

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Variabilita pozemku a její vliv na vývoj porostů ozimé pšenice

Bakalářská práce

Martin Bureš

Rostlinná produkce

Doc. Ing. Václav Brant, Ph. D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Variabilita pozemku a její vliv na vývoj porostů ozimé pšenice jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26.4

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Václavu Brantovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za pomoc a cenné rady při řešení této práce a pomoc se statistickým vyhodnocení dat. Děkuji panu Ing. Josefu Chárovi za poskytnutí pokusné plochy a pomoc při tvorbě bakalářské práce, dále pak panu Bc. Josefu Pekařovi za pomoc při odběru vzorků a vyhodnocení výsledku práce.

Variabilita pozemku a její vliv na vývoj porostů ozimé pšenice

Souhrn

Cílem bakalářské práce bylo v literární rešerši specifikovat problematiku variability pozemku ve vztahu k výnosovým parametrům ozimé pšenice a v rámci experimentální části práce ověřit vliv zón výnosových potenciálů na produkci nadzemní biomasy pšenice ozimé a na výnos zrna. Přesný polní experiment proběhl na pozemku společnosti Statek Chyšé s.r.o. ve vegetační sezóně 2022/23. Pozemek o výměře 22,27 ha byl oset pšenicí ozimou. Na základě dlouhodobého potenciálu výnosu byla parcela rozdělena do čtyř produkčních zón, přičemž každá zóna odpovídá určité úrovni produkce. V průběhu experimentu byly odebrány vzorky nadzemní biomasy pšenice ozimé z každé produkční zóny. Následně byla provedena analýza těchto vzorků k určení produkce suché nadzemní biomasy pšenice v jednotlivých zónách, vyjádřené v tunách na hektar. Při posledním odběru byl proveden výpočet výnosových parametrů a kvalitativních parametrů zrna.

Výsledky práce prokázaly korelaci mezi výnosovými potenciály a produkcí nadzemní biomasy. Zóna s nejmenším produkčním potenciálem měla nízký počet odnoží a nízkou HTS což zapříčinilo, že zóna s nejmenším produkčním potenciálem prokázala nejmenší produkci, produkce nadzemní biomasy na této zóně byla 15,414 t/ha, výnos zrna byl 8,316 t/ha. Na zóně s největším produkčním potenciálem byla nejvyšší produkce, a to zejména díky velkému počtu odnoží a vysoké hodnoty HTS, nadzemní biomasy bylo vyprodukováno 19,777 t/ha a výnos zrna byl 11,399 t/ha.

Klíčová slova: produkční zóny, monitoring pozemků, precizní zemědělství, variabilita pozemku, produkce biomasy

Plot variability and its influence on the development of winter wheat stands

Summary

Summary The aim of the bachelor's thesis was to specify, through a literature review, the issue of land variability in relation to yield parameters of winter wheat, and within the experimental part, to verify the influence of yield potential zones on aboveground biomass production of winter wheat and grain yield. The precise field experiment took place on the land of the company Statek Chyšé s.r.o. during the vegetation season of 2022/23. The land, covering an area of 22.27 hectares, was sown with winter wheat. Based on the long-term yield potential, the plot was divided into four production zones, with each zone corresponding to a certain level of production. During the experiment, samples of aboveground biomass of winter wheat were taken from each production zone. Subsequently, an analysis of these samples was conducted to determine the production of dry aboveground biomass of wheat in individual zones, expressed in tons per hectare. During the final sampling, yield parameters and grain quality parameters were calculated.

The results of the study demonstrated a correlation between yield potentials and aboveground biomass production. The zone with the lowest production potential had a low number of tillers and a low thousand seed weight, resulting in the lowest production. The production of aboveground biomass in this zone was 15.414 t/ha, with a grain yield of 8.316 t/ha. The zone with the highest production potential had the highest production, mainly due to a large number of tillers and high thousand seed weight values. Aboveground biomass production was 19.777 t/ha, with a grain yield of 11.399 t/ha.

Keywords: production zones, land monitoring, precision agriculture, land variability, biomass production

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Pěstování ozimé pšenice	3
3.1.1	Botanické vlastnosti	3
3.1.2	Hospodářský význam	5
3.1.3	Základní agrotechnika	7
3.2	Variabilita pozemku	13
3.2.1	Půdní blok a jeho variabilita	13
3.2.2	Variabilita půdních vlastností	16
3.3	Vegetační indexy v zemědělství.....	22
4	Metodika.....	24
4.1	Charakteristika stanoviště	24
4.1.1	Charakteristika půdního bloku	24
4.1.2	Počasí.....	25
4.1.3	Agrotechnika.....	26
4.1.4	Produkční zóny pozemku	28
4.2	Odběry biomasy.....	29
4.2.1	Místa odběru	29
4.2.2	Termíny odběru.....	29
4.2.3	Zpracování hodnot nadzemní biomasy.....	29
4.2.4	Hodnocení sklizňových parametrů.....	30
5	Výsledky.....	31
5.1	Hodnocení počtu rostlin a biometrických parametrů rostlin	31
5.2	Hodnocení dynamiky produkce suché nadzemní biomasy	32
5.3	Hodnocení výnosových parametrů	33
5.4	Hodnocení kvalitativních parametrů zrna před sklizní	34
6	Diskuze.....	35
7	Závěr	36
8	Literatura.....	37

1 Úvod

V dnešní době čelí zemědělský sektor rostoucím výzvám v oblasti zajištění potravinové bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Pro splnění těchto požadavků je nezbytné využívat moderní technologie vedle tradičních zemědělských metod. Tyto technologie mají za cíl zvýšit efektivitu práce, snížit energetickou náročnost a minimalizovat negativní dopady na životní prostředí.

Variabilita pozemku, která zahrnuje různé fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících vývoj a výnosnost porostů plodin. Tyto vlastnosti mohou v různých částech pole kolísat v závislosti na historii managementu, přírodních procesech a mikroklimatických podmínkách.

Rostliny reagují na různé faktory půdy různými způsoby, což má důsledky pro jejich růst, výnosy a kvalitu. Například nerovnoměrná distribuce živin v půdě může vést k nerovnoměrnému růstu rostlin a výskytu chorob či škůdců. Změny v obsahu vody v půdě způsobené její variabilitou mohou ovlivnit fotosyntézu, transpiraci a další fyziologické procesy rostlin.

Řešení této problematiky je klíčové pro optimalizaci agronomických postupů a zlepšení udržitelnosti produkčních systémů. Zahrnuje to vhodný výběr odrůd pšenice, aplikaci hnojiv a pesticidů, a implementaci precizního zemědělství.

Prokázání korelací mezi hodnotami produkcí nadzemní biomasy a výnosem ozimé pšenice by přispělo k optimalizaci výživy porostů a tím dosažení kvalitnější produkce a efektivního použití vstupů.

Za účelem potvrzení pozitivního vztahu mezi produkčními zónami výnosového potenciálu a produkcí nadzemní biomasy je předkládána tato bakalářská práce

2 Cíl práce

Cílem práce je posoudit vliv rozdílných výnosových potenciálů na výnos ozimé pšenice. V rámci práce budou řešeny dva dílčí cíle:

1. Vypracování literární rešerše na problematiku variability pozemku ve vztahu k výnosovým parametrům ozimé pšenice.
2. Na základě polních experimentů ověřit vliv zón výnosových potenciálů na produkci nadzemní biomasy pšenice ozimé a na výnos zrna.

Druhý dílčí cíl vychází z následující hypotézy:

H1: Mezi výnosovými potenciály a produkcí nadzemní biomasy je pozitivní závislost.

3 Literární rešerše

3.1 Pěstování ozimé pšenice

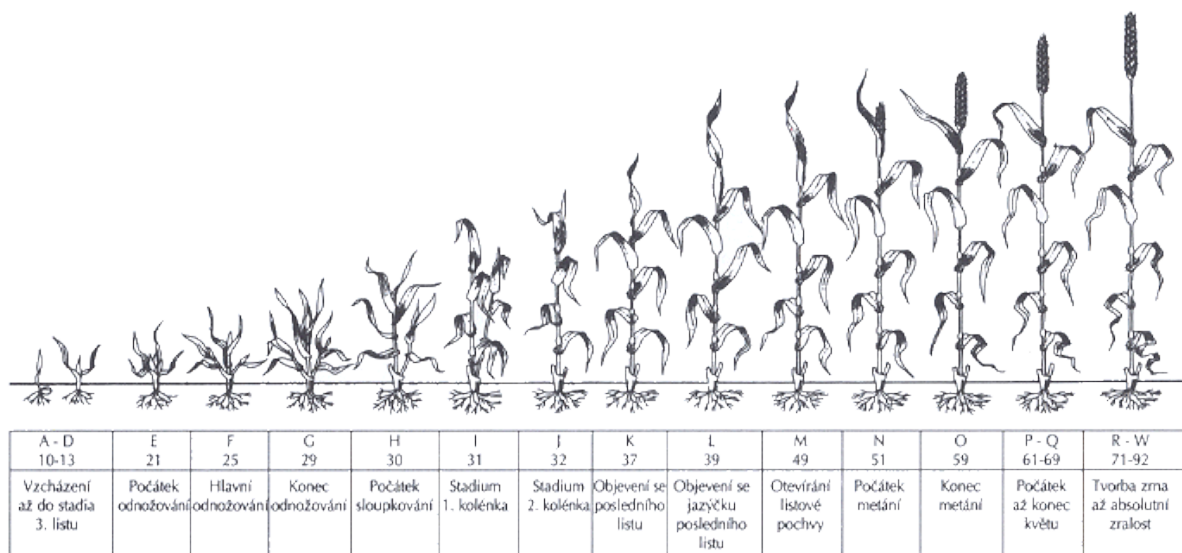
3.1.1 Botanické vlastnosti

Pšenice ozimá (*Triticum aestivum* L.) je obilnina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Stéblo pšenice je duté, tenkostěnné, obvykle tvořené 5 články oddělenými kolénky. Listy pšenice jsou čárkovité, ploché, bez řapíků. Na kraji listové pochvy a čepele se nachází krátký vroubkovaný jazýček. Plodem pšenice je obilka (Zimolka et al. 2005). Rostlina se skládá ze zárodku, kořene, listu, stébla, klasu, květu a obilky (Foltýn, 1970).

3.1.1.1 Růst a vývoj ozimé pšenice

Pšenice během svého životního cyklu prochází růstem a vývojem. Vývoj pšenice začíná nabobtnáním a vyklíčením obilky a končí vytvořením nové obilky. Za růstové změny považujeme kvantitativní přírůstky organické hmoty (růst a diferenciaci buněk, pletiv), tvorbu rostlinných orgánů a jejich prostorové uspořádání na rostlině. Vývoj rostlin se dělí na dvě základní fáze vegetativní a generativní. Do vegetativní fáze patří klíčení, vzcházení a odnožování. Do generativní fáze patří sloupkování, metání, kvetení a zrání. Tyto růstové fáze lze přesně definovat pomocí stupnic (obr. 1). Pomocí těchto stupnic můžeme zaznamenávat momentální stav rostlin v porostech a určovat vhodné agrotechnické zásahy (Zimolka et al. 2005).

Zkratka BBCH (**B**iologische **B**undesanstalt, **B**undessortenamt and **C**hemical **i**ndustry) označuje mezinárodně používanou stupnici vývojových a růstových stádií rostlin (fenologických fází, fenofází). Stupnice fenologických fází se používají pro stanovení přesných termínů aplikace hnojiv a postřiků k ochraně rostlin. Nejstarší stupnicí je Feekesova fenologická stupnice, která rozlišuje 11 fází. Nejširší mezinárodní uplatnění má decimální Zadoksova stupnice, označovaná zkratkou DC. Stupnice BBCH je stupnice používaná především v EU. Vychází ze Zadoxovy stupnice. Tvoří ji dvoumístné číselné kódy od 00 do 99, které označují vývojové a růstové fáze příslušných plodin nebo druhů. Dvoučíselné kódy jsou rozděleny do několika skupin a podskupin (Parkavová 2019).



Obr. 1: Fenologická stupnice BBCH pro pšenici (Neudert & Smutný 2003)

3.1.1.2 Faktory ovlivňující růst a vývoj ozimé pšenice

3.1.1.2.1 Klimatické podmínky:

Pšenice setá patří mezi nejnáročnější obilniny. Je hlavní plodinou teplejších a sušších oblastí. Při porovnání s ostatními obilními druhy v ekologickém zemědělství, reaguje pšenice na příznivé podmínky prostředí vysokým výnosem. Pro tvorbu výnosových prvků je důležitý průběh počasí v době intenzivního růstu (sloupkování), při tvorbě klasu a zrna. Chladnější počasí s častými dešťovými přeháňkami v uvedených fázích podporuje vyšší úroveň tvorby prvků produktivity klasu (Konvalina & Moudrý 2008).

3.1.1.2.2 Půdní podmínky:

Pšenice je poměrně náročná na půdní podmínky. Pro pěstování jsou vhodné střední a těžší půdy, to znamená půdy písčitohlinité, hlinité, jílovitohlinité, půdy s neutrální až slabě kyselou půdní reakcí (pH 6,2 - 7,0). Naopak nevhodné jsou půdy lehké, písčité, kyselé a trvale zamokřené (Faměra 1993). Výnos pšenice je ovlivněn stanovištěm a půdním i podmínkami asi z 25 % (Zimolka 2005).

3.1.1.2.3 Výběr Odrůdy

Při výběru vhodné odrůdy je důležité využít poznatků nejbližších odrůdových zkušeben nebo dobrých ekologických pěstitelů hospodařících v obdobných podmínkách, jako jsou naše. Přednost mají odrůdy s vysokou hmotností tisíce zrn nebo celkovou hmotností klasu a méně odnožující (Petr & Škeřík 1999). Sortiment odrůd, který je možno u nás pěstovat, je uveden v každoročně vydávané Listině povolených plodin, zelenin, kořeninových a technických rostlin, léčivých rostlin, ovoce a révy vinné (Faměra 1993).

3.1.1.2.4 Agrotechnika

Musí být přizpůsobena podmínkám stanoviště (půdní druh, půdní typ, zásobenost půdy živinami, expozice pozemku atd.), klimatickým podmínkám daného stanoviště (průběh počasí v daném roce, úhrny srážek, délka sněhové pokrývky atd.) a výběru odrůdy (plasticita odrůdy a její vhodnost do daných podmínek, způsob využití produkce atd.) (Homola 2016).

3.1.2 Hospodářský význam

Hospodářský výnos představuje tu část produkce rostlin, kterou využíváme k výživě, krmení, průmyslovému zpracování, k energickým či jiným účelům lidské činnosti. Vztah biologického a hospodářského výnosu může být různý podle podílu hospodářsky využívaných částí z celkové biomasy (Petr & Húska 1997).

Pšenice ozimá je u nás nejrozšířenější plodinou a zaujímá téměř čtvrtinu orné půdy v ČR a polovinu ploch obilnin. Pšenice se pěstuje ve dvou formách – ozimé (94 %) a jarní (6 %). Význam pšenice spočívá v širokém uplatnění pro výživu lidí i hospodářských zvířat. Rozsah pěstování je také dán značnou přizpůsobivostí pšenice různým pěstitelským podmínkám, vysokou výnosností a širokou využitelností zrna (Šroller 1998).

V České republice představuje pšenice velmi významnou plodinu, která se stala jednak modelem ve využívání moderních agrotechnických metod na základě poznatků získaných vědeckým výzkumem, jednak typickou plodinou z hlediska intenzifikace zemědělské výroby (Špaldon 1982). Pro lidskou stravu jsou produkty z pšenice dominující složkou a jejich spotřeba stále roste (Ryant et al. 2017).

Hlavním sklizňovým produktem je zrno, jehož chemické složení kolísá v závislosti na oblasti pěstování, na odrůdě, agrotechnice a průběhu počasí. V době sklizně by se měla pohybovat vlhkost okolo 14 %. (Šroller 1998).

Pšenice je ve většině zemí nejdůležitějším zdrojem sacharidů. Pšeničný škrob je snadno stravitelný, stejně jako většina pšeničných bílkovin. Pšenice obsahuje minerální látky, vitamíny a tuky (lipidy) a s malým množstvím přidaných živočišných nebo luštěninových bílkovin je vysoce výživná. Strava převážně na bázi pšenice má vyšší obsah vlákniny než strava na bázi masa (Johnson et al. 1978).

Výnos pšenice

Hospodářským výnosem se rozumí u obilnin výnos zrna (Diviš et al. 2010). Tvorba výnosu je proces dynamický, kdy se jednotlivé výnosové prvky tvoří postupně v čase a jsou ovlivňovány průběhem počasí, dynamikou uvolňování živin z půdy, škodlivými činiteli i agrotechnickými zásahy. Výnos zrna obilnin je jen částí nadzemní biomasy, ale je zřejmé, že pro vysoký hospodářský výnos je nutná určitá úroveň biologického výnosu, určitý výnos sušiny za předpokladu vhodné dynamiky její tvorby a distribuce. To souvisí s přiměřeným rozvojem asimilačního aparátu i kořenového systému (Petr & Húska 1997). Podle Petra et al. (1998) dosažený hospodářský výnos je založen na stupni souladu produkčních procesů a formování jednotlivých výnosových prvků.

Šnobl & Pulkrábek (2005) uvádějí, že jedna rostlina obilniny může vytvořit jeden nebo více klasů (květenství). Proměnlivý počet zrn v klasech, spolu s různou hmotností obilek, je důsledkem reakce rostlin na vnější podmínky. Výnos obilnin se tvoří velmi dlouho, téměř po celou dobu vegetace. Srovnání výnosové úrovně ozimů a jařin u stejného druhu (pšenice) vychází zpravidla příznivěji pro ozimé formy. Vyplyvá to z lepších vláhových podmínek začátkem jara a delší vegetační doby.

Šroller (1998) uvádí, že výnos zrna obilovin je tvořen třemi základními výnosovými prvky:

1. Počtem klasů na jednotku plochy (např. na m²). Skládá se z počtu rostlin a počtu plodných stébel na rostlině
2. Počet zrn v klasu je tvořen z počtu klásků v klasu a počtu plodných kvítků v klásku.
3. hmotností 1 000 zrn v gramech.

U všech výnosových prvků se na jejich úrovni významně podílí vliv vnějšího prostředí, stanoviště, průběh počasí a agrotechnika.

Jednotlivé výnosové prvky se tvoří postupně a navazují na sebe. Počet plodných stébel a počet zrn v květenství je formován ve třech fázích: 1. základní, 2. maximální úrovně, 3. redukce. Kvantitativní úroveň dříve vytvořeného výnosového prvku může být kompenzována úrovní dalšího výnosového prvku (např. nižší počet klasů – vyšším počtem zrn v klasu). Autoregulace obilnin je schopností rostlin reagovat intenzitou tvorby nebo redukce výnosového prvku na podmínky prostředí. Na základě stavu a vývoje porostu během vegetace je možné podpořit tvorbu nebo omezit redukci výnosového prvku vhodným agrotechnickým zásahem (Šroller 1998).

Pšenice představuje dlouhodobě nejpěstovanější plodinu na našem území. V České republice v roce 2023 byla vyseta pšenice na přibližně 818 tis. ha z toho pšenice ozimá na 779 tis. ha. Průměrný výnos byl 6,46 t/ha v ČR, což je podle tab. 1 nejvíce, za posledních 5 let (Český statistický úřad 2023).

Tab. 1: Historie osevané plochy a výnosů pšenice ozimé v ČR za posledních 5 let (Český statistický úřad 2023)

Ukazatel	MJ	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23
Osevní plocha	tis. ha	814517	774638	709537	801578	778972
výnos	t/ha	5,84	6,2	6,43	6,15	6,46

Významné výnosové prvky obilovin

Počet rostlin a počet klasů na plošné jednotce, který souvisí s výsevkem a stupněm redukce jejich počtu během vegetace. Optimální hustota porostu daná počtem vysívaných klíčivých obilek na jednotku plochy u většiny odrůd je v rozmezí 400-500, u krátkostébelných až 600 na m² (nutný vyšší výsevke při nižším odnožování). Výchozím stavem pro tvorbu výnosu je optimální počet 250-350 (400) rostlin a počet klasů 550-600 na m² u genotypů se zkráceným stéblem i více než 450 rostlin a 700 klasů/m² u krátkostébelných genotypů (Ambrožová 2011).

Produktivita klasu, kterou určují další složky, a to počet klásků a kvítků v klasu. Žádoucí jsou dlouhé a plodné klasy, nejméně s 2, lépe s 3 kvítky v klásku, zejména ve střední části klasu. Snaha na zlepšení produktivity klasu se zaměřuje na zvýšený počet zrn v klásku realizací založených kvítků. Klásek může tvořit vějíř s 5-7 kvítky, ale jen z 30-40 % se vyvinou obilky. Není zájem usilovat o větevnatost klasu, neboť narušuje symetrii klasu a prodlužují se vodivé dráhy. V klasu se vytváří většinou 28-35 (45) obilek (Graman & Čurn 1998).

Hmotnost obilek je geneticky značně podmíněný znak, je však ovlivněna i prostředím. Po opylení dochází k rychlé diferenciaci buněk na jednotlivé části obilky a postupnému zvětšování buněk. Vytváří se úložné prostory (sink) pro zásobní látky. Během fáze rychlého růstu obilky (15-35 dní po kvetení) se nejvíce zvětšuje její objem a hmotnost. Čím delší je období plnění obilek, tím větší hmotnosti mohou dosáhnout. Vysoké teploty, nedostatek vláhy a živin, především dusíku, klasové a listové choroby a další vlivy poškozují asimilační aparát, přispívají ke zkrácení doby plnění obilek, hmotnost obilek se zvětšuje málo. Hmotnost obilek se udává nejčastěji jako parametr HTZ (hmotnost tisíce zrn) v gramech a pohybuje se běžně u obilovin 30–50 g (Diviš et al. 2000).

3.1.3 Základní agrotechnika

3.1.3.1 Zařazení do osevního postupu

Pšenice ozimá si klade z obilnin největší nároky na předplodinu (Zimolka et al. 2005). S ohledem na vysoký podíl ozimých obilnin v osevních postupech má velký význam vliv předplodiny. V podmínkách s dostatkem podzimních srážek patří mezi nejvhodnější předplodiny vojtěška, jetel a luskoviny (Křen 1998). Silná redukce jejich ploch v důsledku snížení stavů hospodářských zvířat zvyšuje význam olejnin. Často následuje pšenice po obilnině a nejsou výjimkou i několikaleté sledy obilnin po sobě. Význam předplodiny spočívá v tom, že může podstatně ovlivňovat půdní vlastnosti důležité pro růst a pro formování výnosotvorných prvků a kvality zrna (Zimolka 2005).

Pokud se zařazují ozimé obilniny v osevních postupech vícekrát po sobě, zhoršují se půdní vlastnosti. Také se zvyšuje riziko zaplevelení pozemků specifickými plevelely pro obilniny a je zde vyšší riziko napadení porostů houbovými chorobami a škůdci. Tyto negativní dopady je potřeba při pěstování kompenzovat vyššími dávkami průmyslových hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. (Zimolka et al. 2005).

3.1.3.2 Zpracování půdy

Pracovní operace mezi sklizní předplodiny a setím se řídí délkou meziporostního období a zvolenou pěstitelskou technologií (Pulkrábek et al. 2003).

Příprava půdy je po předplodině dalším faktorem, který ovlivňuje následný porost ještě před realizací setí. Pracovní operace mezi sklizní a setím souvisí se zvolenou technologií daného zemědělského podniku. Obecně lze jako optimální doporučit podmtku, orbu a kultivační operace, které napomáhají rozkladu organické hmoty, regulují stav vody a vzduchu v půdě. Minimalizační setí lze doporučit při suchých podmínkách, na půdách s větrnou erozí. Během přípravy půdy k setí je vhodné vyřešit i stav půdní reakce a vápnění. Ozimá pšenice vyžaduje spíše kyselou až mírně neutrální půdní reakci (pH 6,0 – 7,2), ale příliš kyselé prostředí snižuje významně možnost příjmu živin a následně i výnosové prvky. Nejčastěji volená úprava pH prostředí je provedena vápněním nebo vhodnou volbou hnojiv. Při řešení otázky půdní reakce je třeba zohlednit i agrochemické vlastnosti pozemku. (Selgen a. s.).

Pro kvalitní založení porostů je nutné vytvořit dobré seťové lůžko. Aktuálním požadavkem je přijatelná energetická náročnost operací zpracování půdy. Zvýšený zájem o postupy zjednodušeného zpracování půdy bez orby je v současné době motivován zejména důvody ekonomickými a provozními, teprve na druhém místě jsou důvody ekologické (půdoochranný efekt) (Kulovaná 2001).

Při přípravě půdy pro ozimy je klíčové dosáhnout vysokého výkonu souprav, aby bylo možné provést potřebné pracovní operace v optimálních termínech a dosáhnout požadované kvality práce.

Úspora času vychází zejména z vysoké výkonnosti moderních kypřičů pro mělké zpracování půdy (talířové kypřiče, radličkové kypřiče), ze zjednodušení předseťové přípravy půdy, jestliže je vynechána orba, a z využívání herbicidů k regulaci plevelů či zaplevelujících plodin (vzešlého výdrolu předplodin). Časová flexibilita pak umožňuje úspěšně zakládat porosty plodin i při velmi krátkém období mezi sklizní předplodiny a setím následné plodiny (Kulovaná 2001).

3.1.3.3 Zakládání porostu

Zakládání porostů ozimé pšenice je potřeba provést v optimálních půdních a vlhkostních podmínkách. Pro pšenici je důležité dobře připravené seťové lůžko s utuženou spodní částí a kyprou částí nad uloženým osivem. Při setí je potřeba pravidelné rozmístění obilek, což je předpoklad pro vytvoření vyrovnaného porostu. K setí lze využívat klasické nesené nebo tažené secí stroje s mechanickým nebo pneumatickým typem výsevu. Secí stroje mohou být podle způsobu ukládání osiva botkové, diskové nebo radličkové. Tyto secí stroje ukládají osivo do úzkých řádků nejčastěji s roztečí 125 nebo 150 mm (Zimolka et al. 2005).

Termín setí souvisí s vhodně zvolenou předplodinou a optimální včasnou přípravou půdy k setí. Pokud je toto v souladu, volíme termín setí od poloviny září do poloviny října. Při brzkém setí je třeba přihlídnout k možnost vysokého odnožení porostu ještě před zimou a incidenci výskytu přenašečů virových chorob. V případě naopak pozdního setí je vhodné podpořit úspěch pěstování výběrem odrůdy s vyšším mrazuvzdorností eventuálně tolerancí k pozdním

výsevům, která zahrnuje i odolnost k fuzariózám, jejichž výskyt je u pozdních výsevů opakovaně prokazován. S termínem setí je úzce spjat i výsevek, při jeho výpočtu vycházíme ze zvolené agrotechniky a zkušeností v dané lokalitě. Jeho výšku ovlivňuje zároveň HTS a klíčivost osiva (Selgen a.s.).

Výsevek – Ke stanovení výsevku bereme v úvahu konkrétní průběh počasí před výsevem i v období výsevu. Za sucha se výsevek zvyšuje. Stejně se postupuje při pozdním setí, méně příznivých teplotních podmínkách, anebo když nepříznivé počasí znemožnilo kvalitní přípravu půdy. Výsevek se zvyšuje asi o 10–15 % (Petr 1987).

Při rozhodování o výsevku je důležité brát v úvahu kvalitu osiva (včetně klíčivosti, HTZ a hmotnosti milionu klíčivých semen), technologii pěstování a specifické půdní a klimatické podmínky dané oblasti. Kvůli rozmanitosti regionů je výhodné se při rozhodování o výsevu pšenice vždy řídit zkušenostmi z konkrétní oblasti.

3.1.3.4 Výživa a hnojení

Výživa a hnojení je u pšenice velmi důležité. Pro dosažení dobrého výnosu a kvality zrna je zapotřebí dostatek dusíku, ale i ostatních živin, především fosforu a draslíku. Hnojením jednak přímo podporujeme výnos a jakost sklizeného zrna, ale také nepřímo podporujeme obnovu půdní úrodnosti dodáním odebraných živin sklizní. Množství potřebných živin je přímo závislé na výnosu (Vaněk et al. 2016).

Nedostatek živin omezuje růst rostlin a svým dopadem ovlivňuje záporně počet klasů na jednotce plochy, počet zrn v klasu, hmotnost tisíce zrn a řadu kvalitativních parametrů. Vedle toho se jednotlivé živiny vyznačují v rostlinách řadou specifických funkcí, které podmiňují růst rostlin a jejichž nedostatek vede k poruchám jejich habitu (Zimolka, 2005).

Během vegetace je třeba porosty kontrolovat a sledovat vývojový stav pšenice. Podle tohoto je třeba volit termíny ošetření a hnojení. Pšenice ozimá je plodina se střední potřebou živin. Pro následnou sklizeň se nejvíce projevuje dusíkatá výživa. Celkovou dávku dusíku v průběhu vegetace dělíme na regenerační, kdy provedeme co nejdříve na jaře, ve fázi počátku odnožování, druhou část ve fázi plného odnožování. Následuje první a druhé produkční hnojení v počátku sloupkování a fázi praporcového listu. Poslední kvalitativní dávka je volitelná dle potřeby, v tomto případě ji aplikujeme v době metání. Veškeré poměry jednotlivých dávek je třeba přizpůsobit typu odrůdy a požadavku dalšího využití výnosu. Hnojení ostatními živinami je úzce spojeno s možností využití dusíkatých hnojiv, rostlina by neměla strádat výrazným deficitem žádných živin, aby byla podpořena tvorba sušiny. Hnojení sírou můžeme aplikovat během vegetace i v pevném skupenství společně s hnojením dusíkem. Hnojení draslíkem a fosforem směřujeme společně se základním hnojením (Selgen a.s.).

První fází je základní hnojení, které probíhá nejpozději do období setí. Pšenice má v podzimním a zimním období malou potřebu dusíku, proto je vhodné provádět toto hnojení jen na pozemcích méně úrodných, po špatné předplodině a při zaořávce většího množství posklizňových zbytků. Pro základní hnojení je vhodný síran amonný. Jeho dávka by ale neměla překročit 40 kg N na hektar (Vaněk et al. 2016).

Celkovou dávku dusíku aplikovanou v průběhu vegetace pak dělíme na: **regenerační hnojení** – provádíme co možná nejdříve na jaře, ve fázi odnožování (BBCH 21–29) v dávce 60–70 kg N·ha⁻¹ ve snadno přístupné formě (tuto dávku můžeme rozdělit – první část co nejdříve na jaře, druhou část v období plného odnožování (BBCH 25) (Zimolka 2005).

Regenerační dávku dusíku aplikujeme v době, kdy rostliny začínají po zimě obnovovat růst (regenerovat). Tato dávka má význam pro vytvoření silných, dobře odnožených rostlin. Regeneračně hnojíme podle podmínek od konce února do poloviny března v dávce 30 – 40kgN/ha. Pro regenerační dávky se používají pevná ledková (dusičnanová) hnojiva. (Pulkrábek et al. 2003)

1. produkční hnojení – ve fázi začátku sloupkování (BBCH 30–32 – objevení 1.-2. kolénka) (Křen 1998).

Produkční dávka má význam pro udržení vysoké produktivity porostu – počtu plodných stébel a počtu kvítků na vzrostném vrcholu. Produkční dávku aplikujeme počátkem sloupkování kapalnými hnojivy (DAM 390) v dávkách 40 – 50kgN/ha. (Pulkrábek et al. 2003)

2. produkční hnojení – ve fázi objevení a rozvinutí posledního (praporcového) listu – pozor na poškození praporcového listu (BBCH 37–39), taktéž ve snadno přístupné formě (DAM nebo jiná dusičnanová forma) 20–30 kg N/ha (Křen 1998).

3. kvalitativní přihnojení – počátek metání (BBCH 49–51) 20–30 kg N/ha

Rozdělení dávky dusíku v průběhu vegetace a stanovení množství aplikovaného N je závislé od vlastností jednotlivých odrůd pšenic a jejich využití (Homolka 2016).

Pozdní dávku používáme podle okolností. Je vhodná u potravinářské pšenice, u které zlepšuje mlynářsko-pekařské vlastnosti zrna. Přihnojujeme v období od konce sloupkování (zvýšení HTZ) do metání (zvýšení obsahu N-látek v zrnu) v dávce cca 30kgN/ha. Podmínkou účinnosti používaných ledkových hnojiv je dostatek srážek, dobrý zdravotní stav porostu. Kapalná hnojiva (DAM 390) se nepoužívají, protože jejich aplikace způsobuje v tomto období popálení rostlin. Poškození horních listů by znamenalo snížení výnosu i kvality zrna. Máme možnost využití foliárních hnojiv. (Pulkrábek et al. 2003).

Ozimé pšenici je nutné dodat na 1t zrna a validní množství hmoty 25 kg N, 5 kg P, 20 kg K, 4 kg S a cca 2,4 kg Mg (Selgen a. s.).

3.1.3.5 Ochrana proti škodlivým činitelům (choroby, škůdci a plevele),

Ochrana proti chorobám a škůdcům spočívá v dodržování dobře sestaveného osevního postupu a zásad agrotechnické kázně (Zídek et al. 1992).

Ochrana pšenice proti škodlivým činitelům začíná ještě před jejím setím. Vše začíná při výběru vhodného pozemku, respektive vhodné předplodiny. Vhodná předplodina v osevním sledu dokáže redukovat patogeny napadající pšenici v půdě. Dále může být dalším preventivním opatřením účinná příprava půdy před setím. Při setí ozimé pšenice je nezbytné použít fungicidní moření proti sněti mazlavé a prašné, fuzariózám klíčnicích rostlin a plísní sněžné. Některá nová mořidla chrání obilniny i proti listovým chorobám v počátečních růstových fázích (Czakó & Malík 2017).

Plevele

Z víceletého hlediska způsobují plevely v ozimé pšenici největší škody a mohou snížit výnos o 15–30 %. Nebezpečnost plevelů spočívá především v jejich rozšíření na všech pozemcích a v schopnosti vytvořit v půdě zásobu velkého množství dlouho životných semen (např. heřmánkovec přímořský, svízel přítula) (Faměra 1993).

Na podzim po zasetí obilnin patří mezi hlavní zásahy herbicidní ochrana porostů a také podle tlaku škůdců ochrana proti přenašečům virových onemocnění. Podzimní aplikace herbicidů mají řadu výhod. Na trhu je řada převážně vícesložkových herbicidů, kterými lze vyřešit likvidaci celého plevelného spektra. Mezi hlavní účinné látky obsažené v těchto herbicidech patří *diflufenican*, *flufenacet*, *chlorotoluron*, *pendimethalin* a další. Podzimní aplikace herbicidů zajišťuje dobré podmínky pro růst hlavní plodiny a také nestresuje rostliny hlavní plodiny (Spáčilová 2014). U porostů v odnožování můžeme na podzim provést také aplikaci regulátorů růstu. Vhodnými morforegulátory jsou přípravky na bázi CCC (*ChlorCholineChlorid*), které podpoří odnožování, vyrovnání odnoží a zvýší schopnost rostlin k přezimování (Horčíčka et al. 2012). Autoři dále uvádějí, že mezi jarní pesticidní zásahy u ozimé pšenice patří aplikace herbicidů u porostů, u kterých nebyla provedena podzimní aplikace anebo nebyla dostatečně účinná.

Choroby

Dalším z důležitých zásahů je aplikace fungicidů. V jarním období může být fungicidní ochrana směřována do několika období. Období aplikace fungicidů se označují T1, T2, T3 a T4. T1 aplikační termín nastupuje počátkem sloupkování, T2 konec sloupkování, T3 počátek metání a T4 kvetení. Podle infekčního tlaku v dané odrůdě je vhodné provést jedno až tři fungicidní ošetření. Mezi hlavní choroby pšenice ozimé, na které je potřeba se zaměřit, patří pravý stéblolam obilnin (*Pseudocercospora herpotrichoides*), černání pat stébel (*Gaeumannomyces graminis*), padlí travní (*Blumeria graminis*), rzi (*Puccinia*) a braničnatky (*Septoria*), uvádí Horčíčka et al. (2012); Bittner (2009).

Škůdci

Škůdci napadají obiloviny po celou dobu jejich vegetačního růstu (Kazda, 2014). Ze škůdců je potřeba si v porostu ozimé pšenice dát pozor především na kohoutky (*Oulema sp.*), uvádí Horčíčka et al. (2012). V současnosti se v mnoha oblastech výskyt některých škůdců dostal nad práh škodlivosti. K nejvýznamnějším škodám dochází při sání mšic a křísků už na podzim, kdy tyto škůdci omezují nejen počet odnoží a zhoršují přezimování rostlin, zejména v teplejších oblastech přenášejí virus žluté zakrslosti ječmene a zakrslosti pšenice. Pro omezení přenosu viróz je vhodné provedení podzimní ochrany směsí *pyretroidu* s některou systémově působící látkou. Druhé ekonomicky výhodné ošetření systémově působícími insekticidy je ve fázi kvetení pšenice. V této době se vyskytují zejména mšice a trásněnky (Kazda, 2014)

3.1.3.6 Sklizeň

Sklizeň porostu je určena průběhem počasí během celé vegetace a stavem porostu. Zrání většinou neprobíhá na celém pozemku rovnoměrně. Jako první dozrávají rostliny disponované na slunnou stranu a na okrajích či řidších částech pozemku. Při rozhodování o sklizni je třeba brát v potaz všechny odnože, protože jako první dozrává hlavní odnož a spodní patra až později (Selgen a.s.).

Pšenici sklízíme na počátku plné zralosti plně mechanizovanou přímou sklizní žací mlátičkou. Kvalita zrna je ovlivněna jak jeho zralostí, tak i vlhkostí. Optimální sklizňová vlhkost je do 14 %. Při opožděné sklizni se snižuje obsah i kvalita lepku. Potravinářskou pšenici proto sklízíme přednostně, zvláště odrůdy náchylné k porůstání. Potravinářská pšenice by měla obsahovat minimálně 28 % mokrého lepku, sedimentační hodnota má být větší než 65 cm³, objemová hmotnost nad 750 g/l. Při umělém sušení je nutné respektovat přípustné teploty nárůstu zrna, aby nedošlo k poškození (denaturaci) bílkovin, především u osiva a pšenice připravované pro nakličování (makrobiotické produkty) (Urban a Šarapatka 2006).

Pro snížení sklizňových ztrát a mechanického poškození zrna je třeba věnovat pozornost seřízení sklízecích mlátiček, a to jednak s ohledem na vlhkost zrna (mačkání při vyšší vlhkosti, pūlení a tříštění zrna přeschlého), které se mění i během dne, a také s ohledem na využití produkce. Při sklizni množitelských porostů je seřízení mlátičeho ústrojí sklízecí mlátičky (otáčky bubny i průchodnost) a dokonalé 28 vyčištění zvláště důležité v zájmu snížení rizika zhoršení semenářských parametrů (Zimolka et al. 2005).

Pro sklizeň by se měly také upřednostnit nejdříve množitelské porosty a potravinářské odrůdy pšenice pro zachování obsahu bílkovin, kvality lepku, objemové hmotnosti zrna a hodnoty čísla poklesu. S opožděním sklizně se hodnoty těchto parametrů snižují (Zimolka et al. 2005).

Po sklizni je vhodné zrno předčistit. Dlouhodobé skladování je možné při zachování optimálních skladovacích podmínek, to je zaručení stálé vlhkosti zrna a nepřístupu škodlivých činitelů. Při prodloužení doby sklizně je nutné volit další postup podle odolnosti jednotlivých odrůd. Jako možnost rozdělení sklizně se nabízí pěstování více odrůd s rozdílnou dobou dozrávání (Selgen a.s.).

3.2 Variabilita pozemku

3.2.1 Půdní blok a jeho variabilita

3.2.1.1 Půdní blok

Vznik půdního bloku je dán dlouhodobým vývojem působení člověka na krajinu. V jeho tvaru a velikosti se odráží vztah člověka k přírodě při současném působení míry poznání a rozvoje technických možností společnosti. Jeho umístění v krajinném prostoru však ve většině případů v České republice nerespektuje historii vývoje krajiny a na ní vázaných ekosystémů. Tato skutečnost následně vede ke spojování heterogenních částí krajinného prostoru, což zvyšuje především variabilitu půdních podmínek. Variabilita půdních vlastností na půdním bloku je základním faktorem určujícím hraniční podmínky pro pěstování polních plodin a zásadně modifikuje i výši rizik spojených s negativním působením agrotechnických opatření na půdu (Brant et al. 2020).

Půdní blok lze z hlediska optimalizace agrotechnických opatření považovat za základní klasifikační jednotku hodnocení v precizním zemědělství. U půdního bloku lze hodnotit značné množství měřených a kalkulovaných parametrů, které slouží pro optimalizaci následných technologických postupů prováděných při jeho zemědělském využití. Bez ohledu na daný hodnocený parametr lze však za primární informaci považovat variabilitu daného parametru na půdním bloku. Brant et al. (2020) a Lorenz & Münchhoff (2015) uvádějí, že základními údaji o variabilitě půdního bloku jsou půdní mapy, mapy reliéfu pozemku, mapy výnosového potenciálu, výnosové mapy, mapy produkce biomasy apod.

3.2.1.2 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství (precision agriculture) je mezinárodně ujednocený název pro směry využívající nové technologie, které začaly být rozvíjeny koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let dvacátého století. Hlavním cílem je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním podmínkám stanoviště, přičemž zásadou je provádět pěstební zásahy na správném místě, se správnou intenzitou a ve správný čas. Předpokladem je, že zmiňovanou variabilitu umíme identifikovat a stanovit (Lukas et al. 2011).

Právě nevyrovnanost pozemků je základním předpokladem pro využití tohoto způsobu hospodaření, neboť bez ní má koncept precizního zemědělství jen pramalý význam. Jinými slovy pozemky, které se jeví jako relativně vyrovnané, není nutné obhospodařovat diferencovaně, lze použít tradiční celoplošně uniformní přístup. Znalost variability určitého agronomicky významného znaku (např. zásoba živin v půdě, zaplevelení) pak představuje základní vstupní informaci pro diferencované provádění pěstebních operací (variabilní aplikace hnojiv, herbicidů) (Pierce et al. 1999).

3.2.1.3 Variabilita půdního bloku

Zjištění variability je prvním a kritickým krokem v precizním zemědělství, neboť nelze obhospodařovat variabilitu, pokud ji neznáme (Pierce a Nowak 1999). Ettema a Wardle (2002) definovali variabilitu jako prostorové (nebo časové) změny daného indikátoru, zatímco heterogenita je popisována jako zvláštní případ proměnlivosti mající prostorovou strukturu s agregovanými distribucemi, tj. není náhodná.

Variabilita může vzniknout z mnoha faktorů, včetně těch z vrozených rozdílů vytvořených během vývoje půdy, následku eroze po zpracování půdy a systematických chyb z nerovnoměrné aplikace hnojiv (Franzen, 2011). Dále Mallarino a Wittry (2004) uvádějí, že půdní variabilita je zapříčiněna změnami v klimatu, topografii, matečné hornině, vegetaci, komplexními geologickými a pedologickými procesy a hospodařením na půdě. Tyto faktory ovlivňují variabilitu v rozdílných měřících (Cambardella et al. 1994).

Velikost půdního bloku je jeden z primárních faktorů rozhodující o energetické a ekonomické náročnosti agrotechnických opatření. Velikost půdního bloku určuje míru variability a možnosti její specifikace. Lorenz a Münchhoff (2015) uvádějí, že principy precizního zemědělství lze efektivně uplatňovat na pozemcích větších než 0,5 ha. Menší pozemky nevykazují zásadní variabilitu půdního prostředí, nebo je její stanovení problematické či časově náročné. Pozemky menší než 0,5 ha tedy doporučují obhospodařovat nevariabilně (Brant et al. 2020).

Přestože je za jedno z významných kritérií využití půdního bloku pro uplatnění principů precizního zemědělství považována jeho výměra, opomenout nelze ani jeho tvar (Brant et al. 2020).

Prostorová a časová variabilita

Variabilitu pozemků lze chápat ve dvou směrech – jako prostorovou a časovou

Oba druhy variability se vzájemně prolínají a jejich výsledný projev je dostatečně znám. Různé agronomicky významné ukazatele vykazují rozdílnou úroveň prostorové a časové variability. Obsah mineralizovatelného dusíku v půdě je vysoce dynamickou veličinou, zatímco zrnitost půdy lze z krátkodobého hlediska považovat za relativně neměnnou (Lukas et al. 2011).

Čím vyšší je prostorová závislost obhospodařované půdní vlastnosti, tím vyšší je potenciál precizního hospodaření. Stupeň obtížnosti se zvyšuje tím, jak se zvyšuje časová složka prostorové variability (Pierce et al. 1999).

Problematiku zachycení prostorové variability lze na současné úrovni znalostí precizního zemědělství považovat za zvládnutou a v praxi použitelnou, zatímco zohlednění časové variability je zatím ve fázi výzkumu (Lukas et al. 2011).

Časová variabilita

Časová variabilita představuje změny znaku v čase. Příčinou je zpravidla průběh povětrnostních podmínek, který zásadně ovlivňuje vývoj sledovaného jevu. Jako příklad lze zmínit množství nadzemní biomasy nebo úroveň napadení plodiny škodlivými organismy (Lukas et al. 2011).

Prostorová variabilita

V případě prostorové variability vykazuje sledovaný znak změny v rámci plochy pozemku (při zohlednění např. hloubky půdy i v trojdimenzionálním prostoru). Typickým příkladem může být variabilita výnosu v rámci jedné plodiny na pozemku nebo utužení půdy.

Příčinami prostorové variability mohou být heterogenita půdního prostředí, rozdílná intenzita obhospodařování pozemků a bioticky škodlivé vlivy (Lukas et al. 2011).

Z hlediska pohledu na variabilitu půdního prostředí je však potřebné rozlišovat měřítko pohledu (Brant et al. 2020).

Prostorová variabilita se dále dělí na:

Makrovariabilita

V současné době se nejčastěji sleduje makrovariabilita pozemku. Ze zemědělského pohledu jde o větší části půdního bloku, které vykazují shodné vlastnosti, nejčastěji rozlišené na základě klasifikačních tříd. Ve vztahu k agrotechnickým postupům a rozlišovacím schopnostem používaných metod detekce se makrovariabilita pohybuje v rozmezí desítek až stovek metrů (Brant et al. 2020).

Mezovariabilita

Z hlediska vlivu zpracování půdy na změnu prostorového rozmístění půdní hmoty hovoříme o mezovariabilitě, případně mikrovariabilitě (není-li variabilita již dále členěna). Zpracování půdy je nedílnou součástí zemědělství již od počátku (Lal et al. 2007). Reicosky a Allmaras (2003) definovali zpracování půdy jako mechanickou manipulaci s půdou a rostlinnými zbytky za účelem přípravy pro výsev plodin.

Mezovariabilita je především určována vlivem pracovních nástrojů pro zpracování půdy a zahrnout lze k ní i vliv přejezdů mechanizačních prostředků po pozemku. Mezovariabilita se vyznačuje periodickým opakováním daného stavu půdy v rámci makrovariabilního členění půdního bloku. Periodicita je dána jednotlivými pracovními záběry a směrem jízdy soupravy, včetně typu a rozmístění pracovních nástrojů na stroji (Brant et al. 2017).

Využití parametrů mezovariability v rámci principů precizního zemědělství v praxi je ve srovnání s makrovariabilitou spíše opomíjenou skutečností. Využití mezovariability je mnohdy dáno pravidelnou periodičností opakujícího se jevu na půdním bloku s možností přesné lokalizace této variability. Do faktorů mezovariability lze zařadit údaje o kolejových stopách, zejména při cílené optimalizaci trajektorií, znalost linií se zonální podpovrchovou aplikací hnojiv, místa s překryvy aplikace pesticidů a hnojiv, linie řádků rostlin apod. Tyto údaje jsou známé, ale v měřítku makrovariability se z důvodu periodicity jevu nemusí projevit (Brant et al. 2020).

Mikrovariabilita

Z hlediska detailního pohledu jde dále o mikrovariabilitu. Ta je dána samozřejmě interakcí makro a mezovariability, ale je následně modifikována například vlivem kořenového systému, rozložením rostlinných zbytků, rozmístěním minerálních a organických hnojiv v půdě, systémem pórů, mezo a mikroedafonem a podobně. V čase je velmi nestálá, jsou to vlastně rychlé chemické reakce a fyzikální změny v časovém horizontu minut až měsíců.

Wezel a Böcker (1999), stejně jako Geiger a Manu (1993), považují prostorové rozdíly v několika metrech (max. 10 m) za mikrovariabilitu pro popis specifických chemických látek v půdě, morfologie půdy a proměnných parametrů plodin ve vztahu k mulčovací efektům a detekci produkčních oblastí v oboru.

Praktické využití znalostí mikrovariability v systémech precizního zemědělství je zatím výrazně omezené (Brant et al. 2017).

3.2.2 Variabilita půdních vlastností

Variabilita půdních podmínek je způsobena celou řadou faktorů, jejichž vliv se mění s ohledem na prostorové měřítko sledování. V regionálním měřítku převládá vliv klimatických faktorů, způsob využití půdy, vegetační pokryv a charakteristiky povrchu krajiny. Na úrovni pole jsou hlavními faktory ovlivňujícími variabilitu půdní typ, reliéf terénu, předplodina a předchozí způsob hospodaření. Ve větším měřítku pak mohou mít vliv směr řádků porostu, způsob aplikace živin, technologie zpracování půdy a stupeň utužení půdy (Lukas et al. 2011).

Další faktory, jako je voda a člověk, mohou způsobit příznivé i nežádoucí změny v půdě a podílet se na zvýšení půdní proměnlivosti (Borůvka 2001). Mapování prostorové variability půdy je prováděno u těch půdních vlastností, které jsou nezbytné pro agronomické rozhodování. Nejčastěji se jedná o agrochemické půdní vlastnosti pro korekci hnojení (obsah živin v půdě), vápnění půd (pH půdy), příp. ovlivňující zpracování půdy (fyzikální vlastnosti půdy, reliéf terénu). S ohledem na množství materiálních vstupů umožňuje právě oblast výživy a hnojení rostlin dosažení nejvyšších přínosů (Lukas et al. 2011).

Parametry makrovariability jsou v současné době považovány za primární směr hodnocení variability údajů na půdním bloku v precizním zemědělství. Z hlediska praktického využití makrovariability půdního bloku je však potřebné uvažovat o míře detailnosti popisu variability ve vztahu k následné implementaci do agrotechnických postupů. Limitujícím faktorem variabilní práce pracovních souprav může být záběr stroje, rychlost reakce rozmetadla průmyslových hnojiv na detailnost aplikační mapy, změna variabilního výsevku jen pro celý záběr secího stroje, nedostupnost postřikovačů s vypínáním jednotlivých trysek apod (Brant et al. 2020).

Adamchuk et al. (2010) uvádějí, že pokud není známa příčina rozdílného výnosu v rámci pozemku, je vhodné provádět pěstební zásahy uniformně. Lokálně cílené hospodaření lze doporučit, pokud prostorové struktury rozdílu výnosu jsou konzistentní po více let a odpovídají některým z agronomicky významných jevů (zásoba živin, topografie terénu, historie užívání pozemku apod.). Pro monitoring půdní variability na půdním bloku existuje celá řada přístrojového vybavení.

Z hlediska stanovení heterogenity půdních podmínek jsou za primární informace považovány geologické a půdní mapy. Informace obsažené v daných mapách dávají představu o vývoji půdních typů a poskytují data o jejich rozložení. Z hlediska využití v rámci precizního zemědělství však postrádají dostatečnou přesnost ve vztahu k velikosti půdního bloku a jeho dílům (Brant et al. 2020). Autoři dále poukazují na skutečnost, že variabilní aplikace hnojiv, vápnění, setí a dalších vstupů bez přesných půdních map je často nevhodná a pochopitelně může vést k ekonomickým ztrátám.

3.2.2.1 Mapování půdních podmínek

Mapování prostorové variability půdy je prováděno u těch půdních vlastností, které jsou nezbytné pro agronomické rozhodování. Nejčastěji se jedná o agrochemické půdní vlastnosti pro korekci hnojení (obsah živin v půdě), vápnění půd (pH půdy), příp. ovlivňující zpracování půdy (fyzikální vlastnosti půdy, reliéf terénu). S ohledem na množství materiálních vstupů umožňuje právě oblast výživy a hnojení rostlin dosažení nejvyšších přínosů (Lukas et al. 2011).

3.2.2.1.1 Dostupné mapové podklady a historie užívání pozemků

Jedním ze základních zdrojů informací o prostorové variabilitě půdy a jejích vlastnostech jsou půdní mapy. Využitelnost těchto map je dána jejich aktuálností, dostupností v digitální podobě pro implementaci do geografických informačních systémů (GIS) a měřítkem, které představuje detailnost zachycení prostorových jevů. Kromě mapových podkladů o půdních vlastnostech mohou být pro popis a identifikaci příčiny heterogenity pozemků využity informace o jejich užívání. Zdrojem informací o vlastnicích půdy je katastr nemovitostí (KN), vedený Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním; údaje o užívání pozemku eviduje Registr půdy (LPIS – Land Parcel Identification System) spravovaný Ministerstvem zemědělství (Lukas et al. 2011).

3.2.2.1.2 Vzorkování

Proces vzorkování představuje výběr podmnožiny (vzorku) jedinců z celkové populace, které budou měřeny. Měření prováděné na tomto vzorku je následně podkladem pro stanovení vlastností nebo parametrů celkové populace. Vzorkování je základní podstatou jakéhokoli terénního výzkumu v půdních vědách, neboť měření celé populace je v praxi nemožné (Carter a Gregorich, 2008). Dle van Groenigena et al. (1999) je z praktického hlediska vzorkovací schéma faktorem ovlivňujícím nejvíce efektivnost a nákladnost půdního vzorkování. Vzorkování s nižší hustotou je méně nákladné, ale může postrádat významné prostorové jevy. Vyšší počet odběrů umožňuje provést detailnější mapování, ale samozřejmě s vyššími náklady

3.2.2.1.3 Nepřímé metody identifikace variability půdy

Nepřímé metody pracují na principu sensorového měření. Čidla identifikují změnu sledované půdní vlastnosti nebo vlastnosti, která je s ní úzce vázána a kterou je možné převést do elektronického záznamu. Sensorová technika má fixní náklady, může měřit ve velkém prostorovém i časovém měřítku a umožňuje opakované měření přímo v terénu. Nevýhodou nepřímých metod je vždy nižší přesnost stanovení sledovaného jevu v porovnání s přesnými laboratorními rozbory. Tato nižší přesnost je ale vyvážena intenzivním prostorovým pokrytím (Christy 2008).

Jestliže bychom chtěli zmapovat vlastnosti půdy na pozemku klasickými metodami, znamenalo by to odebrat velké množství půdních vzorků a následně je analyzovat v laboratoři, což je velmi pracné a náročné. Tyto nevýhody mohou být zmírněny půdními senzory, které měří elektrickou vodivost půdy ve spojení s GPS. Následně lze vytvořit mapy, které ukazují půdní rozdíly pozemku (Šařec et al. 2001).

On the go

Přístroje umožňující zjišťování informací o půdních vlastnostech během jízdy jsou označovány jako on-the-go. Výhodami on-the-go systémů je zvýšená hustota měření, rychlost mapování a relativně nízká nákladovost. Nižší přesnost měření polních senzorů v porovnání s laboratorními postupy vyvažuje intenzivní prostorové pokrytí (Christy 2008).

On-the-go systémy zjišťování plošné variability půdních podmínek lze podle principu měření rozčlenit do následujících skupin (Adamchuk et al. 2004):

- Elektrické a elektromagnetické senzory měřící elektrickou rezistivitu, konduktivitu, kapacitu nebo induktanci ovlivněnou složením půdy.
- Optické a radiometrické senzory využívající elektromagnetického záření pro detekci energie absorbované/reflektované půdními částicemi.
- Mechanické senzory měřící odporovou sílu při pronikání půdou.
- Akustické senzory kvantifikující zvuk produkovaný nářadím v interakci s půdou.
- Pneumatické senzory zjišťující schopnost injektovat vzduch do půdy.
- Elektrochemické senzory využívající iontově selektivních membrán pro stanovení aktivity vybraných iontů (H^+ , K^+ , NO_3^- , Na^+ , atd.).

Úroveň detekce půdních vlastností on-the-go metodami měření se liší dle principu měření, přehled nabízí Adamchuk et al. (2008) – viz tab. 2

Tab. 2 Úroveň detekce vybraných půdních vlastností pomocí on-the-go senzorů (Adamchuk et al. 2009)

půdní vlastnost	elektrické a elektromagnetické	optické a radiometrické	mechanické	akustické	elektrochemické
půdní zrnitost	dobrá	vyhovující		slabá	
obsah půdní org. hmoty nebo C_{ox}	slabá	dobrá			
půdní voda (vlhkost)	dobrá	dobrá			
zasolení půdy	vyhovující				slabá
utužení půdy (obj. hmotn.)			dobrá	slabá	
hloubková variabilita	slabá		vyhovující	slabá	
pH půdy		slabá			dobrá
obsah nitrátů v půdě	slabá	slabá			vyhovující
obsah ostatních živin		slabá			vyhovující
kationtová výměnná kapacita	vyhovující	vyhovující			

Elektrické a elektromagnetické senzory

Měření vodivosti půdy se stává jednou z nejpoužívanějších technik mapování polní variability pro potřeby technologií precizního zemědělství a farmáři mohou využít měření k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí (Doerge 2001).

Elektrická vodivost půdy je jednoduchý nástroj, který farmáři mohou využít k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí (Doerge 2001). Elektrické a elektromagnetické senzory využívají elektrického obvodu k měření schopnosti půdy vodit, případně akumulovat, elektrický náboj. V případě, že jsou používány tyto senzory, stává se půda součástí elektrického obvodu a lokální změny půdních vlastností významně ovlivňují signál, který je následně ukládán do měřicí ústředny (Brant et al. 2020).

Mechanické senzory

Půdní mechanický odpor je indikátorem mechanických vlastností půdy. Může být ovlivněn utužením, texturou půdy, obsahem vody a dalšími zemědělskými parametry (Adamchuk a Christenson 2005).

Nejběžnější nepřímou metodou měření půdního mechanického odporu je penetrometrie. K tomuto účelu slouží normovaný kuželový penetrometr (ASAE 2002). Podle zjištěného penetračního odporu můžeme dále usuzovat například na odpor půdy proti vnikání pracovního nástroje, stupeň obtížnosti kypření nebo pevnost půdních makroagregátů (Hůla et al. 1997). Nejčastěji se setkáváme s penetrometry v souvislosti s měřením utužení půdy (Lapen et al 2002; Jurga 2003; Carrara et al. 2003). Jak ale uvádějí Mouazen et al. (2005), metody měření penetračního odporu nebo odběr fyzikálních válečků jsou velmi obtížné a časově náročné, kromě toho jsou nespojitá data získaná měřením založena na síti měření.

Tyto přístroje již nelze považovat za on-the-go, neboť měření nelze provádět za jízdy (Lukas et al. 2011).

Zrychlení práce s penetrometrem představují poloautomatické měřicí zařízení, většinou ve spojení s mechanizačním prostředkem. Tato zařízení ve většině případů kombinují hodnoty mechanického odporu půdy s dalšími údaji, jako je vlhkost půdy, vodivost půdy apod (Brant et al. 2020).

Větší vzorkovací frekvence těchto technik poskytuje mnohem přesnější znázornění variability půdního mechanického odporu uvnitř pole v porovnání s údaji získaných z bodového odběru kuželovým penetrometrem (Brant et al. 2020).

Hodnocení mechanických vlastností půdy s využitím elektroniky traktorů

Pro zjišťování tahové síly jsou téměř všechny současné traktory vybaveny zařízením, které toto měření umožňuje. Do dnešní doby se prosadilo především elektronické měření síly na traktorech. Vlivem sil působících na čep umístěný v dolních ramenech vzniká magneto-elastický efekt (Noack 2001).

Tahová síla je velkou měrou ovlivněna pracovní hloubkou. Kolísání pracovní hloubky je považováno za jev rušící, jestliže se provádí měření tahové síly za účelem zjišťování půdních rozdílů (Brant et al. 2020).

Dnes existuje řada prototypů, které umožňují nepřetržité měření mechanického odporu, nicméně komerční využití těchto senzorů je minimální. Protože zpracování půdy představuje mechanické zásahy do půdy spojené s vysokou energetickou náročností, jsou technologie zpracování půdy předmětem soustředěné snahy o snižování spotřeby paliva a snižování pracnosti, s čímž souvisí dosahování příznivějších nákladů na jednotku produkce (Brant et al. 2020).

Optické a radiometrické senzory

Gama spektrometrie

V souvislosti s měřením variability půdního prostředí pro účely precizního zemědělství se objevují aplikace metody zvané gama-spektrometrie, která je založena na měření koncentrací prvků v půdě s přirozenou radioaktivitou. Skutečnost, že gama záření nese informaci o půdních vlastnostech, byla známa dlouho. Již v roce 1930 byly gama detektory zkonstruovány a používány pro vyhledávání izotopů uranu (de Meijer, 1998)

Optické senzory

Optické senzory využívají skutečnost, že půda a vegetační pokryv odráží s rozdílnou intenzitou (popř. i vyzařuje) elektromagnetické záření. Odrazivost je závislá jak na druhu a stavu rostlin, tak na jejich hmotě (chlorofylu, zastoupení uhlíku). (Brant et al. 2020)

Pokud je vegetace stresována, obsah chlorofylu se snižuje. Tato skutečnost se projevuje na poměru pohlcené a odražené energie. (Brant et al. 2020)

Křivka odrazivosti půdy vykazuje mnohem méně výkyvů. Mezi faktory, které mají dopad na půdní odrazivost, patří vlhkost půdy, zrnitostní složení, drsnost povrchu, oxidy železa a organická hmota. (Brant et al. 2020)

Hrubá písčité půda je obvykle odvodněná a výsledkem je nižší vlhkost a relativně vysoká odrazivost. Jemná struktura bez přirozené drenáže bude mít nízkou odrazivost. Při absenci vody však bude půda samotná vykazovat opačné výsledky. Hrubší textura půdy se bude jevit tmavší než jemná textura. Další dva faktory, které redukuje odrazivost, jsou drsnost povrchu půdy a obsah organické hmoty. (Brant et al. 2020)

Radary

Potenciál pro uplatnění radarů je především v geofyzice, pro zemědělství má význam především pro využívání vodních zdrojů (Adamchuk, 2007).

Akustické a pneumatické senzory

Akustické a pneumatické senzory jsou alternativou k mechanickým senzorům při studiu interakce půdy a zemědělských nástrojů. Akustické senzory byly použity například pro měření změny hladiny hluku způsobeného vzájemným působením nástroje s částicemi půdy za účelem určení půdní textury nebo objemové hmotnosti. Pneumatické senzory byly používány také k měření propustnosti půdy pro vzduch. Tlak potřebný k natlačení daného množství (objemu) vzduchu do pevně dané hloubky byl porovnáván s několika půdními vlastnostmi, jako např. půdní struktura a zhutnění. V tomto okamžiku je velmi málo objasněn vztah mezi výstupy senzorů a fyzickým stavem půdy a je třeba dalšího výzkumu (Adamchuk, 2007).

Elektrochemické senzory

Elektrochemické senzory mohou poskytovat nejdůležitější typ informací potřebných pro precizní zemědělství – půdní dostupnost živin a pH. Na půdních vzorcích zaslaných do laboratoře je prováděna sada doporučených laboratorních procedur. Tyto procedury zahrnují obvyklý postup přípravy vzorků a samotné měření. (Brant et al. 2020)

Kombinace čidel

Uplatnění prvků precizního zemědělství, které znamenají efektivnější, ale zároveň šetrnější přístup k hospodaření na půdě, může přinést interpretace jednotlivých informačních hladin pomocí vícefaktorového hodnocení do agronomické podoby (Brant et al. 2020).

Ideální senzor vypovídá o variabilitě samotné půdní vlastnosti nebo znaku a samozřejmě vykazuje vysokou korelaci s konvenčními metodami měření. Ve skutečnosti každý vyvinutý senzor reaguje na více než jednu a oddělení těchto jevů je velmi obtížné, případně až nemožné (Adamchuk 2007).

3.2.2.2 Dálkový průzkum pro identifikaci plošné variability půdních podmínek

Dálkový průzkum představuje soubor metod získávání informací o objektech prostřednictvím zařízení, které se sledovaným objektem nejsou v kontaktu (Lillesand a Kiefer, 1994). V zemědělství jsou metody dálkového snímání využívány více jak 40 let, v porovnání s ostatními agronomickými oblastmi se ale jedná o relativně nové postupy (Hatfield et al. 2008). Dle Ben-Dor et al. (2009) je dálkový průzkum významnou součástí půdního průzkumu a např. letecké snímání je jedním ze základních nástrojů, které jsou používány při mapování půdy. Vysoký potenciál dálkového průzkumu v precizním zemědělství spočívá dle Pierce et al. (1999) v možnosti monitorování prostorové variability v průběhu času s vysokým rozlišením. Neposkytuje ale informace o příčině sledované variability.

V tomto případě je využíváno spektrálních vlastností půdy – její odrazivosti. Odrazivost půdy se snižuje při vyšší vlhkosti půdy, vyšším podílu jílovitých částic a obsahu organické hmoty. Proto se vlhčí, těžší, či humózní půda jeví tmavší. Výskyt oxidů železa pak způsobuje barevné zbarvení půdy (Lukas et al. 2011).

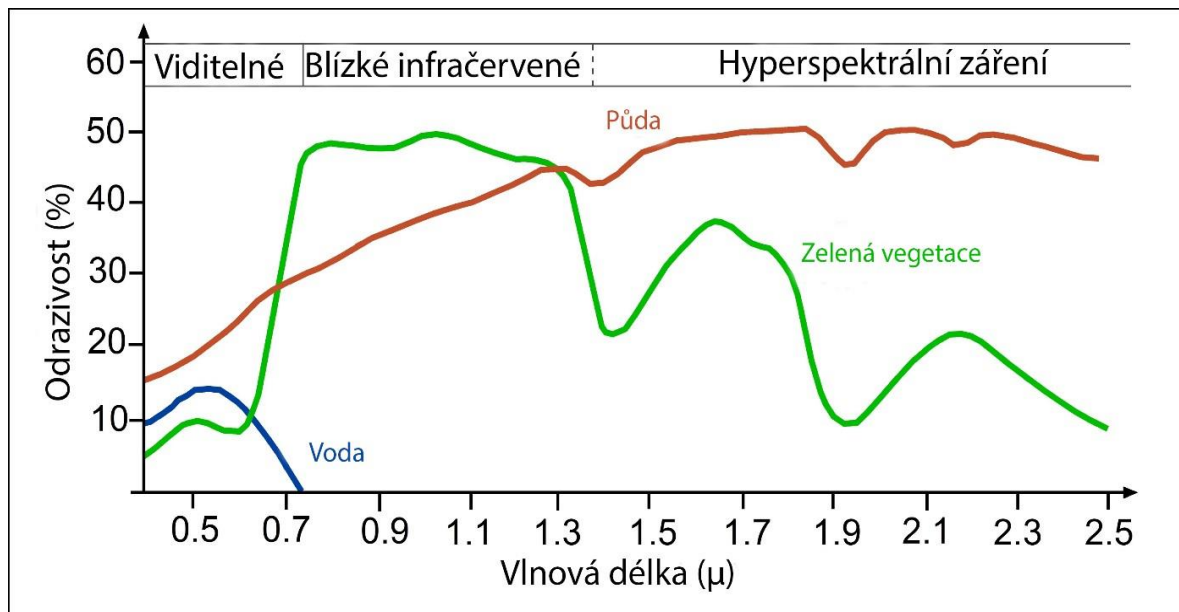
Výhodou dálkového průzkumu je jeho plošná výkonnost a celoplošné pokrytí. Rozsáhlé území lze zmapovat během krátkého okamžiku, a přitom bude zachycena každá část sledovaného území. To eliminuje následnou interpolaci dat. Nevýhodou je komplexní působení zmiňovaných faktorů a v porovnání s elektrickou vodivostí hloubkový dosah měření a nutnost absence vegetačního krytu (Lukas et al. 2011). Autoři dále poukazují na skutečnost, že zatímco pomocí měření elektrické vodivosti mohou být identifikovány rozdíly i několik metrů pod povrchem půdy, v případě dálkového snímání zjišťujeme odrazivost pouze několikamilimetrové svrchní vrstvy půdy. To může ztěžovat mapování na pozemcích, kde se vrchní vrstva půdy liší od nižších, kde je povrch půdy pokryt jiným materiálem (např. po vápnění) nebo v případech zpracování půdy pouze na části pozemku (rozdílná vlhkost).

3.3 Vegetační indexy v zemědělství

Existuje několik technik, které se zabývají biofyzikálními vlastnostmi vegetace za použití dálkového průzkumu. Jedna z těchto metod je založena na využití vegetačních indexů. Metody vegetačních indexů mají výhodu, že jsou výpočetně jednoduché a více univerzálně aplikovatelné než ostatní metody. Proto jsou vegetační indexy široce užívaná metoda, která poskytuje vyhodnocení biofyzikálních vlastností vegetace za použití zvýraznění specifické spektrální odrazivosti vegetace (Frampton 2013).

Podle Campbella (1987) jsou vegetační indexy kvantitativní znázornění, které výrazně odlišuje vegetaci od ostatních povrchů. Mají lepší citlivost k detekci biomasy než jednotlivá spektrální pásma, a proto jsou důležité v interpretaci snímků pořízených dálkovým průzkumem Země. Vegetační indexy jsou vhodné pro zjištění změn v land use, k identifikaci plodiny, k vyhodnocení zdravotního stavu vegetačního krytu a k predikci (Bannari, 1995). Většina vegetačních indexů je úzce spjatá s LAI. Jedná se o index listové pokrývnosti, který vyjadřuje poměr celkové plochy listů na jednotku plochy země (Jordan, 1969). Bývá charakterizován odrazivostí v oblasti buněčné struktury (Dobrovolný 1998).

Rostliny odrážejí v různém množství jednotlivá pásma elektromagnetického záření (obr. 2, kde je zelenou křivkou vyznačena odrazivost vegetace). Elektromagnetické záření rozlišujeme podle různých vlnových délek od nejkratší vlnové délky na modré, zelené, červené, NIR (blízké infračervené záření) a SWIR (hyperspektrální záření). Odrazivost viditelného spektra záření podává informaci o stavu fotosyntetického aparátu rostlin. Chlorofyl absorbuje záření především v oblasti viditelného spektra od 450 nm do 670 nm. V těchto spektrech se vyskytuje modrá a červená barva. Naopak chlorofyl silně odráží zelenou barvu (vlnová délka zelené barvy se pohybuje v rozmezí od 520 nm do 600 nm). Podle množství chlorofylu lze poznat například, zda je vegetace stresována (Brant et al. 2020). NIR záření udává množství biomasy. Podle těchto charakteristik můžeme s vysokou spolehlivostí detekovat porostní rozdíly jako je nedostatečná výživa, vodní stres a napadení rostlin škůdci nebo chorobami. Avšak podle těchto charakteristik nelze určit přesnou příčinu stresu a pro její určení je potřeba přistupovat ke každému pozemku individuálně a fyzicky prohlédnout daný porost (Lukas et al. 2012).



Obr. 2: Křivky odrazivosti spektra zelené vegetace, půdy a vody (upraveno podle Seos 2022).

Vegetační indexy jsou nejčastěji tvořeny kombinací několika spektrálních hodnot, které jsou sečteny, vynásobeny či vyděleny tak, abychom získali jednu hodnotu, která určí množství nebo stav vegetace (Campbell 1987).

Vegetační indexy jsou vyvíjeny s cílem zlepšit citlivost vegetace a zohlednit vliv atmosféry a půdy. Informace obsažené v jednom spektrálním pásmu jsou obvykle pro charakterizaci stavu vegetace nedostatečné, proto je potřeba se na vegetaci zaměřit pomocí vegetačních indexů. Vegetační indexy se obvykle vytvářejí kombinací dvou nebo více spektrálních pásem a vycházejí z poměrů jednotlivých složek spektra. Pro snímání optickými senzory je potřeba dostatečné listové plochy rostlin (Brant et al. 2020; Lukas et al. 2012).

Půda a vegetační pokryv odráží rozdílnou intenzitou elektromagnetické záření. Odrazivost porostu je závislá na druhu a stavu rostlin a také na jejich složení (obsah chlorofylu, zastoupení uhlíku). Pomocí kombinace snímků pořízených v rozdílných spektrech můžeme vypočítat vegetační indexy, které s větší mírou poukazují na variabilitu porostu (Brant *et al.* 2020). Vegetačních indexů existuje mnoho a možnosti jejich využití a vypočítací hodnota se mění v průběhu vegetace. Nejznámější vegetační indexy jsou například Normalized Difference Vegetation index (NDVI), Normalized Difference RedEdge (NDRE), Normalized Red Edge Index (NRERI), Enhanced Vegetation index (EVI), Leaf Area Index (LAI) nebo Isaria Reflectance Measurement Index (IRMI), uvádí Brant et al. (2020); Mezera et al. (2019).

4 Metodika

4.1 Charakteristika stanoviště

Praktická část bakalářské práce byla prováděna na zemědělském statku společnosti Statek Chyšě s.r.o., která se zaměřuje na inovace v zemědělství a využívání moderních technologií v precizním zemědělství. Rostlinná výroba na farmě zaujímá plochu 4 585 hektarech orné půdy, kde se pěstují různé plodiny jako pšenice ozimá, ječmen jarní, žito ozimé, řepka ozimá a další. Kromě toho se farma zabývá obhospodařováním 2 197 hektarů trvalých travních porostů a chovem masného skotu plemene Charolais.

4.1.1 Charakteristika půdního bloku

Přesný polní experiment probíhal na modelovém půdním bloku (obr. 3) o výměře 22,18 ha s označením ve LPIS 6301-0 (830-1030). Půdní blok se nachází u obce Štědrá v Karlovarském kraji v katastrálním území Chyšě a Podštěly v průměrné nadmořské výšce 479 m s průměrnou sklonitostí 1,83°. Na půdním bloku jsou zastoupeny 4 BPEJ (Bonitovaná půdně ekologická jednotka). Jde o BPEJ 5.59.00 (8,51 ha), 5.30.01 (11,7 ha) a v malé míře 5.58.00 (0,97 ha), 5.67.01 (0,89 ha). Na půdním bloku převládá středně těžký půdní druh (přibližně 52,73 %) a těžký půdní druh (47,73 %).



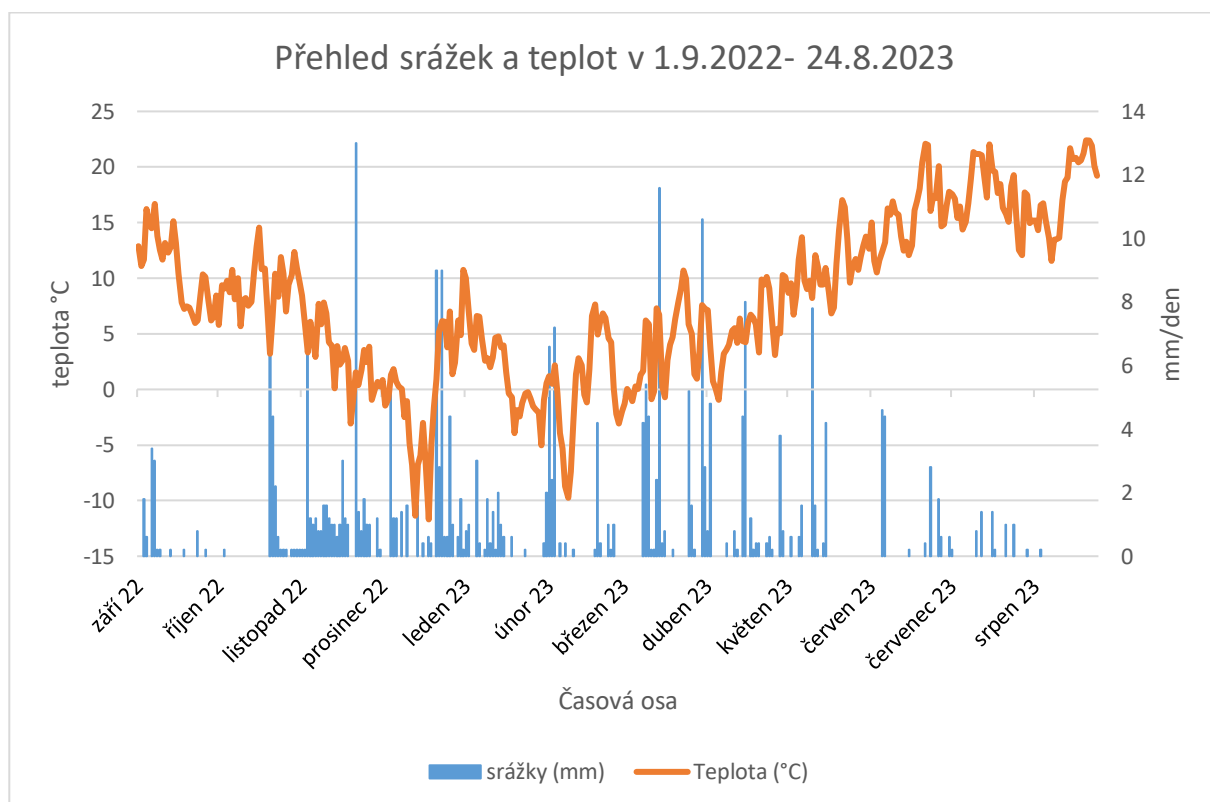
Obr. 3: Mapa půdního bloku 6301 (zdroj mapy LPIS)

4.1.2 Počasí

Meteorologické údaje pro oblast Toužim jsou zaznamenány v grafu 1, pokrývajícím období od 1. září 2022 do 24. srpna 2023 (do sklizně ozimé pšenice). Data o denním úhrnu srážek a teplotě vzduchu byla získána z meteorologické stanice Pessl imetos 3.3, umístěné přibližně 10 km od sledovaného půdního bloku. Tato stanice je součástí meteorologické sítě Isidor (Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze).

Měsíc březen byl na lokalitě srážkově nejprůzračnější, napršelo 50,2 mm. Naopak měsíce září, říjen, červen, červenec a srpen byly výrazně srážkově chudé.

Během sledovaného období celkový úhrn srážek dosáhl 273,6 mm. Od zasetí ozimé pšenice až po její sklizeň bylo měřeno 262,8 mm srážek. Průměrná denní teplota za sledované období činila 7,82 °C. Celkově lze konstatovat, že ročník byl velmi suchý a teplotně nadprůměrný, s teplou zimou.



Graf 1: Grafické vyjádření meteorologických údajů – průběhu teploty vzduchu (°C) a denních hodnot srážek (mm) z meteorologické stanice Isidor na lokalitě Toužim.

4.1.3 Agrotechnika

Na pozemku byla 13.10.2022 vyseta minimalizační technologií ozimá pšenice odrůdy LG Mocca. LG Mocca je krmná a oplatková pozdní odrůda s velmi vysokým výnosem, vhodná do všech výrobních oblastí od osivářské společnosti Limagrain s.r.o.

Pro setí byl použit radličkový secí stroj Horsch Sprinter 9 SW. Výsevek činil 175 kg/ha, předplodinou byla ozimá pšenice. Během setí bylo pod patu aplikováno 80 kg hnojiva NPK 10-26-26. Kompletní agrotechnické operace prováděné na půdním bloku jsou uvedené v tabulce 3. Aplikace hnojiv a jejich dávky jsou zapsány v tabulce 4. Veškeré chemické ošetření v průběhu vegetace dokládá tabulka 5.

Tab. 3: Popis polních prací prováděných na pokusné lokalitě

pracovní operace	termín provedení	specifikace
podmítka	19.8.2022	Bednar Striegel 12 (2 cm)
aplikace hnoje	12.9.2022	Drůbeží trus čerstvý (3,6 t/ha) + Hnůj skotu (skot bez TPM) (11t/ha)
zapravení hnoje	12.9.2022	Horsch Terrano 12 FM (10 cm)
kypření	12.10.2022	Horsch Tiger 8 MT (25 cm)
setí	13.10.2022	175 kg/ha osiva + 80 kg NPK
chemická ochrana	8.11.2022	aplikace 1
hnojení	3.3.2023	Lovofert LAD 27–180 kg/ha
hnojení	11.4.2023	Lovofert LAD 27–130 kg/ha
chemická ochrana	28.4.2023	aplikace 2
chemická ochrana	5.5.2023	aplikace 3
hnojení	5.5.2023	YaraVita Gramitrel + KRISTA MgS + YaraVita Bortrac 150
hnojení	19.5.2023	YaraVita Coptrac 500 + KRISTA MgS + YaraVita Bortrac 150 + YaraVita Zintrac 700
chemická ochrana	19.5.2023	aplikace 4
kvalitativní hnojení	29.5.2023	Lovofert LAD 27–85 kg/ha
sklizeň	24.8.2023	výnos 7,32 t/ha

Tab.4: Pracovní operace spojené s výživou rostlin

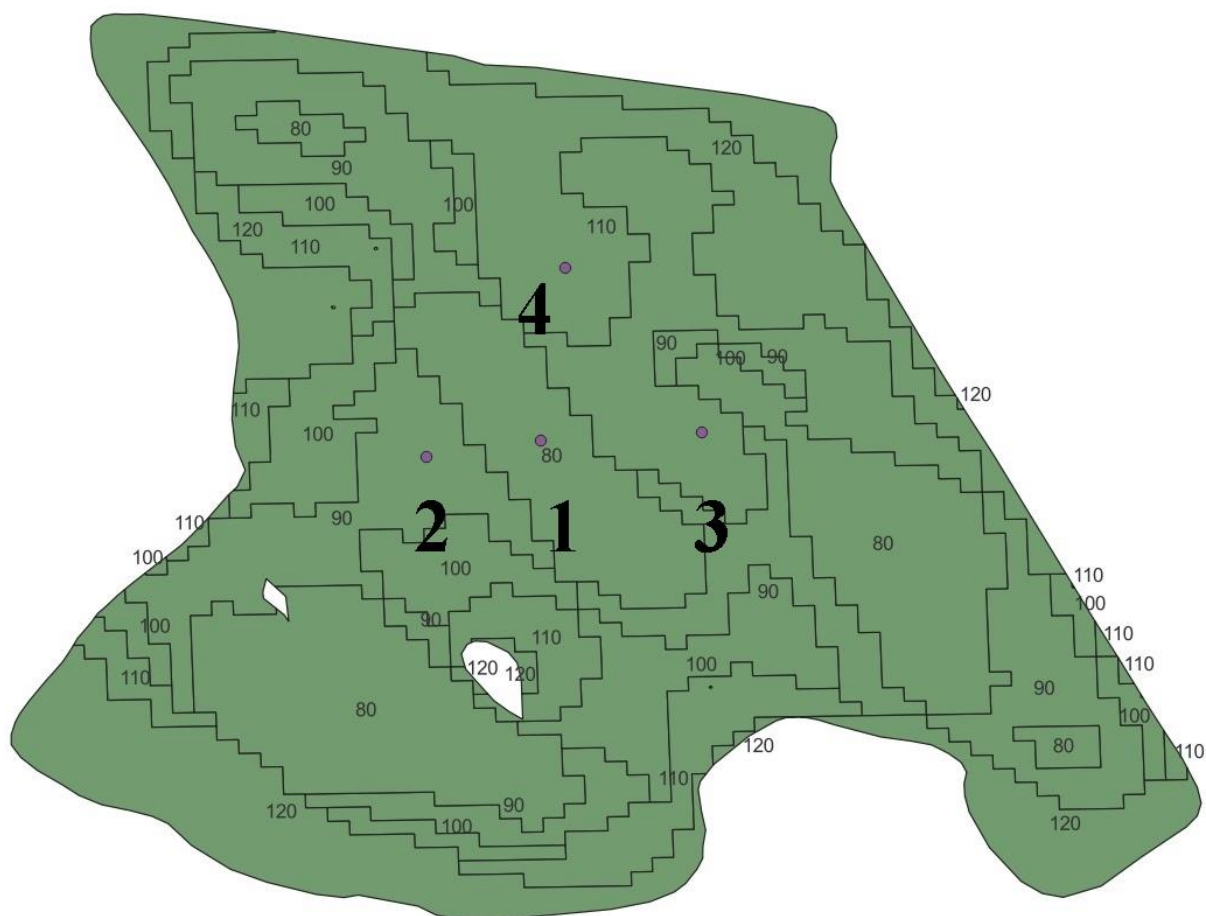
Datum	Hnojivo	Výměra [ha]	MJ/ha	Množství	MJ
29. 5. 2023	84 – LOVOFERT LAD 27	22,27	85,0	1 893,0	kg
19. 5. 2023	90 – YaraVita Zintrac 700	22,23	0,3	6,7	l
19. 5. 2023	91 – YaraVita Bortrac 150	22,23	0,2	4,5	l
19. 5. 2023	92 – KRISTA MgS	22,23	2,0	44,5	kg
19. 5. 2023	104 – YaraVita Coptrac 500	22,23	0,2	4,5	l
5. 5. 2023	91 – YaraVita Bortrac 150	22,23	0,2	4,5	l
5. 5. 2023	92 – KRISTA MgS	22,23	1,25	27,8	kg
5. 5. 2023	86 – YaraVita Gramitrel	22,23	1,2	26,7	l
11. 4. 2023	84 – LOVOFERT LAD 27	22,27	130,0	2 895,1	kg
3. 3. 2023	84 – LOVOFERT LAD 27	22,27	180,0	4 008,6	kg
13. 10. 2022	96 – NPK 10-26-26	22,27	80,0	1 781,6	kg
12. 9. 2022	1 – Hnůj skotu (skot bez TPM)	22,27	11,0	245	t
12. 9. 2022	80 – Drůbeží trus čerstvý	22,27	3,6	80,2	t
5. 8. 2022	14 – Sláma z obilovin	22,27	3,0	66,8	t

Tab. 5: Pracovní operace spojené s ochranou rostlin

Datum	číslo aplikace	Přípravek	Výměra [ha]	MJ/ha	Množství	MJ
19. 5. 2023	4	Spectre Maxx	22,23	0,3	6,7	l
19. 5. 2023		Sinstar	22,23	0,8	17,8	l
19. 5. 2023		Silwet Gold	22,23	0,1	2,2	l
5. 5. 2023	3	Moxa	22,23	0,25	5,6	l
5. 5. 2023		Agri CCC - 750 SL	22,23	0,8	17,8	l
5. 5. 2023		PROCHLORAZ 450	22,23	1,0	22,2	l
5. 5. 2023		Spectre Maxx	22,23	0,4	8,9	l
5. 5. 2023		Silwet Gold	22,23	0,12	2,7	l
28. 4. 2023	2	Response	21,19	120,0	2 542,8	g
28. 4. 2023		Biplay SX	21,19	45,0	953,6	g
28. 4. 2023		Starane Forte	21,19	0,4	8,5	l
8. 11. 2022	1	Cougar Forte	21,19	0,5	10,6	l
8. 11. 2022		Gropper SX	21,19	7,5	158,9	g

4.1.4 Produkční zóny pozemku

Modelový pozemek byl podle dlouhodobého výnosového potenciálu rozdělen do čtyř zón, které byly označeny podle jejich produktivity. Zóna 1 byla identifikována jako nejméně výnosná, zóna 2 jako méně výnosná, zóna 3 jako průměrně výnosná a zóna 4 jako nejvýnosnější. (obr. 4). Zóny výnosového potenciálu byly identifikovány na základě analýzy prostorových a časových dat z družicových snímků z předchozích vegetačních období na daném pozemku. Pro tuto identifikaci byla využita platforma Cropwise (Syngenta, Švýcarsko), která pracuje s daty získanými z každého vegetačního období a používá satelitní snímky s nejvyšší hodnotou vegetačního indexu NDVI. Tato metoda umožňuje rozdělit pozemek do zón s různou úrovní výnosového potenciálu na základě analýzy vegetačního pokryvu a zdraví rostlin.



Obr. 4: Mapa půdního potenciálu s označením jednotlivých produkčních zón

4.2 Odběry biomasy

4.2.1 Místa odběru

Pro sběr nadzemní biomasy pšenice ozimé byly určeny čtyři sběrná místa (viz tab. 6) na základě jejich umístění na poli. Tyto body byly určeny na základě stanovených souřadnic pomocí GPS zařízení. Každé sběrné místo bylo označeno vytyčovacím tyčemi s číslem odpovídajícím zóně, ve které se nacházelo, což usnadnilo orientaci při sběru nadzemní biomasy.

Tab. 6: Souřadnice odběrových míst ve formátu WGS-84

zóna	zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
1	50,0487554 N	13,1102143 E
2	50,0486485 N	13,1094711E
3	50,048809N	13,1112629E
4	50,0498776 N	13,1103726E

4.2.2 Termíny odběru

V jednotlivých zónách byly od jara 2023 (BBCH 30) v pravidelných intervalech odebírány vzorky nadzemní biomasy pšenice. Odběry každého vzorku probíhaly z 0,5 m z řádku porostu. Celkem bylo provedeno 7 odběrů biomasy v rozmezí od 3. 5. do 1.8. 2023, vždy se 4 opakováními v každé zóně výnosového potenciálu. Odebrané vzorky biomasy byly následně vysušeny při 105 °C a zváženy. Termíny odběrů vzorků a hodnotu BBCH v jednotlivých termínech odběru dokládá tab. 7.

Tab. 7: Termíny odběru vzorků a stav porostů vyjádřená BBCH fází a hodnotou DOY (číslo dne v roce).

termín	3.5.2023	19.5.2023	1.6.2023	15.6.2023	29.6.2023	14.7.2023	1.8.2023
DOY	123	139	152	176	190	205	223
BBCH	30	32	45	61	75	80	89

4.2.3 Zpracování hodnot nadzemní biomasy

Odebrané vzorky nadzemní biomasy ozimé pšenice byly váženy při 100 % sušíně Tyto vzorky byly sbírány z plochy o rozměrech 0,3 × 0,5 metru, což představuje celkovou plochu 0,15 m². Pro každou produkční zónu byla vypočítána průměrná produkce nadzemní biomasy v tunách na hektar pro jednotlivé termíny sběru.

Modelace s-křivky

Denní hodnoty produkce suché nadzemní biomasy byly stanoveny z průměrných hodnot pomocí S-křivek pro jednotlivé zóny. Pro vytvoření modelu S-křivky vývoje pšenice byl použit matematický model v statistickém software Statistica 12.0 (Software TIBCO, USA). V rámci programu bylo použito funkce nelineárních odhadů

γ parametrů logistického trendu $Tr_t = \frac{\gamma}{1+\alpha\beta^t}$ metodou vlastní regrese (metoda nejmenších čtverců). Pro odhad parametrů α , β , a γ bylo potřeba dosadit hodnoty navážené biomasy podle navážených hodnot jednotlivých odběrů za Tr_t a za proměnnou t datum vyjádřený pomocí DOY (day of year, hodnota udává pořadí jednotlivých dnů v roce). Pro každou produkční zónu byl vyjádřen předpis pro výpočet nadzemní biomasy ve kterémkoli dni během jarní vegetace.

Parametry křivky byly stanoveny s hladinou spolehlivosti 95 % (alfa = 0,050).

4.2.4 Hodnocení sklizňových parametrů

Nadzemní biomasa ozimé pšenice byla naposledy odebrána dne 1. 8. 2023. U vzorků z jednotlivých zón byla zaznamenána hustota porostu (počet klasů na metr) a výška porostu. Vzorky byly následně vymláčeny na stacionární mlátičce (obr. 5). Vymláčené zrno se následně hodnotilo z hlediska hmotnosti tisíce zrn (HTZ) (obr. 6) a výnosu zrna v jednotlivých zónách.



Obr. 5: Stacionární mlátička (foto Bureš)



Obr. 6: Počítadlo zrn Contador (foto Bureš).

5 Výsledky

5.1 Hodnocení počtu rostlin a biometrických parametrů rostlin

Tabulka 8 dokumentuje parametry počtu odnoží na rostlinu (v kusech) a počtu odnoží na 1 m². Nejvyšší počet rostlin byl stanoven na zóně 3 a nejnižší na zóně 2. Byly stanoveny statisticky průkazné rozdíly hodnot mezi zónami v počtu odnoží na rostlinu, nejvyšší počet odnoží byl jednoznačně v zóně 4, nejnižší v zóně 3. Průměrná hmotnost nadzemní biomasy rostliny byla nejvyšší v zóně 2 a nejnižší v zóně 4.

Tab. 8: Průměrný počet rostlin (kusy), průměrný počet odnoží na rostlině (kusy) a průměrná hmotnost suché nadzemní biomasy rostliny (g) pšenice ozimé na hodnocených bodech 4.5.2023. Rozdílné indexy mezi průměry dokládají statisticky průkaznou diferenci mezi hodnotami v rámci sloupce na hladině spolehlivosti 95% (ANOVA, Tukey).

zóna	počet rostlin na m² (kusy)	počet odnoží na m² (kusy)	průměrná hmotnost nadzemní biomasy rostliny (g)
1	316,7 a	1285,0 a	0,863 a
2	255,0 a	1270,0 a	1,023 a
3	320,0 a	1220,0 a	0,906 a
4	291,7 a	1483,3 a	0,800 a
p-value	0,3997	0,8039	0,1981

5.2 Hodnocení dynamiky produkce suché nadzemní biomasy

Při hodnocení nadzemní biomasy v jednotlivých zónách výnosového potenciálu byly stanoveny hodnoty, které dokládá tab.9. Z tabulky lze vyvodit, že u produkční zóny č. 4 byla biomasa na začátku odběrů (bbch 30) nejnižší a na konci odběrů (bbch 89) nejvyšší, zatímco u zóny č.1 byla počáteční hodnota biomasy poměrně vysoká, na konci odběrů byla nejnižší.

Tab. 9: Průměrná suchá produkce nadzemní biomasy porostů (t/ha) během vegetace v roce 2023 u ozimé pšenice v jednotlivých termínech hodnocení (BBCH – růstová fáze, DOY. Číslo dne v roce). Rozdílné indexy mezi průměry dokládají statisticky průkaznou diferenci mezi hodnotami v rámci sloupce na hladině spolehlivosti 95% (ANOVA, Tukey).

zóna	BBCH 30	BBCH 32	BBCH 45	BBCH 61	BBCH 75	BBCH 80	BBCH 89
	DOY 123 3.5.2023	DOY 139 19.5.2023	DOY 152 1.6.2023	DOY 176 15.6.2023	DOY 190 29.6.2023	DOY 205 14.7.2023	DOY 223 1.8.2023
	produkce suché nadzemní biomasy prostu (t/ha)						
1	2,705 a	4,885 ab	7,994 ab	11,684 b	13,917 a	12,401 a	15,414
2	2,579 a	5,487 b	8,348 ab	11,731 b	16,297 a	15,062 ab	19,549
3	2,808 a	5,317 b	9,013 b	12,429 b	15,202 a	15,950 b	18,882
4	2,275 a	3,711 a	6,438 a	8,563 a	13,284 a	17,619 b	19,777
p-value	0,1001	0,0175	0,0126	0,0033	0,1489	0,0025	

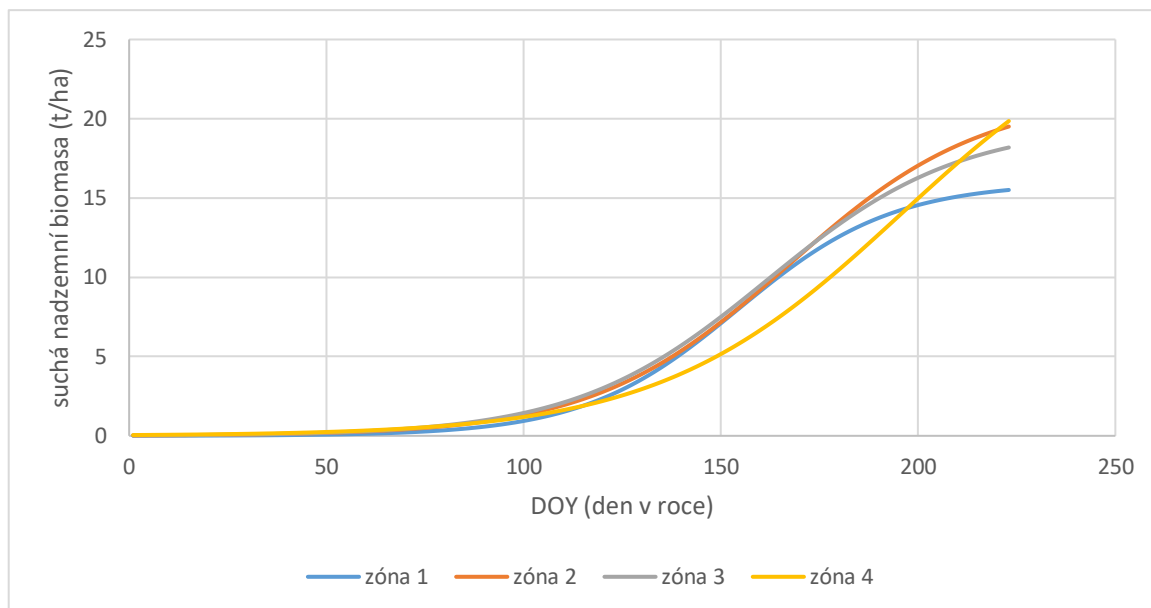
Z hodnot nadzemní biomasy byly odvozeny rovnice S-křivek popisující vývoj suché nadzemní biomasy ozimé pšenice pro různé produkční zóny. Těmito rovnicemi je možné spočítat produkci biomasy porostů pro libovolný den během vegetačního období. Podobu dokládají rovnice 1, 2, 3 a 4. Graf 2 dokumentuje vztah mezi hodnotami suché nadzemní biomasy a časem vyjádřeným pomocí DOY (den v roce) v různých zónách výnosového potenciálu. V grafu lze vidět odlišnou dynamiku produkce nejvýnosnější zóny pro konec vegetačního období.

$$biomasa\ zóna\ 1 = \frac{15,97681}{1+1,07355*0,95028^{DOY-153}} \quad (1)$$

$$biomasa\ zóna\ 2 = \frac{21,523}{1+1,7725*0,96019^{DOY-153}} \quad (2)$$

$$biomasa\ zóna\ 3 = \frac{19,65515}{1+1,43201*0,95974^{DOY-153}} \quad (3)$$

$$biomasa\ zóna\ 4 = \frac{28,06303}{1+4,02862*0,968^{DOY-153}} \quad (4)$$



Graf 2: Porovnání růstové dynamiky produkčních zón pomocí S-křivky

5.3 Hodnocení výnosových parametrů

U většiny výnosových parametrů (tab. 10) byl statisticky průkazný rozdíl mezi zónami. Největší výnos zrna však měla zóna číslo 4 a zóna číslo 2. Zóna číslo 4 to díky vysoké hmotnosti tisíce semen (HTS) a zóna číslo 2 díky vysokému počtu zrn v klasu a vysokému počtu klasů. Výnos slámy byl na zónách 2;3;4 téměř totožný, v zóně 1 byl oproti ostatním zónám nízký.

Tab. 10: Parametry porostu pšenice ozimé před sklizní (14.7.2023) na vybraných bodech. Rozdílné indexy mezi průměry dokládají statisticky průkaznou diferenci mezi hodnotami v rámci sloupce na hladině spolehlivosti 95% (ANOVA, Tukey).

zóna	počet zrn v klasu (kusy)	HTS (g)	počet klasů/m² (kusy)	výnos zrna (t/ha), 100% sušina a čistota	výnos slámy (t/ha)	délka rostlin (m)
1	44,8 a	38,8 a	648	8,316	7,097	0,64
2	50,2 a	42,5 b	668	11,133	8,416	0,71
3	38,4 a	43,7 c	672	10,544	8,338	0,60
4	46,4 a	46,0 d	584	11,399	8,377	0,60
p-value	0,3823	0				

5.4 Hodnocení kvalitativních parametrů zrna před sklizní

Kvalitativní složení zrn v zónách je dle tabulky 11 velmi rozdílné mezi zónami. Obsah lepku se pohyboval od 15 do 19,5 %. Nejvyšší byl na zóně 1 a nejnižší na zóně 4. Obsah škrobu se pohyboval okolo 70 %, v zóně 1 byl obsah škrobu nejnižší a v zóně 4 nevyšší. Obsah N-látek je obecně velmi nízký.

Tab. 11: Kvalitativní parametry zrna pšenice ozimé před sklizní (14.7.2023) na vybraných bodech. Rozdílné indexy mezi průměry dokládají statisticky průkaznou diferenci mezi hodnotami v rámci sloupce na hladině spolehlivosti 95% (ANOVA, Tukey).

zóna	lepek (%)	škrob (%)	N-látky (%)
1	19,5	69,7	10,8
2	16,0	71,9	<10
3	17,1	71,4	10,0
4	<15	72,3	<10

6 Diskuze

Využití zón výnosového potenciálu zemědělství má široké možnosti uplatnění pro technologie precizního zemědělství. Zóny výnosových potenciálů jsou nástroj pro optimalizaci vstupů a výstupů zemědělské výroby.

Hodnocení produkčních zón

Tato práce se věnovala produkci biomasy ozimé pšenice v jednotlivých zónách výnosového potenciálu. Při prvním jarním hodnocení porostu a odběru biomasy po obnovení vegetace porost vykazoval v jednotlivých zónách statisticky průkazné rozdíly v počtu rostlin na m². Nejvyšší počet rostlin na m² byl v zónách 1 a 3 a to okolo 320 rostlin na m². Byly také zaznamenány statisticky významné rozdíly v počtu odnoží na rostlině mezi jednotlivými zónami. Zóna s nejvyšším produkčním potenciálem (4) prokázala nejvyšší počet odnoží na m² a to 1483, což vykazuje, že poskytuje nejlepší podmínky pro růst a odnožování. Celková produkce nadzemní biomasy a výnos zrna byl největší v zóně 4 (největší produkční potenciál), nejnižší výnos byl v zóně 1 (nejnižší produkční potenciál). Zóna 2 měla menší produkční potenciál než zóna 3 a i přesto měla větší, jak produkci nadzemní biomasy, tak výnos zrna.

Jednotlivé zóny produkčního potenciálu mezi sebou vykazovaly po celou dobu rozdílnou dynamiku nárůstu nadzemní biomasy. Zóny 2 a 3 měli v průběhu vegetace sice podobnou produkci nadzemní biomasy, ale ke konci vegetace zóna 2 vyprodukovala více biomasy než zóna 3. Zóna 1 měla v první polovině vegetace srovnatelnou produkci suché nadzemní biomasy se zónami 2 a 3 a větší produkci než zóna 4, ale poté se produkce ostatních zón zvýšila mnohem více. Zóna číslo 4 v průběhu vegetace zaostávala až do konce června (BBCH 75), poté se produkce nadzemní biomasy rapidně zvýšila a překonala ostatní produkční zóny.

Šroller (1998) uvádí, že výnos zrna obilovin je tvořen třemi základními výnosovými prvky, a to počtem klasů na jednotku plochy počtem zrn v klasu a HTZ v gramech. Při hodnocení sklizňových parametrů mezi zónami nejvyšší statistické rozdíly vykazoval parametr počet zrn v klasu a HTS. Celkový výnos zrna v t/ha a produkce nadzemní biomasy byla největší v zónách číslo 4 a číslo 2. Zóna číslo 4 (nejvyšší hodnota relativního výnosového potenciálu) dosáhla tohoto výsledku především díky vysoké hmotnosti tisíce semen (HTS), zatímco zóna číslo 2 díky vysokému počtu zrn v klasu a vysokému počtu klasů. Nejnižší výnos byl v zóně 1 (nejnižší hodnota relativního výnosového potenciálu) a to díky velmi nízké hodnotě HTS, počet zrn v klasu a počet klasů byl srovnatelný s ostatními zónami. Délka rostlin byla na produkční zóně 3 a 4 shodná a to 0,6m, na zóně 2 byla tato hodnota nejvyšší a to 0,71m a na zóně 1 tento parametr dosáhl hodnoty 0,64.

Chemické složení zrna bylo v každé zóně rozdílné. Chemické složení zrna kolísá v závislosti na oblasti pěstování, na odrůdě, agrotechnice a průběhu počasí. (Šroller 1998) Hodnoty obsahu lepku se pohybovaly v rozmezí od 15,0 do 19,5 %. Nejvyšší hodnota obsahu lepku byla zaznamenána v zóně 1, zatímco nejnižší v zóně 4. Obsah škrobu se pohyboval kolem 70 %, s nejnižší hodnotou v zóně 1 a nejvyšší v zóně 4. Obsah N-látek byl ve všech zónách poměrně nízký.

7 Závěr

Z práce vyplývá potvrzení položené hypotézy bakalářské práce. Celkový výnos zrna v t/ha a produkce nadzemní biomasy byla největší v zóně 4 (největší produkční potenciál), nejnižší výnos byl v zóně 1 (nejnižší produkční potenciál). Zóna 2 měla menší produkční potenciál než zóna 3 a i přesto měla větší, jak produkci nadzemní biomasy, tak výnos zrna. Rozdíl mezi zónami 2 a 3 (667 kg nadzemní biomasy). Přesto lze na základě dynamiky produkce suché nadzemní biomasy na hodnocených zónách (1–4) potvrdit platnost stanovené hypotézy.

Doporučení pro praxi:

1. Výše hodnoty relativního výnosového potenciálu je spojena s vyšší produkcí suché nadzemní biomasy porostu na jednotku plochy.
2. Na zóně 1 s nejnižším výnosovým potenciálem byl výnos biomasy na konci vegetace 15,414 t/ha, na zóně 4 s nejvyšším výnosovým potenciálem 19,777 t/ha.
3. Výnos zrna na zóně 1 s nejnižším výnosovým potenciálem 8,316 t/ha na zóně 4 s nejvyšším výnosovým potenciálem 11,399 t/ha
4. Přesto, že čím vyšší je relativní výnosový potenciál, tím větší je produkce suché nadzemní biomasy porostu na dané ploše, může docházet k převyšení hodnoty zóny s vyšším výnosovým potenciálem, zónou s nižším výnosovým potenciálem.

8 Literatura

- Adamchuk VI, Ferguson RB, Herbert GW. Soil Heterogeneity and Crop Growth, In: Oerke EC. (eds.) Precision Crop Protection – the Challenge and Use of Heterogeneity, pp. 3-16, Dordrecht; Heidelberg [u.a.]: Springer, 2010.
- Adamchuk VI, Hummel JW, Morgan MT, Upadhyaya SK. 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. **44**(1):71-91.
- Adamchuk VI, Christenson PT. 2005: An integrated system for mapping soil physical properties on-the-go: the mechanical sensing component. In proceeding: Precision Agriculture 05. Wageningen Academic Publishers. 449–455.
- Adamchuk VI, Viscarra RA, Marx DB, Samal AK. 2009. Enhancement of On-theGo Soil Sensor Data Using Guided Sampling.
- Adamchuk VI. 2007: Development of On-the-Go Soil Sensor Systems. 1st Global Workshop on High Resolution digital soil sensing and mapping. Sydney, Australia.
- Ambrožová L. Porovnání výnosové schopnosti ozimých a jarních odrůd pšenice. Bakalářská práce. České Budějovice: Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, 2011.
- ASAE Standards, Michigan J. 2002. Soil cone penetrometer. USA. **49**:313.
- Bannari A, Morin D, Bonn F, Huete AR. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*
- Ben-Dor E, Chabrillat S, Dematt JAM, Taylor GR, Hill J, Whiting ML, Sommer S. 2009. Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. *Remote Sensing of Environment*. **113**.
- Bittner V. 2009. Škodlivé organizmy pšenice. Kurent s.r.o., České Budějovice.
- Borůvka L. 2001. Variabilita půdních vlastností a jejich hodnocení. Habilitační práce, Katedra pedologie a geologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Brant V, Kroulík M, Zábranský P, Škeříková M, Krček V, Nýč M, Job Z. 2017: Variabilita infí ltračních procesů ve vztahu ke zpracování půdy. *Úroda*. **65**(11): 54–57.
- Brant V; Krouhlík M; Krček V; Krása J; Kapička J. 2020. Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby. České Budějovice: Kurent.
- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*. **58**(5):1501-1511.
- Campbell, J. B. (1987) Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, New York, USA
- Carrara M, Comparetti A, Febo P, Morello G, Orlando S. 2003: Mapping Soil Compaction Measuring Cone Penetrometer Resistance. In: Werner A, Jarfe A: Programme Book of the Joint Conference.
- Carter MR, Gregorich EG. Soil sampling and methods of analysis, 2nd. Pinawa, Manitoba; Boca Raton FL: Canadian Society of Soil Science; CRC Press, 2008.
- Czakó M, Malík S. 2017. První zkušenosti s mořidlem Systiva v ozimé pšenici. *Agromanual*. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-apestovani/choroby/prvni-zkusenosti-s-moridlem-systiva-v-ozime-psenici> (accessed december 2023).

Český statistický úřad, 2023. Český statistický úřad. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/odhady-sklizne-operativni-zprava-k-30-9-2023>. (accessed february 2024).

De Meijer RJ. 1998: Heavy minerals: from 'Edelstein' to Einstein. *Journal of Geochemical Exploration*. **62**: 81–103.

Diviš J. Pěstování rostlin. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v ČB Zemědělská fakulta, 2000.

Diviš J. Pěstování rostlin. 2. Doplnkové vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v ČB Zemědělská fakulta, 2010.

Dobrovolný P. 1998. Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita.

Doerge, T. 2001: Fitting soil electrical conductivity measurements into the precision farming toolbox. Wisconsin Fertilizer, Agrilime and Pest Management Conference. Madison.

Ettema CE, Wardle DA. 2002: Spatial soil ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **17**:177–183.

Faměra O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze.

Foltýn J. 1970. Pšenice. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.

Frampton WJ, Dash J, Watmough G, Milton EJ. 2013. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.

Franzen DW. 2011. Collecting and analyzing soil spatial information using kriging and inverse distance.

Geiger SC, Manu A. 1993: Soil surface characteristics and variability in the growth of millet in the plateau and valley region of Western Niger. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **45**:203–211.

Graman J, Čurn V. Šlechtění zemědělských plodin: (obiloviny, luskoviny). České Budějovice: JU ZF České Budějovice, 1998.

Hatfield JL, Gitelson AA, Schepers JS, Walthall CL, Agron J. 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. **100**:117-131.

Homola L. 2016. Hodnocení kvality bílkovinného komplexu vybraných odrůd pšenice pro pekárenské a pečivárenské využití. Disertační práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně.

Horčíčka P, Čapek J, Kocourková Z, Bížová I, Veškrna O, Bláha T, Sedláček T. 2012. Pšenice s jistotou. Kurent s.r.o., České Budějovice.

Christy CD. 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*. **61**:10-19.

Johnson, V.A., L.W. Briggles, J.D. Axtel, L.F. Bauman, E.R. Leng, and T.H. Johnston. 1978. Grain crops. In: M. Milner, N.S. Scrimshaw and D.I.C. Wang (eds.) Protein resources and technology. AVI Publishing, Westport, Connecticut, USA. p. 239–255.

Jordan CF. 1969. Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. *Ecology*. **50**:663-666

Jurga J. 2003: The DGPS Device to Investigating Chosen Physical Soil Properties and Taking Soil Samples of Undisturbed Structure.

Kazda J. 2014. Škudci polních plodin. Praha: Profi Press.

Konvalina P, Moudrý J. 2008: Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.

Křen J, 1998: Metodika pěstování ozimých obilnin. Zemědělský výzkumný ústav, Kroměříž

Kulovaná Eliška. 2001. Zpracování půdy k ozimým plodinám. Online. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/zpracovani-pudy-k-ozimym-plodinam/>. (accessed december 2023).

Lal R, Reicosky DC, Hanson JD. 2007: Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil & Tillage Research*. **93**: 1–12.

Lapen DR, Hayhoe HN, Topp GC, McLaughlin NB, Gregorich EG. 2002: Measurements of Mouldboard Plow Draft: 2. Draft Soil Crop and Yield Draft Associations. *Precision Agriculture*. **3**(3): 237–257.

Lillesand TM, Kiefer RW. 1994. Remote sensing and image interpretation, 3rd. New York: Wiley & Sons.

Lorenz F, Münchhoff K. 2015: Teilfl ächren bewirtschaften. Schritt für Schritt. AgrarPraxis kompakt, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Lukas V, Neudert L, Křen J, Krása J, Kapička J. 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně.

Lukas V, Ryant P, Neudert L, Dryšlová T, Gnip P, Smutný V. 2012. Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Mallarino AP, Wittry DJ. 2004. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture*. **5**(2):131-144.

Mezera J, Lukas V, Elbl J, Smutny V. 2019. Comparison of Sentinel-2 and ISARIA winter wheat mapping for variable rate application of nitrogen fertilizers.

Mouazen AM, De Baerdemaeker J, Ramon H. 2005: On-the-go sensor for measurement of dry bulk density referring to soil compaction. In proceeding: Precision Agriculture '05, Wageningen Academic Publishers.

Neudert L, Smutný V. 2003. Polní plodiny. Ústav obecné produkce rostlinné MZLU, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/prezentace/pp/uvod.php (accessed December 2023).

Noack S. 2001: Hydraulic in Mobile Equipment. Bosch Rexroth AG, 1st edition, Omegon Fachliteratur, Ditzingen, Germany.

Parkanová M. 2019. Fenologické fáze (fenofáze) podle BBCH. Online. Dostupné z: http://www.prodejnazahradkar.cz/BBCH_FenologickeFaze.php#StupBBCH. (accessed December 2023).

Petr J, Húska J. (1997): Speciální produkce rostlinná – I. (Obecná část a obilniny). Česká zemědělská univerzita v Praze, Agronomická fakulta.

Petr J, Škeřík J. (1999): Výnosová odezva odrůd ozimé pšenice na nízké vstupy. *Rostlinná výroba*, 45, 1999 (12): 525-53.

Petr J. 1987: Počasí a výnosy. Praha.

Pierce, F. J., Nowak, P. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999, vol. 67, pp. 1-85.

Pulkárek J; Capouchová I, Hamouz K. 2003. Speciální fytotechnika. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra rostlinné výroby.

Reicosky DC, Allmaras RR. 2003: Advances in tillage research in North American cropping systems. In: Shrestha A. (Ed.): Cropping Systems: Trends and Advances. Haworth Press, Inc., New York.

Ryant P, Antošovský J, Škarpa P. 2017. Hnojení pšenice ozimé na jaře. Agromanual. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-pšeniceozime-na-jare> (accessed december 2023).

Selgen a.s. Pšenice ozimá. Online. Dostupné z: <https://selgen.cz/agrotechnicka-doporuceni/pšenice-ozima-agt/>. (accessed december 2023)

Spáčilová V. 2014. Podzimní herbicidní ochrana ozimé pšenice. Agromanual. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/podzimniherbicidni-ochrana-ozime-pšenice> (accessed December 2023).

Šarapatka B, Urban J. 2006: Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců ve spolupráci s MŽP ČR, Šumperk.

Šarec O, Prošek V, Mimra M.: Použití elektrické vodivosti pro mapování půdních rozdílů na pozemcích. In Zemědělská technika a energetika na prahu nového tisíciletí. JČU v Českých Budějovicích, 2001.

Šnobl J, Pulkárek J. Základy rostlinné produkce. 2. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005.

Špaldon E. (1982): Rostlinná výroba. Státní zemědělské nakladatelství, Praha

Šroller J. 1998. Speciální fytotechnika-rostlinná výroba. Praha: Ekopress.

Van Groenigen JW., Siderius W, Stein A. 1999. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. Geoderma. vol. **87**(3-4): 239-259.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Kolář L. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press s.r.o., Praha.

Wezel A, Böcker R. 1999: Mulchingwithbranchesof an indigenousshrub (Guierasenegalensis) and yield of millet in semi-arid Niger. Soil & Tillage Research. **50**:341–344.

Zídek T. (1992): Nechemická ochrana rostlin. Brázda, Praha.

Zimolka J, Edler S, Hřivna L, Jánský J, Kraus P, Mareček J, Novotný F, Richter R, Říha K, Tichý F. 2005. Pšenice pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, s.r.o., Praha.