množství vody v půdě, což je podmíněno správnou agrotechnikou. Za vhodné principy hospodaření s cílem udržení půdní vláhly jsou považovány některé z typů minimalizačních postupů, především slučování pracovních operací (Zhang et al., 2017).

6.4 Hodnocení výnosu ozimé řepky v hospodářském roce 2017/2018

Hodnocení výnosů řepky ozimé bylo v hodnoceném roce 2017/2018 velmi obtížné, neboť výnosy na jednotlivých půdních blocích vykazovaly velmi malé odchylky.

Celkové dávky dusíku neklesly pod 200 kg č.ž.N.ha⁻¹. Za sledovaná období 2014 - 2018 se jedná o nejvyšší stanovené dávky dusíku. Rozpětí dávek se pohybovalo od 200 - 237 kg č.ž.N.ha⁻¹. U všech půdních bloků bylo provedeno hnojení po zasetí kapalným hnojivem DAM 390. Při hodnocení závislosti výnosu a dávky dusíku byla zjištěna významná statistická závislost. Se zvyšující dávkou dusíku roste i výnos. Při stejných dávkách (220 kg č.ž.N.ha⁻¹) byl výnos téměř shodný, pouze p. b. č. 23 vykazoval zanedbatelný rozdíl 0,04 t.ha⁻¹. Stanovené dávky dusíku se projeví i u vypočteného faktoru produktivity dusíku, o kterém se dá říci, že byl velmi vyrovnaný. Všechny vypočtené hodnoty PFP - N se pohybovaly kolem 17 kg.kg⁻¹, rozdíly byly jen v hodnotách desetin.

Jak uvádí Balík et al. (2012), působení dusíku je na různých stanovištích rozdílné, ale i na jednotlivých pozemcích, či dokonce jeho částech s ohledem na variabilitu jednotlivých pozemků. Největší vliv dusíkatého hnojení je na méně úrodných stanovištích. Právě na méně úrodných půdách je největší vliv hnojení dusíkem, kdy se dusík z půdní zásoby podílí na tvorbě výnosu až z 60 %.

Nízký obsah fosforu byl zaznamenán na p. b. č. 20, ostatní p. b. vykazovaly vyhovující až velmi vysokou úroveň všech sledovaných agrochemických parametrů. Při shodných dávkách dusíku (p. b. č. 19, 23 a p. b. č. 21, 22) bylo dosaženo shodných výnosů. U p. b. č. 19 a 23 nebyl zaznamenán deficit žádné živiny. Velmi vysoké obsahy fosforu a draslíku u p. b. č. 19 nevykazovaly přírůstek ve výnosu oproti p. b. č. 23, u kterého se obsahy hodnocených živin pohybovaly na dobré úrovni. Zajímavé jsou p. b. č. 21 a 22, které byly zásobeny příslušnými živinami na dobré až vysoké úrovni. U těchto p. b. byla použita shodná odrůda. Na první pohled z uvedeného obsahu živin v půdě lze předpokládat že agrochemické vlastnosti půd jsou v pořádku. Ovšem z podrobných výsledků (přílohy tabulka 1) je patrný rozdíl v plošné nevyrovnanosti zásobení živin. Půdní blok č. 22 vykazoval plošnou nevyrovnanost všech hodnocených živin v porovnání s p. b. č. 21, který naopak vykazoval plošnou vyrovnanost. Jak potvrzuje mnoho autorů, v takovém případě lze očekávat nižší výnos právě na lokalitách s plošnou nevyrovnaností. Nejvyšší výnos (p. b. č. 24) byl dosažen na půdním bloku s vyhovujícím až dobrým zásobením ale celkově s plošnou nevyrovnaností všech živin.

Termín setí měl minimální vliv na výnos řepky. Porosty řepky byly v roce 2018 založeny od 4.8. až 15.8. Termíny setí v první polovině srpna lze označit za časně, neboť Baranyk et al. (2007) považuje za vhodné termíny setí v obilnářské výrobní oblasti termíny koncem srpna. Vývoj porostů je významně ovlivňován vlhkostí půdy, kvalitou rozmístění a zapravení posklizňových zbytků, odrůdou, kvalitou setí, půdních podmínek apod. (Hůla et al., 2010; Růžek et al., 2017; Javůrek et Vach, 2008).

Z odrůd byly použity výnosné odrůdy Marathon, Exstorm, Exception a Arsenal. V hodnoceném ročníku nejnižší výnos poskytla odrůda Exstorm.

Velmi důležitou pracovní operací, která ovlivňuje vzcházení a vývoj porostu je setí. Vedle optimálního stanovení výsevu je důležité věnovat pozornost správnému nastavení secího stroje ale i pracovní rychlosti soupravy. Při vysoké pracovní rychlosti dochází k nepřesnému uložení a rozmístění osiva v půdě, čímž je ovlivněna vzcháživost a konkurenční

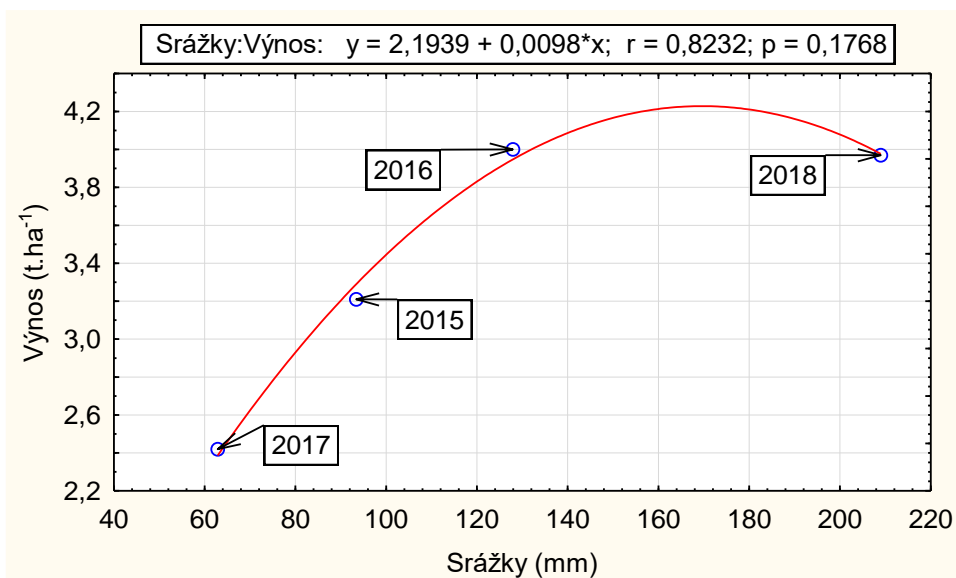
vztahy mezi rostlinami. Tuto skutečnost potvrzují i výsledky z několika pokusů německých výzkumných pracovníků z firmy Horsch. Ti uvádějí, že rychlost setí a její vliv na organizaci porostu mají výrazný vliv na životní prostor každé rostliny, tak i mikroklima porostu, a v konečné fázi i na výnos řepky, přičemž rozdíl ve výnosech může být 0,3 - 1 t.ha⁻¹.

I v tomto roce se pozitivně ve výnosech řepky potvrdil vliv povětrnostních a klimatických podmínek. Ze čtyř sledovaných ročníků byly srážky v době kvetení nejvyšší (graf 37). Průměrné teploty jsou uvedeny v příloze (přílohy tab. 10). Jako vhodnější se jeví teplejší průběh v daného ročníku podpořen požadovaným úhrnem srážek. V pokusech Weymanna et al. (2015) bylo nejvyšších výnosů dosaženo při teplotách v době kvetení kolem 10 °C.

6.5 Komplexní hodnocení pěstebních podmínek a jejich vliv na výnos

Z uvedených výsledků lze konstatovat, že významně limitujícím faktorem rostlinné produkce jsou půdní a klimatické podmínky. Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, společnost Rakochmel s.r.o. se nachází v oblasti srážkového stínu, čímž je způsobena značná variabilita v množství ale hlavně v rozložení srážek. Tato skutečnost je dokumentována v grafu 37, kde byly zjištěny zajímavé výsledky srážek v době kvetení a jejich vliv na výnos.

Graf 37: Vliv množství srážek na výnos řepky ozimé v období kvetení (květen - červen)



Dalším faktorem, který ovlivňuje výnos je nízká bonita půd. Na jednotlivých půdních blocích je velmi častým problémem střídání zrnitostního složení půdních druhů, což vede ke značné heterogenitě jednotlivých stanovišť (výsledky - obrázek 2, tabulka 9). Tyto faktory

mají úzkou spojitost s agrochemickými vlastnostmi, infiltrační schopností půd apod. Důkazem toho mohou být údaje uvedené v tabulkách 5, 7, 8 či příloze (tabulka 1, 9). Z pohledu výživy rostlin jsou důležité údaje zaznamenané v příloze (tabulce 1 a 3). V tabulce 3 v příloze jsou mimo jiné na jednotlivých půdních blocích uvedeny měnící se hodnoty KVK, vyjadřující kationovou výměnou sorpční kapacitu. Jílové minerály a půdní organická hmota jsou podstatou sorpčních vlastností půdy. Hodnota KVK nám vlastně podává informaci o obsahu a kvalitě této neaktivnější složky půdy, tedy lépe řečeno, indikuje půdní druh (Matula, 2007a). Matula (2007a) o hodnotě KVK hovoří jako o konzervativní veličině, jejíž změna není snadná. Proto je nutné při hospodaření s živinami v půdě plně respektovat sorpční schopnosti, aktuální hodnotu KVK a hnojařské zásahy ji optimálně přizpůsobovat.

Z tabulky agrochemických vlastností (přílohy tabulka 1) je patrné, že průměrné zásobení živin na jednotlivých stanovištích se pohybuje v největší míře v úrovni vyhovující až dobré. Tato úroveň zásobení je z pohledu výživy rostlin dostačující. Ovšem při důkladném prostudování každého vzorku v rámci jednoho půdního bloku je viditelná plošná nevyrovnanost, která se u jednotlivých agrochemických parametrů mění mnohdy až čtyřnásobně. Tento problém se samozřejmě promítá i v hospodárnosti zemědělské výroby, efektivnosti hnojení apod., který je z pohledu výživy rostlin a celé hospodářské produkce zásadní a je třeba ho do jisté míry eliminovat.

Dalším tématem k zamyšlení je systém jednotlivých agrotechnických opatření. Značné rezervy se nacházejí v jednotlivých agrotechnických opatřeních, na které bude poukázáno níže.

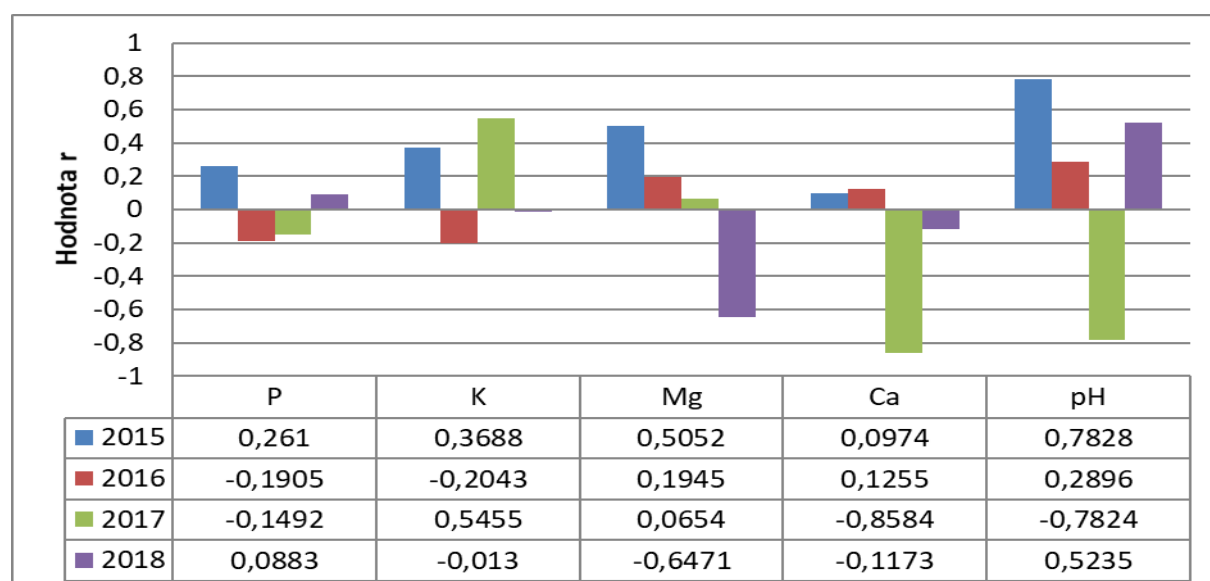
Dle Hůly et al. (2010) je půda neustále vystavována rostoucímu antropogennímu zatížení, je proto nutné prohlubovat systém její ochrany. Za hlavní rizika pro půdu a její kvalitu jsou považovány: eroze, úbytek organické hmoty, omezení biologické aktivity a zhutňování. Dále je nutné brát zřetel na nezemědělské využití půdy, přičemž dochází ke změnám parametrů půdních bloků (tvar, velikost, krajnotvorné prvky apod.) a tím k ovlivnění efektivnosti hospodaření či půdních podmínek. Agrotechnickými zásahy se půda má upravit do stavu, kdy jsou plodinám poskytovány dobré podmínky pro růst a vývoj a současně je požadována minimalizace degradačních procesů v půdě (eroze, technogenní zhutnění (výsledky - obrázek 3), zvýšení infiltrační schopnosti, aj.). Právě zájem o důsledky hospodaření na půdě z dlouhodobého hlediska by měl být zájmem trvalým toho, kdo na půdě hospodaří (Altiery et al., 1995). V současné době se vedle pracovní a energeticky

náročných postupů zpracování půdy s orbou stále více používají minimalizační postupy. Tyto postupy jsou efektivní, ale pouze v daných oblastech či konkrétních podmínkách hospodaření. Na základě povětrnostních, klimatických, půdních aj. podmínek by mělo být rozlišeno, kdy je vhodné a s jakou intenzitou danou pracovní operaci provést, s cílem omezení negativních dopadů na půdu či rostlinou produkci. V současné zemědělské praxi se častěji stává, že je půda v důsledku nízké vlhkosti (mnohdy až kolem 5 %) a vlivem opakovaným přejezdů tzv. rozprašována, v mnohých případech až na elementární stav. Tento stav je dokumentován v kapitole výsledky na obrázku č. 4. Při vyšší teplotě a nízké vlhkosti půdy a intenzivní mineralizaci půdní organické hmoty může docházet ke ztrátám uhlíku ve formě emisí CO₂, čímž je podpořen pokles úrodnosti. V takovýchto případech dochází ke zhoršení půdních vlastností a špatnému vzcházení rostlin (Růžek et al., 2017).

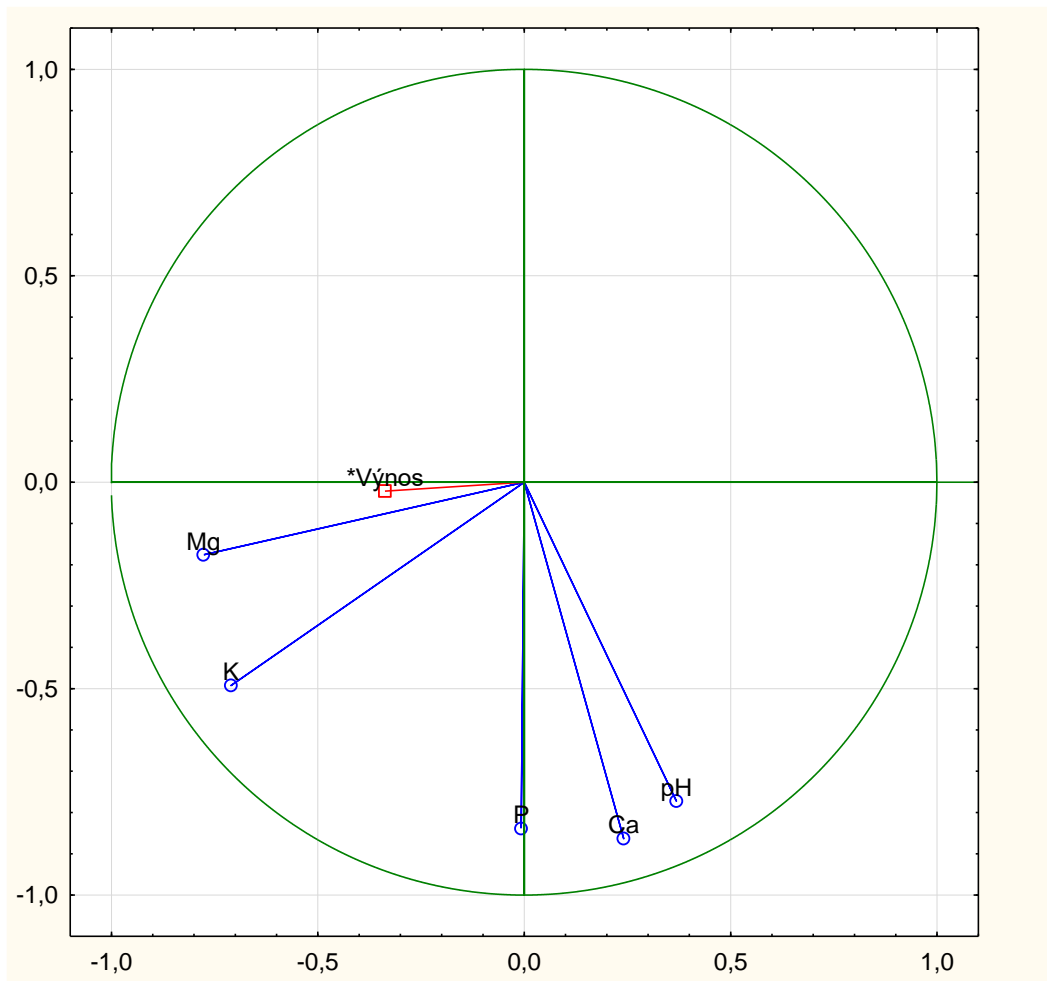
6.6 Míra vlivu agrochemických parametrů na výnos řepky ozimé v letech 2015 - 2018

V grafu 38 jsou znázorněny vypočtené hodnoty korelačních koeficientů, které většinou ukazují na statisticky nevýznamnou závislost. Z doposud uvedených výsledků se potvrzuje, že v hodnocené oblasti pěstování má dominantní postavení ročník. Jinými slovy optimální povětrnostní a klimatické podmínky v klíčových fázích růstu řepky se pozitivně projeví ve výnosech. Z hlediska tvorby výnosu řepky je patrný vliv hořčíku v půdě a pH. To potvrzují i nízké hodnoty uvedené v ordinačním diagramu (graf 39).

Graf 38: Korelační koeficienty v hodnocených letech



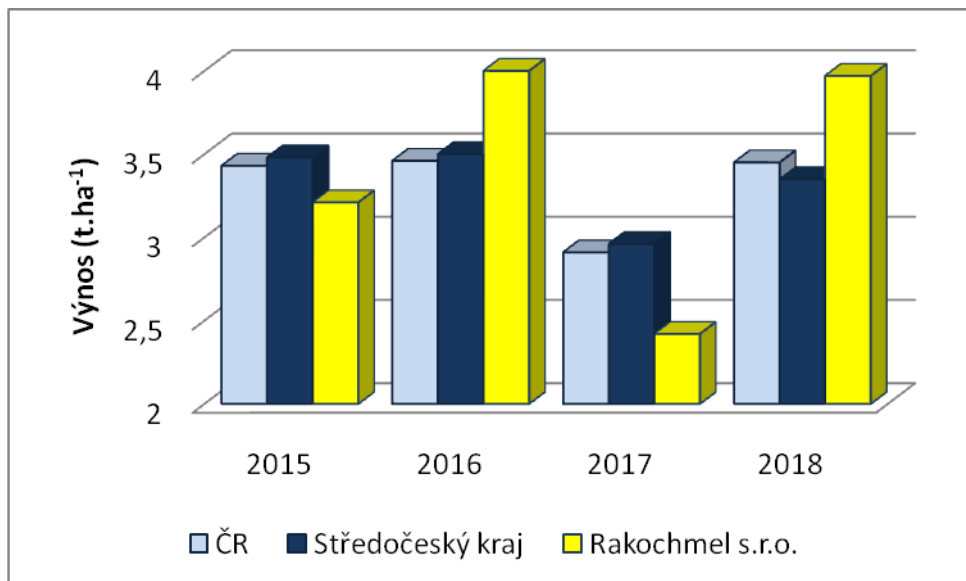
Graf 39: Ordinační diagram



6.7 Porovnání výnosů ozimé řepky (2015 - 2018)

Porovnání výnosů řepky ozimé z jednotlivých ročníků je uvedeno v grafu 40. Z grafu jsou patrné značné ročníkové výkyvy ve výnosech řepky, přičemž nejnižších výnosů bylo dosaženo v roce 2017, kde výnos společnosti dosáhl pouze 2,42 t.ha⁻¹ a byl v porovnání s ČR a krajem nejnižší. Dosažený průměrný výnos společnosti v roce 2015 byl opět podprůměrný, v tomto roce průměrný výnos dosáhl 3,21 t.ha⁻¹. Opakem byly roky 2016 a 2018, které byly výnosově nadprůměrné. Tyto dosažené výnosy, v obou hospodářských letech téměř 4 t.ha⁻¹, se v zemědělské společnosti řadí k historicky nejvyšším.

Graf 40: Porovnání výnosů řepky ozimé s ČR, Středočeským krajem a zemědělskou společností (<https://www.czso.cz/>)



7 Závěr

V diplomové práci byly hodnoceny vztahy mezi dosaženým výnosem řepky ozimé, agrochemickými vlastnostmi půd a používaným systémem hnojení. Z celkového systému hnojení byla značná pozornost věnována zejména hnojení dusíkem. Jedním ze sledovaných a hodnocených faktorů, který nesporně ovlivňuje výnos, byl i vliv ročníku (průběh počasí, agrotechnika apod.). Hodnocení bylo prováděno na provozních plochách zemědělského podniku v hospodářských letech 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 a 2017/2018.

7.1 Hnojení dusíkem

- Z hodnocených let byla největší statisticky významná závislost mezi aplikovanou dávkou dusíku a výnosem řepky zjištěna v ročníku 2017/2018, kdy hodnota $r = 0,9574$.
- Správná diferenciací dávek dusíku (2018) na jednotlivých půdních blocích se pozitivně projevila ve výnosech, přičemž bylo dosaženo téměř vyrovnaného faktoru produktivity aplikovaného dusíku.
- Při shodných dávkách dusíku, s ohledem na půdní a klimatické podmínky, je vyšších výnosů dosaženo na půdních blocích s dobrými agrochemickými vlastnostmi.
- Vyšších výnosů je dosaženo při celkově vyšších dávkách dusíku (byla potvrzena hypotéza 2).

7.2 Agrochemické vlastnosti půd

- Vyšších výnosů bylo dosaženo na půdních blocích s dobrými agrochemickými vlastnostmi oproti půdním blokům s nízkým zastoupením některé z přístupných živin (byla potvrzena hypotéza 1).
- Zásobení přístupných živin (P, K, Mg, Ca) na vysoké až velmi vysoké úrovni se jeví jako neefektivní s minimálním vlivem na výnos.
- Při hodnotě pH nad 7,0 je zaznamenán negativní vliv na výnos.
- V letech 2015, 2016, 2017 bylo při shodných dávkách dusíku dosaženo vyšších výnosů na půdních blocích s nižší plošnou nevyrovnaností.
- Výsledky bylo potvrzeno, že při vhodných podmínkách pěstování mohou být vysoké výnosy i na pozemcích plošně nevyrovnaných.

7.3 Termín setí

- Mezi termínem setí a výnosem řepky nebyla zjištěna významná statistická závislost (hypotéza 3 nebyla potvrzena). Nejvyšší hodnota korelačního koeficientu byla zjištěna v roce 2015 ($r = 0,3112$).
- Z uvedených výsledků lze konstatovat, že vysokých výnosů řepky lze dosáhnout jak u termínu setí již začátkem srpna, tak i u setí v druhé polovině srpna. S ohledem na oblast pěstování, je možné termíny setí realizované do první poloviny srpna souhrnně označit za časně.

7.4 Vliv odrůdy

- Nejvýraznější vliv odrůdy na výnos řepky se projevil v ročnících 2014/2015 a 2016/2017. Za odrůdy s nižším výnosovým potenciálem byly v těchto ročnících považovány hybridní odrůdy Rohan a Explicit.
- Variabilita ve výnosech způsobená volbou nevhodné odrůdy, podpořená ostatními faktory (např. vliv stanovištních podmínek apod.) činí rozdíl ve výnosech přes $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

7.5 Povětrnostní a klimatické vlivy

- V hodnocené oblasti pěstování je za dominantní faktor určující výši výnosů považován vliv ročníku, tedy vliv půdních a klimatických podmínek.
- Z výsledků vyplývá, že pro výnos $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ jsou požadovány srážky v období kvetení kolem 100 mm.
- Srážky v době kvetení pod 100 mm podpořené vyššími teplotami způsobují značnou redukci výnosu a jeví se jako nedostatečné.

8 Seznam použité literatury

Altiery M. A., Farrell G. J., Hecht B. S., Liebman M., Magdoff F., Murphy B., Norgaard B. R., Sikor T. 1995. Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture. 2.nd. ed. U.S.A, Colorado. 105 p, 179 p, 339 - 350 p. ISBN 0-8133-1717-7-ISBN 0-8133-1718-5.

Andersen A. B. 2000. Science in Agriculture. Advanced methods for sustainable farming. 2.nd ed. Acres U.S.A. 11 - 72 p, 116 p. ISBN 978-0-911311-35-8.

Balík J., Černý J., Kulhánek M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze. 10 - 15 s, 32 - 34 s. ISBN 80-7105-065-2.

Batal K. M., Granberry D. M., Mullinix B. G. 1997. Nitrogen, magnesium, and boron applications affect cauliflower yield, curdmass and hollow stem disorder. HortScience 32(1):75–78.

Baranyk P., et al. 2007. Řepka - pěstování, využití, ekonomika. Profi Press. Praha. 40 - 53 s, 72 - 80 s, 120 - 137 s. ISBN 978-80-86726-26-7.

Barszczak Z., Barszczak T., Foy D. C. 1993. Effect of moisture, nitrogen rates, and soil acidity on seed yield and chemical composition of winter oilseed rape cultivars. Journal of Plant Nutrition. 16:1, 85 -96.

Bastani S., Hajiboland R. 2017. Uptake and utilization of applied phosphorus in oilseed rape (*Brassica napus* L. cv. Hayola) plants at vegetative and reproductive stages: Comparison of root with foliar phosphorus application. Soil Science and Plant Nutrition, 63:3, 254 - 263 p. ISSN: 0038-0768.

Bečka D., Vašák J., Zukalová H., Mikšík V. 2007. Řepka ozimá, pěstitelský rádce. ČZU Praha. 15 s, 22 - 24 s. ISBN 978-80-87111-05-5.

Brant V., et al. 2016. Pásové zpracování půdy (strip tillage), klasické intenzivní a modifikované. Profi Press Praha. 1. vydání. 10 s, 11 s. ISBN 978-80-86726-76-2.

Brant V., Kroulík M. Půdní blok a jeho parametry ve vztahu k obhospodařování (1) - Obecné principy [online]. Agromanuál. 2.7.2018 [cit. 2018 - 10-07.]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pudni-blok-a-jeho-parametry-ve-vztahu-k-obhospodarovani-1-obecne-principy>>.

Britto T. D., Herbert J., Kronzucker J. 2002. NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. Journal of Plant Physiology 159. 567 - 584.

Cakmak I. 2013. Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant and Soil*. Volume 368. 1–4.

Carminati A., Vetterlein D. 2013. Plasticity of rhizosphere hydraulic properties as a key for efficient utilization of scarce resources. *Annals of Botany*. Volume 112 , 277-290.

Černý J., Balík J., Kovářík J., Kulhánek M., Sedlář O. 2015 (a): Bór ve výživě (nejen) ozimé řepky. *Úroda*, ročník LXIII, č. 8, Profi Press s.r.o. Praha, 54-58 s.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O. Hnojení ozimé řepky na podzim [online]. *Agromanuál*. 5.9.2018. [cit. 2019 - 04-01.]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-ozime-repy-na-podzim>>.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., Vašák O. Význam bóru ve výživě rostlin [online]. *Agromanuál*. 8.10.2016. [cit. 2019 - 04-01.]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyznam-boru-ve-vyzive-rostlin>>.

Černý J., Kovářík J., Kulhánek M., Balík J. 2015 (b): Hnojení řepky na podzim. *Agromanuál*, ročník 10., č.7, Kurent s.r.o. České Budějovice, 56 – 58 s.

Diepenbrock W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Field Crops Research*, 67(1), 35-49.

Gransee A., Führs H. 2012. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*. Volume 368. Number 1 - 2. 5.

Havlin J., Beaton J., Tisdale S., Nelson W. R. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey. 505 - 530 p. ISBN 978-0130278141.

Holtan H., Kamp-Nielsen L., Stuanes O. A. 1988. Phosphorus in soil, water and sediment: an over. *Hydrobiologia*. 170: 19 - 34.

Hůla J., et al. 2010. Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. Uplatněná certifikovaná metodika. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha Ruzyně. 9 - 31 s. ISBN 978-80-86884-53-0.

Hůla J., et al. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha. 29 s, 69 s, 132 s. ISBN 978-80-86726-28-1.

Janssen B. H. 2011. Simple models and concepts as tools for the study of sustained soil productivity in long-term experiments. II. Crop nutrient equivalents, balanced supplies of available nutrients, and NPK triangles. *Plant and soil*, 339(1-2), 17-33.

Javůrek M., Vach M. 2008. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. *Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyně*. 6 - 17 s. ISBN 978-80-87011-57-7.

Klír J., Kunzová E., Čermák P. 2008. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. *Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.* 6 - 18 s. ISBN 978-80-87011-61-4.

Kovaříček P., Hůla J., Abrham Z., Vlášková M. 2014. Systém hospodaření s cílem omezit nežádoucí zhutnění půdy a zvýšit propustnost půdy pro vodu. Uplatněná certifikovaná metodika. *Výzkumný ústav Praha Ruzyně, v.v.i.* 6 - 12 s. ISBN 978-80-86884-78-3.

Kubát J. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.* 34 - 36 s. ISBN 978-80-87011-65-2.

Kulhánek M., Balík J., Vaněk V., Pavlíková D., Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. *Certifikovaná metodika. Powerprint. Praha ČZU*. 4 - 22 s. ISBN 978-80-213-2376-6.

Kunzová E. 2010. Výživa rostlin a hnojení draslíkem. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyně*. 6, 7, 12 s. ISBN 978-80-7427-066-6.

Landers A. 2000. *Farm Machinery: Selection, Investment and Management*. Farming Press. 32, 45, 89 - 100 p. ISBN 0852365403, 9780852365403.

Leggett J. E., Epstein E. 1956. Kinetics of sulfate adsorption by barley roots. *Plant Physiology*, 31. 222-227.

Lhotský J. 2000. Zhutňování půd a opatření proti němu. *Rostlinná výroba. ÚZPI. Praha*, č. 7. 63 s.

Li Y. X., Tullberg J. N., Freebairn D. M., Ciesolka C. A. 2004. Effect of controlled traffic and conservation tillage on runoff and crop yield. Paper no. 041071 ASAE, St Joseph. MI. USA.

Lickfett T., Mathaus B., Velasco L., Mollers C. 1999. Seed yield, oil and phytate concentration in the seeds of two oilseed rape cultivars as affected by different phosphorus supply. *European Journal of Agronomy* 11. 239 - 299.

Liu B., Ren T., Lum J., Li X., Cong R., Wu L. 2017. On-Farm Trials of Site-Specific N Management for Maximum Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Yield, *Journal of Plant Nutrition*. 40(9), 1300-1311.

Lukas V., Neudert L., Křen J. 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství. *Metodika pro praxi*. Mendelova univerzita v Brně. 8 s, 11 s. ISBN 978-80-7375-562-1.

Marschner H. 2003. *Mineral Nutrition Of Higher Plants*. Academic Press. London. 888 - 889. p. ISBN 978-0124735422.

Matula J. 2007 (a). Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. *Metodika pro praxi*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyně. 9 s, 15 - 19 s, 24 - 43 s. ISBN 978-80-87011-16-4.

Matula J. 2007 (b). Výživa a hnojení sírou. *Metodika pro praxi*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyně. 7 s, 17 s, 33 s. ISBN 978-80-87011-15-7.

Merbach W., Herbst F., Eißner H., Schmidt L., Deubel A. 2013. Influence of different long-term mineral-organic fertilization on yield, nutrient balance and soil C and N contents of a sandy loess (Haplic Phaeozem) in middle Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(8), 1059-1071.

Mikanová O., Šimon T. 2013. Alternativní výživa rostlin dusíkem. *Metodika pro praxi*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyně. 3 - 6 s. ISBN 978-80-7427-143-4.

Pavlíková D., Pavlík M., Balík J. 2008. The effect of ammonium nitrogen on plant metabolism. *Agrochimica*. Volume XII. (48).

Pedersen C. A., Knudsen L., Schnug E. 1998. Sulphur fertilization. *Sulphur in Agroecosystems* Kluwer Academic Publishers. 110 - 135 p. ISBN 0792351231.

Rathke G. W., Behrens T., Diepenbrock W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Agriculture, ecosystems and environment*, 117(2-3), 80-108.

Richter R., Hřivna L. 2001. Výživa a hnojení ozimé řepky. SPZO Praha, 6 - 38 s. ISBN 80-238-8096-9.

- Růžek P., Kusá H., Vavera R. 2016. Efektivnost hnojení řepky dusíkem v ročníku 2015 -16. 33. vyhodnocovací seminář Systém výroby řepky, Systém výroby slunečnice. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejin, SPZO s.r.o., Praha. 185 - 191 s. ISBN 978-80-87065-69-3.
- Růžek P., Kusá H., Vavera R. 2017. Hnojení ozimé řepky před setím a během podzimního růstu. Výzkumný ústav Praha, v.v.i. Úroda, ročník 65, č. 8. 72 - 75 s.
- Senbayram M., Gransee A., Wahle V., Thiel H. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: Plant-soil continuum. Crop and Pasture Science. 66. 1219-1229. 10.1071/CP15104.
- Scherer H. W. 2001. Sulphur in crop production – invited paper. European Journal of Agronomy, 14: 81-111.
- Su W., Liu B., Liu X., Li X., Ren T., Cong R., Lu, J. 2015. Effect of depth of fertilizer banded-placement on growth, nutrient uptake and yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). European Journal of Agronomy, 62, 38-45.
- Szczepaniak W., Grzebisz W., Potarzycki J., Łukowiak R., Przygocka-Cyna K. 2015. Nutritional status of winter oilseed rape in cardinal stages of growth as the yield indicator. Department of Agriculture Chemistry and Environmental Biogeochemistry, University Of Life Sciences. Poznan, Poland. Vol. 61, no. 7: 291 - 296.
- Tullberg J. N. 2000. Wheel Traffic Effects on Tillage Draught. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol. 75, no. 4, 375-382.
- Vach M., Javůrek M. 2008. Rostlinná produkce s ohledem na agroekologická hlediska. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyně. 10 - 18 s. ISBN 978-80-87011-58-4.
- Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Pavlíková D., Tlustoš P., Valtera P. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 158 - 170 s. ISBN 978-80-200-2147-2.
- Vaněk V., Balík J., Pavlík M., Pavlíková D., Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press. Praha. 60 - 97 s, 128 - 135 s, 187 s. ISBN 978-80-86726-79-3.
- Weymann W., Böttcher U., Sieling K., Kage H. 2015. Effects of weather conditions during different growth phases on yield formation of winter oilseed rape. Field Crops Research, 173, 41-48.
- White J. P., Broadley M. R. 2003. Calcium in plants. Annals of botany. Vol. 92. 487-511.

Yang M., Shi L., Xu F. S., Lu J. W., Wang Y. H. 2009. Effects of B, Mo, Zn, and Their Interactions on Seed Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.). Soil Science Society of China. *Pedosphere*, 19(1): 53 - 59. ISSN 1002-0160.

Zehnálek J., Adam V., Kizek R. 2006. Asimilace dusičnanového, amonného a amidického dusíku u zemědělských plodin. *Chemické listy* 100. 508 - 514.

Zelený F., Zelená E. 1996. Síra a její potřeba pro výživu rostlin. *ÚZPI, MZE ČR*. 40 - 42 s.

Zhang Z., Lu J., Cong R., Ren T., Li X. (2017). Evaluating agroclimatic constraints and yield gaps for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)—A case study. *Scientific reports*, 7(1), 7852.

9 Přílohy

Seznam tabulek

Tab. 1: Agrochemické vlastnosti půd hodnocených půdních bloků

Tab. 2: Hodnocení variačního koeficientu

Tab. 3: Poměr kationtů K:Mg a KVK

Tab. 4: Termín setí, výsevek a odrůda v roce 2015

Tab. 5: Termín setí, výsevek a odrůda v roce 2016

Tab. 6: Termín setí, výsevek a odrůda v roce 2017

Tab. 7: Termín setí, výsevek a odrůda v roce 2017

Tab. 8: Faktor produktivity aplikovaného dusíku

Tab. 9: Výsledky penetrometrického měření v roce 2017

Tab. 10: Průměrné teploty a srážky

Tab. 1: Agrochemické vlastnosti půd hodnocených půdních bloků (pH CaCl_2 , obsah přístupných živin Mehlich 3, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Vysvětlivky:					
2015, 2016, 2017, 2018,					
Číslo půdního bloku: 1		Výměra: 19,41 ha		Počet vzorků: 2	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,6	117	209	148	1980
	6,9	69	398	180	3390
Průměr	6,3	93	304	164	2685
Variační koef.	15	36	44	14	37
Hodnocení	SlaK	D	D	D	D
Vyrovnanost	S. nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.
Číslo půdního bloku: 2		Výměra: 59,12 ha		Počet vzorků: 2	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,3	113	202	183	4210
	7,2	153	189	201	3989
Průměr	6,8	133	196	192	4100
Variační koef.	9	21	5	7	4
Hodnocení	N	V	D	D	V
Vyrovnanost	Nevyr.	Nevyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 3		Výměra: 71,89 ha		Počet vzorků: 7	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,8	51	483	218	2230
	6,3	33	187	99	1230
	6,5	72	309	121	1560
	6,6	53	506	189	1930
	6,8	51	475	213	2220
	6,7	42	530	200	1960
Průměr	6,6	50	415	173	1855
Variační koef.	3	26	33	29	21
Hodnocení	N	N	V	D	VH
Vyrovnanost	Vyr.	Nevyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 4		Výměra: 4,34 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,5	46	100	99	1658
Hodnocení	K	N	N	N	N
Číslo půdního bloku: 5		Výměra: 10,17 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,9	61	285	234	1940
Hodnocení	N	VH	D	D	VH

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 6		Výměra: 11,10 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,0	62	77	90	1005
Hodnocení	Slak	VH	N	N	N
Číslo půdního bloku: 7		Výměra: 62,46 ha		Počet vzorků: 7	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,2	32	223	231	2360
	5,8	92	219	142	1470
	5,8	47	374	193	2270
	6,8	78	188	289	2660
	7,0	150	452	220	4020
	6,3	35	377	189	3330
	6,0	78	474	172	2580
Průměr	6,1	73	330	205	2670
Variační koef.	10	56	36	23	30
Hodnocení	Slak	VH	V	D	D
Vyrovnanost	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 8		Výměra: 28,96 ha		Počet vzorků: 3	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,7	159	358	194	2410
	5,5	277	450	176	2830
	6,0	68	342	121	1920
Průměr	6,1	168	383	164	2387
Variační koef.	10	62	15	23	19

Tab. 1: Pokračování

Hodnocení	Slak	V	V	D	D
Vyrovnanost	Nevyr.	S.	Vyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 9		Výměra: 15,41 ha		Počet vzorků: 2	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,7	75	176	160	2300
	7,0	89	150	140	3140
Průměr	6,9	82	163	150	2720
Variační koef.	3	12	11	9	22
Hodnocení	N	D	VH	VH	D
Vyrovnanost	Vyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.	Nevyr.
Číslo půdního bloku: 10		Výměra: 22,21 ha		Počet vzorků: 2	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	7,2	565	465	197	6070
	7,3	102	369	196	7490
Průměr	7,3	334	412	197	6780
Variační koef.	1	98	15	1	15
Hodnocení	A	VV	V	D	VV
Vyrovnanost	Vyr.	S.	Vyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 11		Výměra: 5,39 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,5	43	210	240	2330
Hodnocení	K	N	D	D	D

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 12		Výměra: 35,30 ha		Počet vzorků: 4	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,2	120	275	176	2030
	6,0	164	301	159	1440
	6,1	195	308	139	1720
	5,2	167	337	161	1740
Průměr	5,6	162	305	159	1733
Variační koef.	9	19	25	10	14
Hodnocení	SlaK	V	D	VH	VH
Vyrovnanost	Nevyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 13		Výměra: 23,21 ha		Počet vzorků: 3	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,1	108	213	143	2270
	7,3	258	349	169	5590
	7,3	307	345	178	5620
Průměr	6,9	224	302	163	4493
Variační koef.	10	46	26	11	43
Hodnocení	N	VV	D	D	V
Vyrovnanost	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Vyr.	Nevyr.
Číslo půdního bloku: 14		Výměra: 33,84 ha		Počet vzorků: 3	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,8	169	328	169	2430
	5,8	34	302	175	2150
	6,2	80	192	118	2160
Průměr	5,9	94	274	154	2247
Variační koef.	4	73	26	20	7

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 14		Výměra: 33,84 ha		Počet vzorků: 3	
Hodnocení	Slak	D	D	VH	D
Vyrovnanost	Vyr.	S.	Vyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 15		Výměra: 10,33 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,7	55	360	231	2370
Hodnocení	Slak	VH	V	D	D
Číslo půdního bloku: 16		Výměra: 33,44 ha		Počet vzorků: 5	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	7,2	225	394	170	5930
	5,3	166	308	108	1960
	6,3	61	389	169	2500
	6,3	22	307	139	2320
	6,5	74	222	224	2640
Průměr	6,3	110	324	162	3070
Variační koef.	11	76	22	27	53
Hodnocení	Slak	D	V	D	D
Vyrovnanost	Nevyr.	S.	Vyr.	Vyr.	Nevyr.
Číslo půdního bloku: 17		Výměra: 15,87 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	7,3	100	215	159	6930
Hodnocení	A	D	D	VH	VV

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 18		Výměra: 11,07 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,6	53	394	172	2140
Hodnocení	SlaK	VH	V	D	D
Číslo půdního bloku: 19		Výměra: 84,05 ha		Počet vzorků: 10	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,6	35	375	140	1870
	6,5	121	410	209	2320
	6,5	149	554	234	2300
	5,4	94	395	129	1450
	7,2	484	594	212	4580
	5,6	84	468	200	2410
	6,0	447	457	192	3500
	6,5	159	376	224	2470
	6,2	501	475	190	4010
	7,2	228	595	189	4550
Průměr	6,3	231	470	192	2946
Variační koef.	10	77	18	18	38
Hodnocení	SlaK	VV	VV	D	D
Vyrovnanost	Nevyr.	S.	Vyr.	Vyr.	Nevyr.

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 20		Výměra: 5,39 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,6	40	210	244	2330
Hodnocení	SlaK	N	D	D	D
Číslo půdního bloku: 21		Výměra: 26,07 ha		Počet vzorků: 2	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,8	116	170	158	3320
	6,6	105	210	170	4125
Průměr	6,7	111	190	164	3723
Variační koef.	2	7	15	5	15
Hodnocení	N	D	D	D	V
Vyrovnanost	Vyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.	Vyr.
Číslo půdního bloku: 22		Výměra: 10,55 ha		Počet vzorků: 2	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	5,9	166	323	182	1900
	6,7	80	174	275	2590
Průměr	6,3	123	249	229	2245
Variační koef.	9	49	42	29	22
Hodnocení	SlaK	V	D	D	D
Vyrovnanost	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.

Tab. 1: Pokračování

Číslo půdního bloku: 23		Výměra: 10,17 ha		Počet vzorků: 1	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	6,7	85	241	194	2130
Hodnocení	N	D	D	D	D
Číslo půdního bloku: 24		Výměra: 61,68 ha		Počet vzorků: 6	
Agrochemický parametr	pH	P	K	Mg	Ca
Hodnoty jednotlivých vzorků	7,2	41	247	146	3000
	6,4	33	322	257	2800
	6,8	67	302	253	2010
	6,5	52	226	199	2560
	5,5	30	79	88	719
	6,0	15	242	114	1180
Průměr	6,4	75	236	176	2045
Variační koef.	9	45	36	41	45
Hodnocení	SlaK	VH	D	D	D
Vyrovnanost	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.	Nevyr.

Tab. 2: Hodnocení variačního koeficientu

Výměra (ha)	Variační koeficient (%)					
	Vyrovnaný		Nevyrovnaný		Silně nevyrovnaný	
	pH	P, K, Mg, Ca	pH	P, K, Mg, Ca	pH	P, K, Mg, Ca
Do 20	do 5	do 20	6 - 12	21 - 50	nad 12	nad 50
21,1 - 30	do 6	do 25	7 - 15	26 - 60	nad 15	nad 60
Nad 30	do 7	do 30	8 - 20	31 - 65	nad 20	nad 65

Tab. 3: Poměr kationtů K : Mg a hodnoty KVK

Rok	Číslo p. bloku	K : Mg	KVK (mmol.kg ⁻¹)
2015	1	1,85	156
	2	1,02	-
	3	2,39	118; 84
	4	1,01	
	5	1,21	128; 96
	6	0,85	-
2016	7	1,61	159
	8	2,33	143
	9	1,08	141
	10	2,09	-
	11	0,87	-
	12	1,91	136; 108
2017	13	1,85	246
	14	1,78	131
	15	1,55	147
	16	2	100; 175
	17	1,35	-
	18	2,29	131
2018	19	2,44	175
	20	0,86	-
	21	1,15	-
	22	1,08	138
	23	1,24	124; 78
	24	1,34	132

Tab. 3: Pokračování

Hodnocení poměru K:Mg		
Poměr	K:Mg	Hodnocení
D (dobrý)	do 1,6	Nelze očekávat problémy s výživou Mg.
VH (vyhovující)	1,6 – 3,2	Ke hnojení K je třeba přistupovat opatrně, problémy se mohou vyskytnout u krmných plodin.
NVH (nevyhovující)	nad 3,2	Špatný poměr, který způsobuje nadměrný příjem K. Draselné hnojení je třeba vypustit.
Hodnocení KVK (mmol.kg⁻¹)		
Nízká		> 120
Střední		120 - 180
Vysoká		< 180

Tab. 4: Výnos, termín setí, výsevek a předplodina v roce 2015

Lokalita	Výnos (t.ha⁻¹)	Setí	Výsevek (kg.ha⁻¹)	Odrůda	Předplodina
1	2,91	21.8.2014	3,42	Rohan (H)	Pšenice o.
2	3,53	25.8.2014	3,99	Arot (L)	Pšenice o.
3	3,6	21.8.2014	2,6	DK Exquisite (H)	Pšenice o.
4	1,36	21.8.2014	3,4	Rohan (H)	Ječmen o.
5	3,82	10.8.2014	2,6	DK Exquisite (H)	Ječmen o.
6	3,78	9.8.2014	2,6	DK Exquisite (H)	Ječmen o.

Tab. 5: Výnos, termín setí, výsevek a předplodina v roce 2016

Lokalita	Výnos (t.ha ⁻¹)	Setí	Výsevek (kg.ha ⁻¹)	Odrůda	Předplodina
7	3,93	13.8.2015	3	Marathon (H)	Pšenice o.
8	4,18	3.8.2015	5,10	Exstorm (H)	Ječmen o.
9	4,14	4.8.2015	3	Marathon (H)	Ječmen o.
10	3,99	15.8.2015	2,9	Marathon (H)	Pšenice o.
11	4,13	24.8.2015	2	Explicit (H)	Pšenice o.
12	3,61	28.8.2015	1,9	Explicit (H)	Pšenice o.

Tab. 6: Výnos, termín setí, výsevek a předplodina v roce 2017

Lokalita	Výnos (t.ha ⁻¹)	Setí	Výsevek (kg.ha ⁻¹)	Odrůda	Předplodina
13	2,65	4.8.2016	4,3	Marathon (H)	Ječmen o.
14	3,5	4.8.2016	4,3	Marathon (H)	Ječmen o.
15	2,69	16.8.2016	2,19	Exstorm (H)	Pšenice o.
16	2,28	15.8.2016	3,70	Marathon (H)	Pšenice o.
17	1,44	17.8.2016	2,13	Explicit (H)	Pšenice o.
18	3,16	16.8.2016	2,5	Exception (H)	Pšenice o.

Tab. 7: Výnos, termín setí, výsevek a předplodina v roce 2018

Lokalita	Výnos (t.ha ⁻¹)	Setí	Výsevek (kg.ha ⁻¹)	Odrůda	Předplodina
19	3,84	4.8.2017	2,6	Exception (H)	Pšenice o
20	3,56	3.8.2017	3,5	Exstorm (H)	Ječmen o.
21	3,9	15.8.2017	2,6	Arsenal (H)	Pšenice o

Tab. 7: Pokračování

Lokalita	Výnos (t.ha ⁻¹)	Setí	Výsevek (kg.ha ⁻¹)	Odrůda	Předplodina
23	3,8	8.8.2017	3,23	Marathon (H)	Pšenice o
24	4,26	8.8.2017	3,22	Marathon (H)	Pšenice o

Tab. 8: Faktor produktivity aplikovaného dusíku

Rok	Půdní blok	Výnos (t.ha ⁻¹)	Dávka (kg č.ž. N.ha ⁻¹)	PPF-N (kg.kg ⁻¹)
2015	1	2,91	176	16,53
	2	3,53	176	20,05
	3	3,6	176	20,45
	4	1,36	176	7,72
	5	3,82	176	21,70
	6	3,78	176	21,47
2016	7	3,93	240	16,37
	8	4,18	189	22,11
	9	4,14	189	21,90
	10	3,99	240	16,62
	11	4,13	228	18,11
	12	3,61	189	19,10
2017	13	2,65	187	14,17
	14	3,5	229	15,28
	15	2,69	229	11,74
	16	2,28	229	9,95
	17	1,44	226	6,37
	18	3,16	204	15,49

Tab. 8: Pokračování

Rok	Půdní blok	Výnos (t.ha ⁻¹)	Dávka (kg č.ž. N.ha ⁻¹)	PFP-N (kg.kg ⁻¹)
2018	19	3,84	220	17,45
	20	3,56	200	17,8
	21	3,9	225	17,33
	22	3,9	225	17,33
	23	3,8	220	17,27
	24	4,26	237	17,97

Tab. 9: Výsledky penetrometrického měření v roce 2017

č. p. b.	Výměra (ha)	Počet měření a naměřené hodnoty (cm : MPa)							
		1.S	2.S	3.S	4.	5.	6.	7.	8.
1	19,3	44 4,1	24 6,0	32 6,3	36 5,1	36 5,6	32 3,3	36 3,7	32 5,7
2	53,91	32 6,8	32 6,0	32 6,3	32 6,2	32 5,0	40 6,7	36 6,5	36 6,0
3	71,56	36 2,3	32 3,9	28 3,4	28 6,8	40 5,4	44 4,5	44 4,6	36 5,4
4	4,34	28 6,7	32 5,9	28 5,6	32 5,5	32 5,6	48 5,7	24 5,8	40 6,0
5	10,17	Měření neprováděno							
6	11,10	Měření neprováděno							
7	62,46	Měření neprováděno							
8	28,96	32 4,8	25 4,0	40 3,6	52 4,5	40 4,9	40 4,6	40 4,8	40 4,9
9	17,52	25 3,0	32 5,8	32 2,4	30 3,0	30 3,8	35 2,5	30 2,5	32 5,3
10	21,84	40 6,4	40 5,4	30 5,2	36 2,0	40 3,9	40 2,9	36 4,5	36 4,5
11	5,39	28 6,2	40 5,2	32 3,5	36 4,1	28 5,6	36 5,8	40 4,9	40 3,8
12	25,3	Měření neprováděno							
13	23,21	Měření neprováděno							
14	33,97	16 5,7	16 4,0	20 5,0	36 4,7	25 6,0	28 5,0	36 2,4	36 4,8
15	10,33	24 7,1	20 6,6	16 6,0	28 4,8	20 7,5	36 6,7	16 5,9	20 6,4

Tab. 9: Pokračování

16	53,44	28 7,3	28 4,0	36 6,3	30 5,5	32 6,9	30 5,1	28 4,5	28 4,3
17	15,87	Měření neprováděno							
18	11,07	Měření neprováděno							
19	84,05	Měření neprováděno							
20	5,39	Měření neprováděno							
21	26,07	28 5,5	24 6,5	24 4,8	32 7,2	36 5,8	32 6,0	28 6,1	32 5,6
22	10,55	20 6,3	20 7,0	20 7,2	28 7,4	28 6,1	20 7,1	28 7,9	28 6,3
23	10,17	Měření neprováděno							
24	61,68	Měření neprováděno							

Tab. 10: Průměrné teploty a srážky

Ročník	Období	T °C	Období	Úhrn srážek (mm)
2014/2015	Srpen - červen	8,2	Srpen - červen	414
	Srpen - prosinec	9,54	Srpen - prosinec	246
	Březen - červen	10,22	Březen - červen	156
2015/2016	Srpen - červen	8,67	Srpen - červen	287,4
	Srpen - prosinec	10,48	Srpen - prosinec	184,6
	Březen - červen	10,25	Březen - červen	161
2016/2017	Srpen - červen	7,7	Srpen - červen	384,9
	Srpen - prosinec	8,82	Srpen - prosinec	190,6
	Březen - červen	11,3	Březen - červen	170
2017/2018	Srpen - červen	8,58	Srpen - červen	474,7
	Srpen - prosinec	9,16	Srpen - prosinec	193,3
	Březen - červen	12,27	Březen - červen	258