



Agrotest fyto, s.r.o.

Havlíčková 2787/121, 767 01 Kroměříž

Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

Bělidla 486/4a, 603 00 Brno

GRYF HB, spol. s r.o.

Čechova 314, 580 01 Havlíčkův Brod

Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 1, 613 00 Brno



Využití měření spektrální odrazivosti a odvozených specializovaných vegetačních indexů v pěstební technologii jarního ječmene

(Metodika pro zemědělskou praxi)



Kroměříž, Brno, Havlíčkův Brod, 2014

Zpracovali:

Ing. Karel Klem, Ph.D. (Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.)

Ing. Petr Míša, Ph.D. (Agrotest fyto, s.r.o.)

Ing. Marek Míša (GRYF HB, spol. s r.o.)

Prof. Ing. Jan Křen, CSc. (Mendelova univerzita v Brně)

Oponenti:

Ing. Jan Haberle, CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.)

Ing. František Kůst (Ministerstvo zemědělství ČR)

Abstrakt

Metodika seznamuje uživatele s možnostmi praktického využití spektrálních charakteristik porostů, specializovaných vegetačních indexů NRERI a NDVI, při řízení procesů v pěstební technologii jarního ječmene. Obsahuje návod k měření výše uvedených indexů i principy agronomické interpretace. Praktické aplikace výsledků měření jsou orientovány do oblasti pěstebních technologií jarního ječmene (usměrnění výživy dusíkem, ošetření porostů proti poléhání, odhad výnosu, predikce obsahu N-látek v zrnu).

Klíčová slova

jarní ječmen, pěstební technologie, diagnostické metody, vegetační indexy, NDVI, NRERI

Metodika byla vytvořena za podpory:

- Technologické agentury České republiky, v rámci projektu reg. č. TA02010780 s názvem „Spektrálně-optické senzory pro simultánní vyhodnocení variability výživného stavu a struktury porostů polních plodin“.
- Ministerstva zemědělství - Národní agentury pro zemědělský výzkum, v rámci projektu č. QI111A133 s názvem „Zlepšení využití odrůdového potenciálu obilnin na základě časové a prostorové analýzy spektrálních charakteristik porostu“.

Metodika byla certifikována Odborem rostlinných komodit Ministerstva zemědělství České republiky vydáním osvědčení č. 82531/2014 - MZE-17221 ze dne 12. 12. 2014

ISBN 978-80-87555-12-5

Obsah

		Strana
I	Cíl metodiky	4
II	Vlastní popis metodiky	5
II.1	Úvod do problematiky	5
II.1.1	Spektrální odrazivost	5
II.1.2	Výživa ječmene dusíkem	6
II.1.3	Diagnostika obsahu dusíku	8
II.2	Význam vyhodnocení výživného stavu, hustoty porostu a rizika poléhání pro pěstební technologie ječmene	9
II.3	Specializované vegetační indexy (NDVI, NRERI) pro diagnostiku výživného stavu a hustoty porostu	14
II.4	Praktické využití	18
II.4.1	Měřicí systém Magic XBP s měřicí hlavicí XB9 (optická sonda pro měření spektrálních charakteristik porostů)	18
II.4.2	Postup měření	24
II.4.2.1	Kalibrace	24
II.4.2.2	Vlastní měření	24
II.4.3	Interpretace výsledků	25
II.4.3.1	Vyhodnocení produkce sušiny nadzemní biomasy	26
II.4.3.2	Vyhodnocení stavu dusíkaté výživy	27
II.4.3.3	Odhad výnosu	34
II.4.3.4	Predikce obsahu dusíkatých látek v zrna	35
II.4.3.5	Predikce poléhání	37
III	Srovnání „novosti postupů“	40
IV	Popis uplatnění certifikované metodiky	41
V	Ekonomické aspekty	42
VI	Seznam použité související literatury	43
VII	Seznam publikací, které předcházely metodice	44

I Cíl metodiky

Přizpůsobení pěstebních technologií dle aktuálních podmínek ročníku a pozemku (nebo jeho části) a dle aktuálního stavu porostu představují jednu z největších rezerv v zefektivnění pěstování polních plodin a využívání produkčních faktorů. Mohou pěstitelům přinášet bezprostřední úspory na materiálových vstupech, především na průmyslových hnojivech, pesticidech, regulátorech růstu a případně i pohonných hmotách, při současném udržení či zvýšení výnosu a kvalitativních parametrů.

Přizpůsobení technologie ovšem musí předcházet objektivní vyhodnocení aktuálního stavu, a to pokud možno v krátkém čase, na poměrně husté síti sledovacích bodů a při minimálních nákladech. Tyto podmínky splňují především nepřímé diagnostické metody využívající např. změn optických vlastností porostu, souhrnně označované jako metody dálkového průzkumu. K metodám, které jsou dosud nejvíce rozpracovány a mají také nejvyšší potenciál širokého použití, patří spektrální odrazivost.

Cílem metodiky je seznámit pěstitele v zemědělské praxi a poradce působící na úseku rostlinné produkce s možnostmi využití diagnostických metod založených na měření spektrální odrazivosti porostu v pěstební technologii jarního ječmene a poskytnout jim praktický návod pro uplatnění těchto metod prostřednictvím dostupného přístrojového vybavení.

Metodika svým praktickým zaměřením navazuje na dříve vydané publikace, především certifikovanou metodiku „Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene“ (vydáno v roce 2011, přístupné na <http://www.vukrom.cz/vyzkum/metodiky>).

II Vlastní popis metodiky

II.1 Úvod do problematiky

Současné zemědělství se vedle ekonomických otázek (stagnující ceny zemědělské produkce a rostoucí ceny vstupů) potýká s celou řadou nových požadavků a skutečností souvisejících s ochranou přírodních zdrojů (půdy, vody, ovzduší), zdravotní nezávadností potravin a trvalou udržitelností produkce. Tyto skutečnosti zásadním způsobem ovlivňují pohled na hospodaření na orné půdě, a především pak na ochranu a výživu rostlin. Typickým příkladem je „Směrnice Rady 91/676/EEC o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů“, tzv. „nitrátová směrnice“, jejíž vznik byl motivován nárůstem obsahu dusičnanů ve vodách některých členských států EU, narůstající eutrofizací u řady vodních nádrží a v Severním moři, nadměrným používáním dusíkatých hnojiv, jejich nevhodným termínem aplikace na půdu a způsobem hospodaření na svažitých pozemcích. Obdobné předpisy EU vstupují v platnost i v oblasti ochrany rostlin, přičemž jsou připravovány navazující národní předpisy. Omezení vyplývající z těchto předpisů vedou k jediné možné alternativě, a tou je využití rychlých diagnostických a následně rozhodovacích metod, ideálně pak ve vysokém prostorovém rozlišení, které zajišťují, že aplikace hnojiv a pesticidů jsou prováděny jen ve skutečně odůvodněných případech. Potenciál rychlých a dostatečně spolehlivých metod v současnosti nejlépe splňuje spektrální odrazivost porostu. Odrazivost (reflektanci) můžeme definovat jako podíl intenzity záření odraženého od měřeného vzorku k intenzitě záření dopadajícího. Jestliže v porostu dochází k interakci záření s látkami organického i anorganického původu, určité vlnové délky jsou přednostně absorbovány, zatímco u jiných dochází k prostupu (transmitanci) či odrazu (reflektanci).

II.1.1 Spektrální odrazivost

Využití dálkového průzkumu a zejména pak spektrální odrazivosti znamenalo v posledních 30-40 letech významný přínos pro pěstební technologie většiny zemědělských plodin. Vývoj senzorů pro měření spektrální odrazivosti vytvořil příležitost pro kvantitativní vyhodnocení parametrů vegetace, jako je množství biomasy, listová plocha, hustota porostu, výživný stav nebo zásobenost vodou. Základem pro využití spektrální odrazivosti v dálkovém průzkumu je absorpce určité části spektra rostlinnými pigmenty, a tím změna odraženého spektra. Nejdůležitějšími rostlinnými pigmenty jsou chlorofyly a + b, které absorbují záření především ve viditelném spektru. Množství absorbovaného světla, a tím také fotosyntetický potenciál jsou přímo úměrné množství chlorofylu. Navíc je obsah chlorofylu nepřímo určován

výživou dusíkem, protože velké množství dusíku v listech je zabudováno právě do chlorofylu. Obsah chlorofylu také úzce souvisí s působením stresu a senescencí.

Dalšími nejvýznamnějšími pigmenty v listech jsou karotenoidy. Karotenoidy plní celou řadu biofyzikálních a strukturních úloh a změny v jejich obsahu či poměru k obsahu chlorofylu jsou využívány k diagnostice fyziologického stavu v průběhu vývoje, senescence a působení stresových podmínek. Další pigmenty, antokyany a flavonoidy, představují skupinu látek, která se vyskytuje zejména u dospělých a stárnoucích listů, a jejich množství je často odezvou na působení stresu, zejména pak silného slunečního záření, UV radiace, nízkých teplot, sucha, nebo infekce houbovými chorobami. Vzhledem k tomu, že antokyany a flavonoidy slouží jako indikátory působení stresu, může jejich kvantitativní detekce sloužit k diagnostice stresových podmínek a k vyhodnocení odezvy či adaptace na jejich působení.

Pro vyhodnocení obsahu pigmentů v listech, rostlinách a porostu byly vyvinuty tzv. vegetační indexy, které kombinují odrazivost z několika spektrálních pásem (Gitelson et al. 1996). Specifické absorpční koeficienty listových pigmentů jsou vysoké pro modré a červené vlnové délky a pronikání dovnitř listu v těchto vlnových délkách je relativně malé (Merzlyak and Gitelson, 1995). Výsledkem je, že již při malém množství pigmentů dochází k saturaci absorpce, tj. že odrazivost se blíží nule. Z tohoto důvodu jsou široce používané indexy jako např. Normalizovaný Diferenční Vegetační Index (NDVI), využívající hlavní absorpční pásma chlorofylu, nedostatečně citlivé ke změnám obsahu chlorofylu při jeho vyšších hodnotách (Buschmann and Nagel 1993). Naopak v zeleném a red-edge pásmu jsou absorpční koeficienty chlorofylu podstatně nižší a relativně k absorpci v modrém a červeném pásmu zřídka překročí 6 % (Lichtenthaler 1987). Přitom je ale celková absorpce dopadajícího záření zelenými listy v těchto pásmech vyšší než 80 % (Gitelson and Merzlyak 1994). Z těchto důvodů je citlivost metod založených na spektrální odrazivosti mnohem vyšší v těchto pásmech než v pásmu modrém nebo červeném. Z těchto důvodů Gitelson et al. (1996) navrhl nové indexy pro vyhodnocení obsahu chlorofylu založené na odrazivosti ve vlnových délkách okolo 550 a 700 nm. Navzdory relativně slabému odhadu obsahu chlorofylu u indexu NDVI, u tohoto je často v literatuře uváděna velmi dobrá korelace k nadzemní biomase či indexu listové plochy. Např. Alvaro et al. (2007) zjistil silnou vazbu mezi NDVI a sušinou či zelenou listovou plochou na rostlinu.

II.1.2 Výživa ječmene dusíkem

Problematika dusíkaté výživy ječmene je značně komplikovaná a odvíjí se od složité půdní dynamiky závislé na obsahu organických látek v půdě, poměru C:N, teplotě půdy, vlhkosti, množství mikroorganismů podílejících se

na mineralizaci nebo imobilizaci dusíku apod. Důsledkem jsou značné rozdíly nejen v množství minerálního dusíku, který je rostlinám k dispozici, ale také v termínu, ve kterém dochází k jeho uvolňování. Pravděpodobně nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím dynamiku uvolňování minerálního dusíku v půdě je hospodaření s posklizňovými zbytky předplodiny v kombinaci se zpracováním půdy, které pak určují rychlost mikrobiálního rozkladu. Dodání posklizňových zbytků do půdy zvyšuje v průběhu rozkladu průkazně podíl lehkých frakcí organického dusíku, které jsou snadno mineralizovány (Malhi et al. 2006). Množství lehkých frakcí organického dusíku v jarním období je možné považovat za velmi dobrý parametr pro predikci následné mineralizace, přičemž vysvětluje až 90 % proměnlivosti obsahu minerálního dusíku (Herrmann a Witter, 2008). Rychlost, s jakou jsou složité organické sloučeniny posklizňových zbytků přeměňovány na lehké frakce dusíku, je ovšem dána typem zbytků, poměrem C:N a termínem a způsobem zapravení. Rozklad posklizňových zbytků kukuřice na zrno má s ohledem na větší kompaktnost zbytků, vysoký poměr C:N a pozdní zapravení zcela jinou dynamiku než rozklad zbytků a uvolňování dusíku po řepce. Další podmínky pro rychlost mikrobiálního rozkladu, jako je dostatek vzduchu, vláhý a teplota v půdě, ovlivňují následně termín maxima uvolňování minerálního dusíku pro ječmen, který vykazuje s ohledem na proměnlivost půdních podmínek, počasí a různé způsoby hospodaření značnou variabilitu.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem se často setkáváme s disproporcemi ve výživném stavu ječmene a jejich úprava se stává jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících tvorbu výnosu zrna a jeho kvalitu. Potřeba vyrovnané dusíkaté výživy vycházející z rozboru půdních vzorků (Fecenko et al. 1989, 2000) a rozborů rostlin v raných fázích vegetace (Otegui et al., 2002) je základním požadavkem řešení daného stavu. Jarní ječmen do 25.–30. dne od vzejití (BBCH 29) odčerpá 40–60 % všech živin a v tomto období vytvoří pouze asi 20 % sušiny. Optimální obsah dusíku a fosforu stimuluje tvorbu odnoží. Potřebu zvýšeného příjmu N mají rostliny do prodlužovacího růstu, kdy se jarní ječmen vyznačuje vysokou produkcí biomasy. Právě v období konce odnožování až začátku sloupkování je intenzita příjmu dusíku v úzkém vztahu k výnosu ječmene (Weston et al. 1993, Kubinec 1998) a často i k obsahu N látek. Dostatek dusíku v období odnožování a počátku sloupkování zajišťuje založení dostatečného množství výnosotvorných prvků (zejména počtu klasů a částečně i počtu zrn v klasu) a přispívá k tvorbě výnosu zrna. Na druhou stranu, přebytek dusíku v pozdějších vývojových fázích (zejména od druhé poloviny sloupkování) může negativně ovlivnit kvalitu zrna. Přehnojení dusíkem v pozdějších růstových fázích má za následek zvýšený obsah dusíkatých látek v zrna, naopak nedohnojení příliš nízký obsah zhoršující enzymatickou aktivitu zrna projevující se nízkým obsahem rozpustného N ve sladu a následně i ve sladince.

Vzhledem k požadavku na maximální dostupnost dusíku v časných růstových fázích ječmene je základem dusíkaté výživy sladovnického ječmene hnojení před setím nebo ve fázi prvního listu. V tomto období jsou aplikovány minimálně 2/3 celkové dávky dusíku. Přitom lze vycházet z obsahu minerálního dusíku v půdě. Tato informace ovšem vypovídá pouze o aktuálním stavu mineralizace a dostupnosti dusíku pro rostliny. Obsah minerálního dusíku se však mění velmi rychle v závislosti na průběhu počasí a aktuální stav se tak může více odrazem počasí ve dnech, které předcházejí odběru než skutečné dostupnosti dusíku pro rostliny. Proto častěji dávka před setím vychází z odhadovaného odběru dusíku pro předpokládaný výnos po odečtu množství dusíku uvolněného mineralizací a obvykle se pohybuje v rozmezí 60 až 80 kg.ha⁻¹. Následně se pak s využitím rozborů rostlin provádí dohnojení dusíkem nejpozději ve fázi začátku sloupkování. Tato dávka pak obvykle nepřesáhne 30 kg.ha⁻¹. Potenciál využití diagnostických metod, založených na spektrální odrazivosti, lze spatřovat především před aplikací této druhé, tzv. korekční dávky dusíku.

II.1.3 Diagnostika obsahu dusíku

Diagnostika výživy dusíkem je jedním z nejčastějších využití dálkového průzkumu a zejména pak metod založených na spektrální odrazivosti v praxi. Dusík představuje společně s nedostatkem vody nejčastější limitující faktor pro růst a produktivitu zemědělských plodin. Vzhledem k vysoké prostorové variabilitě i proměnlivosti počasí jsou časté oba extrémy, a to jak nedostatek dusíku, tak i aplikace nadměrných dávek dusíkatých hnojiv s důsledkem vyplavování do podzemních a povrchových vod. V případě sladovnického ječmene se navíc nadbytek dusíku projevuje ve zhoršení kvality zrna (vysoký obsah dusíkatých látek) a ve zvýšeném riziku poléhání, které přináší vedle výnosové redukce také řadu dalších negativních důsledků na kvalitu zrna (porůstání, kontaminace plísněmi, zvýšený obsah mykotoxinů). Vyhodnocení výživy dusíkem není jednoduché a je často zatíženo chybou vzhledem ke skutečnosti, že zejména v průběhu odnožování a první poloviny sloupkování dochází k velmi rychlým změnám koncentrace dusíku v rostlinách. Obsah dusíku v rostlinách je nejvyšší v časných růstových fázích a postupně se snižuje až do senescence. Tento pokles bývá označován jako typický zředovací efekt růstu (Lemaire et al., 2007). Zředovací proces se urychluje v době, kdy dochází k zapojení porostu, přičemž se uplatňují dva procesy:

i) rostliny investují více do strukturních komponent s nižším obsahem dusíku (stěbla) relativně k listové ploše a ii) ve stinných listech klesá obsah dusíku na jednotku listové plochy, což souvisí s optimalizací fotosyntetické kapacity ve vztahu k distribuci světla v porostu (Hirose and Werger, 1987). Důsledkem optimalizace fotosyntetické kapacity je realokace dusíku ze stinných a starších

listů do listů mladších a vystavených vyšší intenzitě slunečního záření. Tyto dva procesy, tj. jak zředování obsahu, tak i realokace dusíku jsou klíčové pro diagnostiku výživného stavu, a proto byl pro vyhodnocení výživného stavu v jakémkoliv období růstu vyvinut tzv. index výživy dusíkem (Nitrogen Nutrition Index – NNI), což je poměr mezi aktuálním a kritickým příjmem dusíku (Lemaire et al. 2008). Kritický obsah dusíku přitom odpovídá optimální zředovací křivce, při které rostliny netrpí nedostatkem dusíku a je dosaženo maximálního výnosu. Protože je ovšem vyhodnocení NNI v průběhu sezony časově i ekonomicky náročné, jsou vyvíjeny metody pro diagnostiku NNI založené zejména na spektrální odrazivosti (Mistele a Schmidhalter, 2008).

II.2 Význam vyhodnocení výživného stavu, hustoty porostu a rizika poléhání pro pěstební technologie ječmene

Hustota porostu spolu s dusíkatou výživou patří vedle předplodiny a odrůdy k nejdůležitějším vstupním parametrům, ze kterých je nutné vycházet při objektivním řízení pěstitelských technologií sladovnického ječmene.

Jarní ječmen patří k plodinám, které jsou na nedostatek živin během vegetace velmi citlivé. Pokud se nenachází v optimálním **výživném stavu**, dochází k nedostatečné tvorbě či nadměrné redukci jednotlivých výnosových prvků, čímž je negativně ovlivněn konečný výnos. Výrazným způsobem může být ovlivněna také kvalita produkce.

Z hlediska výnosu zrna a jeho kvality hraje nejvýznamnější roli dusík. Optimální zásoba N v rostlinách na počátku vegetace, ale i v jejím průběhu je velmi důležitou podmínkou pro dosažení kvalitní produkce. Při nadbytku dusíku v rostlinách během odnožování dochází k nárůstu počtu neproduktivních odnoží. Vyšší obsah N po vymetání vede k poléhání porostu, nestejnomyšlnému dozrávání zrna, zvyšuje podíl zadinového zrna a přispívá k vyššímu obsahu dusíkatých látek v zru. Nedostatek dusíku se naopak projevuje řídkými porosty, nízkým počtem jednotlivých výnosotvorných prvků (zejména počtu klasů a počtu zrn v klase) a technologicky nevhodným obsahem N v zru. Příliš nízký obsah N-látek v zru bývá důsledkem nedostatečného zásobení rostlin dusíkem obecně. U řídkých porostů, jejichž malá hustota je důsledkem nedostatku dusíku na počátku vegetace, může být následná opožděná mineralizace příčinou zvyšování obsahu N-látek v zru.

Význam **hustoty porostu** je dán především skutečností, že hlavním výnosovým prvkem je u jarního ječmene dostatečný počet produktivních stébel. Pro realizaci výnosového potenciálu dnešních odrůd jarního ječmene je nutné při současné vysoké intenzitě pěstování dosáhnout počtu klasů nad $1000.m^{-2}$. V provozních podmínkách, kdy je výnos limitován dalšími faktory,

kteře obvykle souvisejı s průběhem počası (voda, teplota), je vınosovıho maxima dosahováno obvykle při hustotách okolo 700 ař 900 klasů.m⁻² (obr. 1). Pro dan podmínky a technologii tedy můžeme hovořit o tzv. cílov hustotě, která je nezbytn pro dosařen maximálního vınosu. Pěstiteľská technologie by tedy na jedné straně měla směřovat k dosařen cílov hustoty, ale na straně druhé musí být také přizpůsobena dan hustotě a to proto, ře mořnosti ovlivnn hustoty v průběhu vegetačního období jsou relativn mal.

Zvyšování počtu klasů nadmrnm odnořovnm je poměrně neúčinn vzhledem k tomu, ře při vřřm počtu odnoř se zvyšuje i nsledn redukce odnoř a předevřm odnoře vřřho řádu dosahují vznamn niřř produktivity klasu. Zvřen podíl odnoř vřřch řádů znamená obvykle také jejich vřř nevyrovnanost, opoždn dozřevn, výskyt tzv. zelených klasů ve zralm porostu, snıřzovn podílu předního zrna a zvyšování obsahu dusıkatch látek v zrně. Optimální by se měl počet klasů na rostlinu pohybovat do hodnoty 2,5. Nad tuto úroveň jıř dochází k poklesu vınosu v přepočtu na jeden klas. Navíc je dosařen vřřch hodnot neř 2,5 v praxi obtřn dosařiteln. Přestoře současn odrůdy vykazují velmi dobrou odnořzovc schopnost a není výjimkou i více neř 6 odnoř na jednu rostlinu, obvykle v průběhu sloupkování dochází k rychl redukci počtu odnoř, která je podporována nepříznivými pdnmi podmínkami (utuřen, nářků obsah humusu), suchm počasím (kter je pro naře podmínky v jarním období poměrně typick), nevhodnou předplodinou společn s nedostatečn rozlořenmi posklizřovmi zbytky (předevřm obilniny a kukuřice na zrno) ři nedostatky ve vřiv. Hodnoty počtu klasů na rostlinu nad 2,5 jsou proto dosařiteln pouze na úrodných půdách a ve vlhov příznivých ročnících. Jestliře budeme za optimální hodnotu považovat 2,3 klasu na rostlinu, pak pro dosařen maximálního vınosu (počet klasů 900 – 1000.m⁻²) bychom měli zajistit hustotu porostu přibližně 400 rostlin.m⁻². Z obr. 1 je patrn, ře vınosov efekt vřř úrovn intenzity roste se zvířenou hustotou. To znamená, ře zvřen intenzita pěstiteľské technologie se vyplácí ař při vřřch hustotách porostu a podle jeho aktuální hustoty by měla být intenzita pěstiteľské technologie přizpůsobena. Typickým opatřenm, které by mělo být přizpůsobeno hustotě porostu, je dusıkat vřiva. Nejen ře je dodání dusıku nad potřeby potenciálního vınosu neefektivn, ale způsobuje také navazující problémy s polhnm porostu a se zhorřenm kvalitativních parametrů zrna (předevřm obsahu dusıkatch látek v zrně).

Jak hustota porostu, tak vřiva dusıkem jsou tedy významnými faktory ovlivňujícími výslednou sladovnickou kvalitu ječmene. Dosavadní výsledky ukazují, ře zvyšování počtu klasů na jednotku plochy (do určitého optima) vede ke snıřzovn obsahu dusıkatch látek v zrně. Tento vztah je patrn z obr. 2. Při vřřm počtu klasů (a odpovídajícím zvřen vınosu) dochází ke zředřovacmu efektu, přičemř dostupn dusık se ukládá do bílkovinných

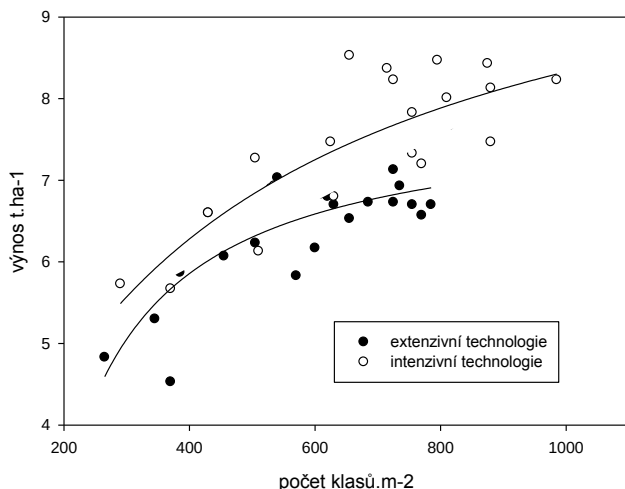
struktur zrna v nižších koncentracích než při nízkých hustotách. Tento efekt je za určitých okolností možné pozorovat i u působení dusíkaté výživy. Jestliže je dusík aplikován před začátkem odnožování a je plně k dispozici rostlinám v průběhu odnožování (za podmínky dostatku vláhy), je tento dusík využit na tvorbu zvýšeného počtu silných odnoží, které vytvářejí základ pro zvýšený počet produktivních stébel. V těchto případech pak má dusíkatá výživa (prostřednictvím zvýšení počtu klasů) paradoxní dopad na snížení obsahu dusíkatých látek v zrně. V ročníku se suchým jarním počasím nebo po předplodinách, kde v půdě zůstalo velké množství nerozložených posklizňových zbytků (kukuřice na zrno, obilnina se zaorávanou slámou nebo i pozdě sklizená cukrovka), je dostupnost aplikovaného dusíku pro rostliny v průběhu odnožování redukována, a naopak dochází k jeho využívání až v pozdějším období, což vede ke zvyšování obsahu dusíkatých látek v zrně. Je zřejmé, že v tomto případě sehrává dostatečná hustota zásadní roli pro snížení obsahu dusíkatých látek. Pokles hustoty pod 700 klasů.m⁻² je obvykle provázen rychlým vzestupem obsahu dusíkatých látek nad limit pro kvalitní sladovnický ječmen.

Opatření proti **poléhání** se provádějí většinou na konci sloupkování (BBCH 3741), v případě dělených aplikací regulátorů růstu spadá první ošetření do fáze 1. až 2. kolénka (BBCH 31-32). Pro stanovení termínu ošetření a dávek morforegulátorů jsou rovněž důležité informace o hustotě porostu a obsahu dusíku v rostlinách. Pro výslednou úroveň poléhání má význam především množství mineralizovaného dusíku ke konci odnožování a v průběhu sloupkování a také odrůda. Hustota porostu má sice nižší význam, přesto může do značné míry modifikovat výslednou úroveň poléhání. Z lineární závislosti zobrazené v obr. 3 je patrné, že při zvýšení hustoty z 600 na 1000 klasů.m⁻² může dojít téměř ke zdvojnásobení úrovně poléhání. Tyto výsledky byly získány pro kombinaci ovlivnění konečné hustoty výsevkem (počet rostlin) i pěstitelskou technologií (výživa směřovaná ke zvýšení počtu odnoží), přičemž vliv hustoty výsevu i dusíkaté výživy na poléhání se příliš neliší a rozhodující je dosažená hustota. Současně je ale nutné mít na paměti, že hustota pouze modifikuje základní podmínky pro poléhání (především intenzivní růst v průběhu sloupkování), přičemž při nepříznivých podmínkách pro poléhání (zejména sucha) nemusí k polehnutí samotnému dojít ani u hustého porostu, a naopak při silně rizikových podmínkách (vydatné srážky, nadměrný odběr dusíku rostlinami) nemusí nižší hustota znamenat snížení úrovně poléhání.

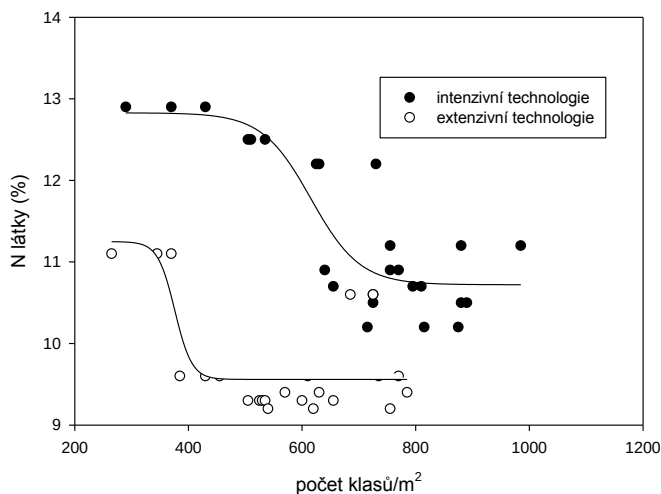
Z procesů a zákonitostí uvedených v předchozím textu vyplývá požadavek zajistit dynamický rozvoj asimilačních orgánů v raných růstových fázích, udržet je dlouho funkční ve druhé polovině vegetace a v období tvorby zrna usměrnit tok asimilátů do klasů, a zajistit tak výnos zrna a jeho kvalitu. Je tedy vhodné provádět během vegetačního období analýzu hustoty a výživného stavu

porostů a na získané výsledky případně reagovat volbou a provedením vhodných opatření:

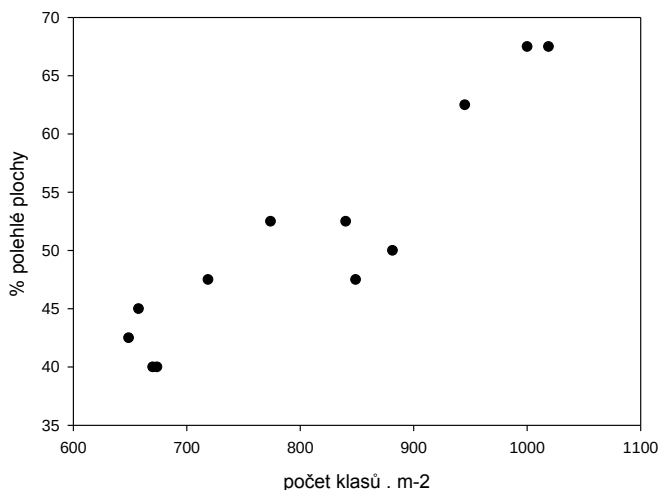
- Hustota porostu stanovená na začátku vegetační doby ječmene (v růstové fázi 1. až 2. listu) může sloužit pro stanovení výnosového maxima a navazujícímu přizpůsobení intenzity pěstitelské technologie danému maximu pro zajištění vysoké efektivity pěstování.
- Na základě znalosti hustoty a výživného stavu porostů je možné provést korekční opatření ve výživě (přihnojení) v průběhu sloupkování (BBCH 30-33).
- Vyhodnocení hustoty a výživného stavu porostu ke konci sloupkování může (společně se znalostí odolnosti odrůdy k poléhání) sloužit jako důležitý rozhodovací parametr pro stanovení dávky aplikovaných regulátorů růstu.
- Vyhodnocení hustoty porostu a obsahu dusíku v sušině rostlin v období na konci sloupkování má praktické využití pro identifikaci částí pozemku, nebo celých pozemků s rizikem zvýšeného obsahu dusíkatých látek v zrně. Tyto plochy je pak možné sklízet a skladovat odděleně tak, aby byla omezena rizika smísení kvalitních partií s partiemi s nízkou kvalitou a znehodnocení velkých partií sladovnického ječmene. V případě, že se jedná o hraniční hustotu pro zvyšování obsahu dusíkatých látek (okolo 600–700 klasů.m²), je možné u těchto ploch uplatnit opatření prodlužující vegetaci (aplikace strobilurinových fungicidů, nebo aplikace růstových stimulátorů) vedoucí ke změně v poměru ukládaných látek ve prospěch škrobu, a tím ke snížení obsahu dusíkatých látek.



Obr. 1: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů.m⁻²) a výnosem zrna pro intenzivní technologii (vyšší dávky N, intenzivní ochrana proti chorobám, intenzivní používání morforegulátorů) a extenzivní technologii (pouze aplikace herbicidů) pěstování sladovnického ječmene



Obr. 2: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů na jednotku plochy) a obsahem dusíkatých látek v zrně. Závislost je vyjádřena samostatně pro intenzivní technologii (s vyššími dávkami dusíku) a extenzivní technologii (nehnojenou dusíkem).



Obr. 3: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů na jednotku plochy) a relativním podílem polehlé plochy. Výsledky jsou z pokusů s odstupňovanou úrovní hustoty výsevu a dvěma úrovněmi intenzity pěstitelské technologie.

II.3 Specializované vegetační indexy (NDVI, NRERI) pro diagnostiku výživného stavu a hustoty porostu

Rostliny vykazují specifickou odrazivost v jednotlivých pásmech elektromagnetického záření. Modrá a červená část záření jsou v převážné míře využity v procesu fotosyntézy, část zeleného spektra je odražena (proto se nám rostliny jeví jako zelené). Naopak v blízkce infračerveném spektru (NIR) je většina záření vegetací odražena. Těchto vlastností lze za určitých předpokladů využít ke zjišťování stavu vegetace, včetně určování kvantitativních ukazatelů. Z agronomického hlediska jsou nejvýznamnějšími sledovanými vlastnostmi hustota porostu, výživný stav rostlin, poškození rostlin (stres, napadení škodlivými činiteli) a zaplevelení. Zjednodušeně lze říci, že odrazivost ve viditelném záření podává informaci o stavu fotosyntetického aparátu, zatímco v NIR o množství biomasy.

NIR je pro lidské oko neviditelné, pro jeho záznam je nutné speciální detekční zařízení. Na tzv. multispektrálním snímku, který zahrnuje všechna výše uvedená pásma záření, se pak vegetace bude v modré a červené části

jevit jako velmi tmavá až černá, v zeleném šedá a v NIR bude světlá až bílá, protože této části záření je nejvíce odraženo. Takto je popsána zdravá vegetace, rostliny trpící stresem (nebo stárnoucí) vykazují změny odrazivosti – přibývá odrazivost v červeném spektru (rostliny žloutnou) a naopak se snižuje odrazivost v NIR. Princip porovnávání odrazivosti v jednotlivých spektrech je určujícím rysem většiny přístrojů používaných k hodnocení stavu porostů. Sensorové měření dokáže poměrně spolehlivě detekovat rozdíly v rámci porostů (nedostatečná výživa, vodní stres, napadení rostlin), obvykle ale není schopno určit přesnou příčinu identifikovaného stresu.

Měření absolutních hodnot odrazivosti je zkreslováno úhlem, pod kterým dopadá záření na měřený povrch (postavení Slunce v průběhu dne a roku) a také rychlými změnami spektrálních charakteristik dopadajícího záření v důsledku oblačnosti. To vedlo k vývoji různých indexů s cílem eliminovat vlivy postavení slunce a oblačnosti a na základě znalostí o spektrální odrazivosti zvýraznit vlastnosti rostlinného pokryvu.

Nejčastěji používané vegetační indexy jsou jednoduchým nebo normalizovaným poměrem odrazivosti povrchu v červené viditelné (600-700 nm, označované jako RED) a blízké infračervené části spektra (700-900 nm, označované jako NIR).

Vegetační indexy obecně:

- Maximalizují citlivost na biofyzikální parametry rostlin tak, aby z výsledku bylo možno hodnotit stav a vegetační podmínky.
- Eliminují rušivý vliv externích činitelů – atmosféry, půdy, úhel dopadajícího záření aj.
- Po validaci mohou být navázány na některý z měřitelných parametrů vegetace (obsah chlorofylu, celková biomasa aj.).

Normalizovaný diferenční vegetační index - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI byl vyvinut na počátku 70. let dvacátého století pro účely dálkového průzkumu Země. Je jedním z nejúspěšnějších pokusů jednoduše a rychle identifikovat fotosynteticky aktivní vegetaci a její stav v určité oblasti a dodnes je nejznámějším a velmi často používaným indexem. Umožňuje odlišení vegetace od ostatních objektů (půda, zástavba, voda), z agronomického hlediska kombinuje dva z nejvýznamnějších parametrů – stav rostlin a množství biomasy na jednotce plochy.

Porost je hodnocen poměrem odrazivosti v červeném (RED) a blízkém infračerveném spektru (NIR). NDVI je rozdílem mezi údaji v blízkém infračerveném a červeném pásmu, dělený součtem údajů v těchto pásmech:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

NDVI = normalizovaný diferenční vegetační index

RED = spektrální odrazivost v červeném pásmu (600–700 nm)

NIR = spektrální odrazivost v blízkém infračerveném pásmu (750–900 nm)

Tab. 1: Hodnoty vegetačního indexu NDVI se pohybují v intervalu od -1 do +1. U prostor pokrytých vegetací bývají jeho hodnoty kladné (při hustém pokryvu většinou mezi 0,3 až 0,8), voda, sníh a led se vyznačují hodnotami zápornými (dle Williams, 1995).

Povrch	NDVI
Velmi hustá vegetace	0,500
Středně hustá vegetace	0,140
Řídká vegetace	0,090
Holá půda	0,025
Oblačnost	0,002
Sníh a led	-0,046
Voda	-0,257

Normalizovaný red-edge index NRERI

Normalizovaný red-edge index byl vyvinut pro diagnostiku výživného stavu rostlin s ohledem na rychlou saturaci běžných indexů (např. NDVI) při střední až vysoké úrovni výživy dusíkem, a tím i při středních až vysokých obsazích chlorofylu. To v důsledku znamená, že běžné indexy nejsou schopny dostatečně spolehlivě diagnostikovat mírný deficit dusíku nebo malý pokles obsahu chlorofylu. Naopak index NRERI dosahuje lineární odezvy na výživu dusíkem prakticky v celém rozsahu běžně se vyskytujících hodnot obsahu dusíku. Současně tento index zajišťuje normalizaci na dvě vlnové délky (RED a NIR) a tím poměrně vysokou robustnost vůči změnám světelných podmínek. Index NRERI v podstatě zajišťuje vyhodnocení relativní odrazivosti v red-edge hraně vůči červenému pásmu (reprezentuje minimální hodnotu = 0) a vůči NIR pásmu (představuje maximální hodnotu = 1). S ohledem na tuto dvojí normalizaci je rovněž index NRERI minimálně ovlivněn množstvím biomasy na jednotku plochy, a pouze při velmi nízkých hustotách dochází k jeho poklesu. Index NRERI nabývá hodnot od 0 do 1.

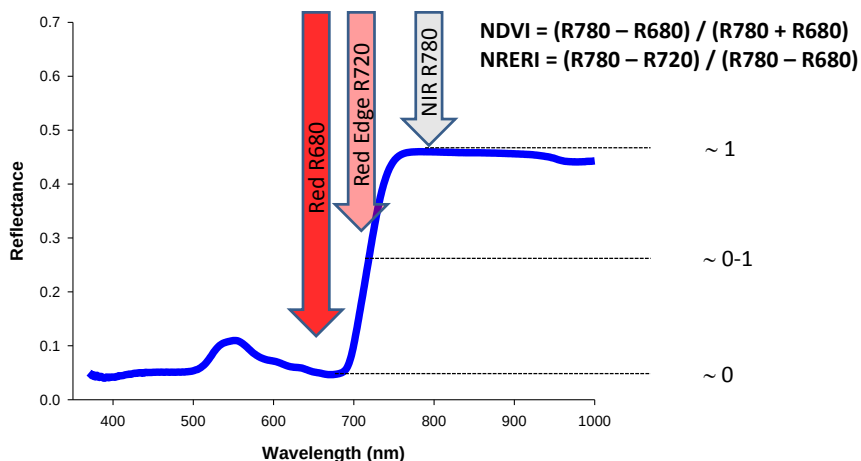
$$NRERI = (RED-EDGE - RED) / (NIR - RED)$$

NRERI = normalizovaný red-edge index

RED = spektrální odrazivost v červeném pásmu (680 nm)

NIR = spektrální odrazivost v blízkém infračerveném pásmu (780 nm)

RED-EDGE = spektrální odrazivost v red-edge pásmu (720 nm)



Obr. 4: Pásma spektrální odrazivosti, ze kterých jsou vypočítávány indexy NDVI a NRERI znázorněné na typické křivce spektrální odrazivosti zeleného porostu. Index NRERI normalizuje hodnotu red-edge odrazivosti k hodnotám odrazivosti v červeném a NIR pásmu, přičemž nabývá hodnot od 0 do 1.

II.4 Praktické využití

Specializované vegetační indexy jsou prakticky využívány především v technologiích precizního zemědělství. Dílčí prvky těchto technologií se nicméně stávají využitelnými i v postupech „standardního“ pěstování polních plodin, kde v určitých případech mohou nahradit klasické metody diagnostiky stavu porostů (Anorganické analýzy rostlin, odpočty rostlin a odběry biomasy) a být cennými pomocníky při rozhodování o agrotechnických opatřeních. Nevýhodou nepřímých metod je vždy nižší přesnost stanovení sledovaného jevu v porovnání s přesnými laboratorními rozborů nebo odpočty. Tato nižší přesnost ale bývá vyvážena větší rychlostí, pohotovostí a zpravidla nižší pracností. Předností je rovněž vyhodnocení větší plochy, a tím nižší pravděpodobnost chyby způsobené odběrem vzorků.

V následujících kapitolách jsou popsány možnosti využití přístroje Magic XBP s optickou sondou pro měření spektrálních charakteristik porostů (NRERI, NDVI). Praktické aplikace výsledků měření jsou zatím orientovány do oblasti pěstebních technologií jarního ječmene:

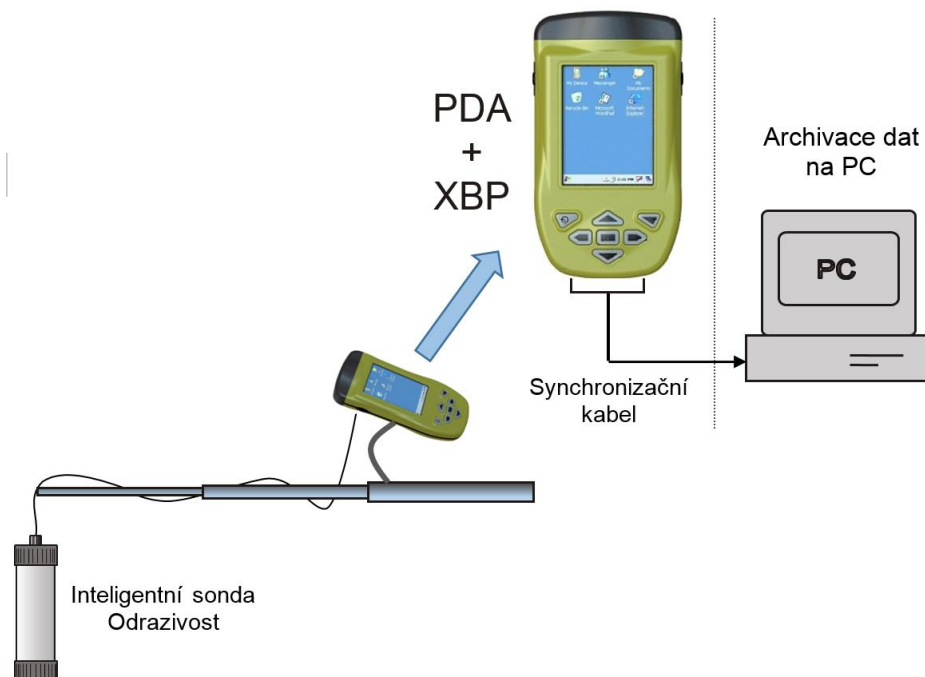
- Řízení výživy porostů
 - Korekce výživy (přihnojení) v BBCH 29-33
- Ošetření porostů proti poléhání (regulátory růstu)
 - Vstupní údaje pro algoritmus odhadující riziko polehnutí porostu
- Odhad výnosu (potenciál porostu)
 - Upřesnění strategie pěstební technologie
- Predikce obsahu N-látek v zrna
 - Možnosti usměrnění výživy
 - Možnost oddělení partií s rozdílnou kvalitou

II.4.1 Měřicí systém Magic XBP s měřicí hlavicí XB9 (optická sonda pro měření spektrálních charakteristik porostů)

GRYF Magic XBP (výrobce GRYF HB, spol. s r.o.) je univerzální vícefunkční měřicí systém, který je realizován jako nadstavba pro kapesní počítače (PDA) s operačním systémem Windows CE. Pro měření spektrálních charakteristik porostů (NDVI, NRERI) se používá měřicí hlavička XB9.

Měřicí zařízení se skládá z těchto částí:

- **Kapesní počítač (PDA)** - Typ Meazura MEZ1500.
- **Program XBP** - Instalován na PDA.
- **Interface Magic** - Mezičlánek mezi PDA a měřicími hlavicemi, je vestavěn do PDA.
- **Inteligentní sonda (Sonda)** – Obecně se skládá se z měřicí hlavičky a příslušného senzoru, který snímá měřenou veličinu. V tomto konkrétním případě se jedná o měřicí hlavičku XB9 - optická sonda pro měření spektrálních charakteristik porostů v pásmech RED, RED-EDGE a NIR.
- **Nosič** – Mechanická konstrukce, na které je upevněna Inteligentní sonda odrazivosti a PDA. Skládá se z teleskopické tyče, držáku PDA, držáku Inteligentní sondy a ergonomických úchyty pro obsluhu.



Obr. 5: Schéma měřicího systému Magic XBP s měřicí hlavicí XB9

Měření odrazivosti je realizováno 3 optickými senzory pro měření odražené intenzity světla ve 3 vlnových délkách. Naměřené hodnoty jsou použity pro výpočet vegetačních indexů NRERI a NDVI, které jsou využitelné pro vyhodnocování výživného stavu a struktury porostů polních plodin.

Jádrem celého zařízení je aplikační program Magic XBP, který běží na PDA a řídí chod celého zařízení. Pomocí vestaveného interface program spolupracuje s připojenými sondami. Sonda snímá vlastní fyzikální veličinu (záření odražené porostem) a naměřená data jsou přenášena přes interface do PDA. Příchozí data jsou zpracována běžícím programem Magic XBP a na displeji PDA se zobrazí výsledky měření a další doprovodné údaje o celém měřicím zařízení.

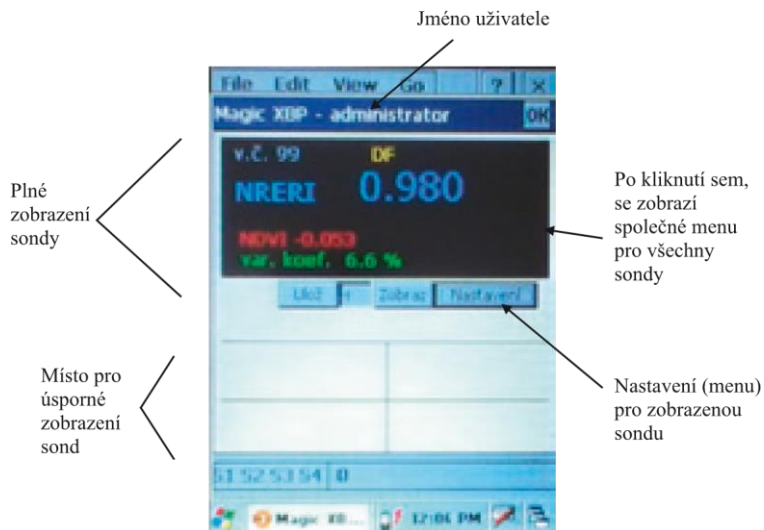
K interface mohou být připojeny až 3 inteligentní sondy různých typů (v rámci systému Magic). V horní části displeje je umístěn hlavní zobrazovací panel přístroje pro plné zobrazení dat z jedné sondy. V prostoru pod tímto panelem jsou úsporně zobrazeny případné další připojené sondy.

Na panelu jsou přehledně zobrazeny údaje sondy, se kterou se měří:

- Údaje o sondě - typ sondy, výrobní číslo, případně další údaje.
- Stav sondy (žluté znaky a číslice) - ATC, AR, stav datalogeru, stav akumulátoru apod.
- Hlavní veličina (velké modré číslice).
- Vedlejší veličina (červené číslice).
- Statistické údaje (zelené číslice) - statistické údaje počítané z hlavní veličiny.

Dále je na panelu několik tlačítek:

- „**Nastavení**“ - nastavení vlastností měřicího panelu podle požadavků uživatele.
- „**Ulož**“, „**Zobraz**“ – tlačítka slouží k ukládání a prohlížení naměřených hodnot v datové uživatelské paměti.



Obr. 6: Zobrazovací panel aplikačního programu Magic XBP

Po kliknutí na tlačítko „**Nastavení**“ se otevře okno se záložkami, kde lze nastavit měřicí panel podle požadavků uživatele:

- „**Digitální filtr**“ - Pokud je signál měřené veličiny nestabilní a projevuje se kolísáním hodnoty hlavní veličiny, je možné nestabilitu potlačit vhodným digitálním filtrem. Jestliže si uživatel vybere některý z nabízených filtrů, bude se zobrazovat hlavní veličina přepočítaná podle algoritmů filtru. Na výběr jsou tyto algoritmy:
 - **Průměr** - výsledná hodnota se vypočítá jako aritmetický průměr ze zadaného počtu posledních naměřených hodnot.
 - **Omezení špiček** - ze zadaného počtu posledních naměřených hodnot se vypustí 20% nejvyšších a 20% nejnižších hodnot a ze zbylých se pak vypočítá aritmetický průměr.
- „**Statistika**“ - Uživatel má možnost si vybrat pro zobrazení z několika statistických funkcí, které se vztahují k hlavní veličině:
 - **Min-Max** - minimální a maximální hodnota za celé měření.
 - **Průměr** - aritmetický průměr z určitého počtu posledních hodnot.
 - **Přírůstek** - změna hodnoty za určitý čas (počet naměřených hodnot).

- **Směrodatná odchylka** - vyjadřuje variabilitu naměřených hodnot, počítá se ze zadaného počtu posledních hodnot.
- **Variační koeficient** – relativní míra variability naměřených hodnot. Je definován jako podíl směrodatné odchylky a absolutní hodnoty průměru.
- **„Komparátor“** – funkce, která umožňuje obsluhu signalizovat překročení zadaných mezí pro zvolenou veličinu.

Uložení naměřené hodnoty lze provést tlačítkem „**Ulož**“. Každá hodnota je ukládána pod svým pořadovým číslem (je zobrazeno u tlačítka „**Ulož**“), po každém uložení se toto číslo automaticky zvětší o jedna (uživatel má možnost tento údaj ručně změnit). Počet uložených hodnot je omezen na 300. Po stisku tlačítka „**Zobraz**“ se otevře okno se seznamem všech uložených hodnot. Ke každé naměřené hodnotě se zobrazí tyto údaje:

- pořadové číslo
- jméno záznamu
- čas měření
- údaj hlavní veličiny
- údaj vedlejší veličiny
- poznámka

Seznamem je možno listovat, vytisknout jej, uložit do souboru (podporované formáty *.dbf, *.csv, *.txt), celý seznam vymazat, případně editovat nebo mazat jednotlivé záznamy.

Kompletní návod k obsluze měřicího systému Magic XBP je součástí dodávky přístroje.

Jméno hodnoty, v.č. 325

Jméno:

Inkrementovat číslo ve jméně o:

Poznámka:

71.50 880.0 % 25.2°C

Obr. 7: Panel nabídky „Ulož“

II.4.2 Postup měření

II.4.2.1 Kalibrace

Měřicí hlavice nemá svůj vlastní zdroj záření, využívá denního světla. Jeho vlastnosti se mění v závislosti na počasí, denní a roční době, proto je před započítáním měření potřeba provést kalibraci přístroje na bílou barvu. Průvodce kalibrací („**Nastavení**“ - „**Kalibrace**“ - „**Průvodce kalibrací**“) nabízí dvě možnosti:

- **Praktická kalibrace:** K tomuto procesu se využívá dodávaná bílá kalibrační deska (musí být udržována v čistém stavu). Měřicí senzor podržíme asi 50 cm nad středem kalibrační desky a počkáme přibližně 15 vteřin (kvůli ustálení měřených hodnot). Poté spustíme vlastní kalibraci, tento proces trvá přibližně dalších 15 vteřin. Po stisku tlačítka „**Další**“ se zobrazí výsledky kalibrace, které lze uložit do protokolu (tlačítko „**Dokončit**“). Pro kalibraci vybírejte dobře osvětlené místo (ne s dopadajícími stíny), ne příliš blízko okolním předmětům, které by mohli odrážet světlo. Osvětlené barevné předměty a plochy (např. stěna) mohou způsobit citelnou chybu kalibrace.
- **Teoretická kalibrace:** Tato metoda je určena pro pokročilé uživatele. Kalibrační konstanty A a B lze upravit ručně, například podle zkušenosti s měřením za různého počasí.

Pro správnost měření je potřeba při změně počasí (především při změně oblačnosti), nebo při změně úhlu postavení slunce, sondu překalibrovat (poměr dopadajících složek záření je jiný při slunečné a jiný při zatažené obloze). Aby získaná data byla co nejpřesnější, doporučujeme provádět kalibraci i několikrát v průběhu měření, minimálně jedenkrát za hodinu.

II.4.2.2 Vlastní měření

Při samotném měření se musí dbát na to, aby měřený porost byl osvětlen stejně, jako kalibrační deska při kalibraci. Tzn., že měřený porost by měl být na přímém slunci, mimo stín budov a jiných překážek. Také není vhodné provádět měření při proměnlivých světelných podmínkách – měnící se oblačnost, proměnlivá intenzita dopadajícího slunečního záření atd.

Senzor by se měl při měření pohybovat ve výšce 50 – 100 cm nad porostem. Pohybem senzoru dosáhneme změřením průměrné hodnoty spektrálních indexů na určité zájmové ploše a také minimalizujeme případné chyby, např. v důsledku měření nad extrémně řídkým porostem apod. Přístroj vyhodnocuje klouzavý průměr za několik posledních naměřených hodnot, vliv

extrémů je eliminován použitím tzv. digitálního filtru (20% nejvyšších a 20% nejnižších hodnot není pro výpočet použito). Počet průměrovaných hodnot lze nastavit, doporučuje se minimálně 10.

Naměřená data lze ukládat do uživatelské paměti. Ta je nastavena tak, že se výsledná hodnota měřených veličin vypočítá až po požadavku na uložení naměřené hodnoty (stisk tlačítka „**Ulož**“). Při ukládání se zobrazí okno se jménem měřené veličiny a naměřenou hodnotou. Uživatel má možnost záznam pojmenovat (8 znaků), případně vložit poznámku (do 150 znaků). K pravidelnému ukládání naměřených hodnot do souboru do paměti PDA nebo na paměťovou kartu slouží funkce „**Dataloger**“. Ukládaný soubor má formát *.dat a lze jej prohlížet jen v programu Magic XBP.

Veškeré uložené hodnoty je možno zobrazit, editovat, je zde i možnost exportu dat pro účely archivace nebo dalšího zpracování (formáty *.dbf, *.csv, *.txt). Pro komunikaci PDA s osobním počítačem (PC) je určen program „**Centrum zařízení Windows mobile**“, jehož pomocí lze procházet složky mobilního zařízení (v tomto případě MEZ1500) a zkopírovat vyexportovaná naměřená data do PC, kde je můžeme archivovat nebo dále zpracovávat.

II.4.3 Interpretace výsledků

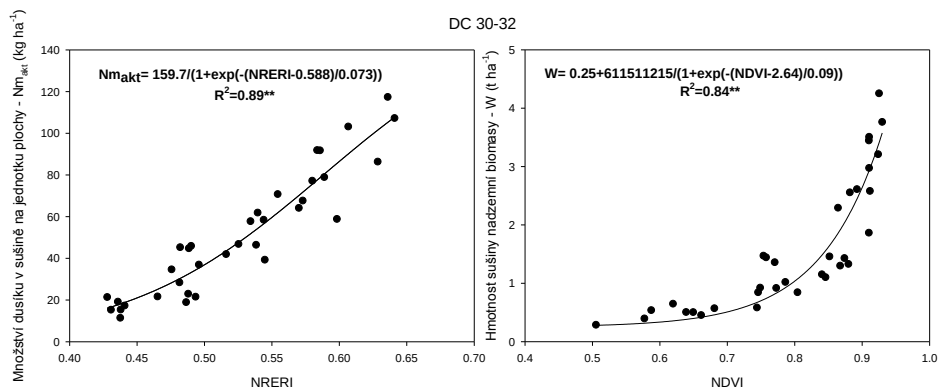
Z výsledků polních experimentů v Kroměříži bylo možné vyhodnotit hodnoty korelačních koeficientů mezi vegetačními indexy NRERI či NDVI a odhadovanými parametry porostu jako je hmotnost sušiny, výnos zrna, obsah dusíkatých látek v zrna, obsah dusíku v sušině rostlin a odběr dusíku nadzemní biomasou na jednotku plochy. Korelace byly přitom vyhodnoceny pro vegetační indexy naměřené v různých růstových fázích (BBCH 30-39). Z tabulky 2 je patrné, že spektrální indexy jsou použitelné pro odhady výnosu, hmotnosti sušiny nadzemní biomasy, množství dusíku v nadzemní biomase a predikci obsahu N-látek v zrna. Relativní obsah dusíku v sušině rostlin je pomocí vegetačních indexů obtížně predikovatelný přímo. Doporučení pro případná korekční opatření ve výživě rostlin dnes nicméně vychází hlavně ze znalosti celkového odběru živin na jednotku plochy (množství dusíku v nadzemní biomase) a hustoty porostu (hmotnost sušiny nadzemní biomasy).

Tab. 2: Tabulka hodnot korelačních koeficientů pro vztahy mezi hodnotami vegetačních indexů v jednotlivých růstových fázích a parametry dusíkaté výživy, produkce biomasy a výnosu. Šedě jsou vyznačeny korelační koeficienty s nejvyššími hodnotami (a průkaznými závislostmi) pro každý index samostatně.

Vegetační index	Růstová fáze	Hmotnost sušiny v dané růstové fázi W (t.ha ⁻¹)	Výnos zrna (t.ha ⁻¹)	N-látky v zrně (%)	N v sušině rostlin (%)	N v sušině rostlin na jednotku plochy Nm _{akt} (kg.ha ⁻¹)
	BBCH 30	0.936	0.902	-0.840	0.307	0.937
NDVI	BBCH 32	0.904	0.948	-0.655	0.186	0.825
	BBCH 39	0.464	0.935	-0.623	-0.209	0.388
	BBCH30	0.943	0.919	-0.689	0.372	0.963
NRERI	BBCH32	0.924	0.964	-0.601	0.311	0.898
	BBCH 39	0.526	0.955	-0.643	-0.222	0.441

II.4.3.1 Vyhodnocení produkce sušiny nadzemní biomasy

Produkce sušiny nadzemní biomasy W představuje parametr, který je klíčový pro vyhodnocení výživného stavu rostlin. Současně poskytuje důležitou informaci pro vyhodnocení rizika poléhání a napadení houbovými chorobami. Při vyšší hustotě a produkci nadzemní biomasy se zvyšuje riziko poléhání a šíření některých houbových chorob (např. hnědé skvrnitosti). Z korelační analýzy je zřejmé, že oba vegetační indexy poskytují obdobnou přesnost odhadu množství sušiny nadzemní biomasy. Podobně jako při odhadu odběru dusíku na jednotku plochy platí obdobná závislost v růstových fázích BBCH 30 i BBCH 32 (obr. 8). Vzhledem k požadavku odlišení produkce nadzemní biomasy od dusíkaté výživy je vhodnější pro odhad nadzemní biomasy použít index NDVI. V porovnání se závislostí pro odběr dusíku má vztah mezi indexem NDVI a hmotností sušiny nadzemní biomasy více nelineární – exponenciální charakter. To ovšem znamená, že při hmotnosti sušiny nadzemní biomasy vyšší jak 2 t.ha⁻¹ se přesnost odhadu výrazně snižuje, protože hodnoty indexu NDVI jsou saturovány a dosahují maxima (okolo 0,9). Přesto je možné konstatovat, že v růstových fázích BBCH 29-30 je možná dosáhnout velmi spolehlivého odhadu produkce sušiny nadzemní biomasy.



Obr. 8: Závislosti mezi vegetačními indexy a množstvím dusíku v sušině nadzemní biomasy na jednotku plochy (Nm_{akt}) a množstvím sušiny nadzemní biomasy (W). Pro vyhodnocení závislosti byla spojena měření z růstové fáze BBCH 30 a BBCH 32. V grafech jsou uvedeny funkce využitelné dále v algoritmu vyhodnocení spektrálních měření a index determinace (R^2). V obou případech se jedná o vysoce průkaznou závislost.

II.4.3.2 Vyhodnocení stavu dusíkaté výživy

S ohledem na provedenou korelační analýzu je zřejmé, že přestože nelze ani jeden z vegetačních indexů použít pro spolehlivý odhad obsahu dusíku v sušině rostlin, poskytuje především index NRERI velmi dobrý nástroj pro diagnostiku množství dusíku odebraného nadzemní biomasou (Nm_{akt}). Přitom se korelační koeficienty pro odběr dusíku mění jen minimálně až do poloviny sloupkování a je tedy možné použít stejné kalibrační závislosti bez ohledu na růstovou fázi. Z obr. 8 je zřejmé, že měření prováděná v růstových fázích BBCH 30 a BBCH 32 poskytují jednotnou závislost pro odhad množství dusíku v sušině nadzemní biomasy na jednotku plochy - Nm_{akt} (kg. ha⁻¹) s použitím indexu NRERI. Stejná závislost pro rozdílné růstové fáze je poměrně důležitý poznatek, protože tímto je omezena chyba vyhodnocení způsobená měřeními v odlišných růstových fázích. Samotný odběr dusíku rostlinami na jednotku plochy je ovšem parametr, který lze jen obtížně použít pro vyhodnocení výživného stavu. Pro vlastní vyhodnocení úrovně dusíkaté výživy je nutné znát také hmotnost sušiny na jednotku plochy. Tato může být stanovena na základě odběrů rostlin a stanovení hmotnosti sušiny nebo odhadem pomocí vegetačního indexu NDVI. Pokud známe hmotnost sušiny a odběr dusíku na jednotku plochy, je možné vyhodnotit tzv. index výživy dusíkem (NNI – Nitrogen Nutrition Index) – viz dále.

Index výživy dusíkem NNI a jeho využití pro vyhodnocení výživného stavu a rizika poléhání

Jak již bylo výše řečeno, spektrální indexy ani po odstranění problémů s jejich saturací ve vyšších úrovních výživy dusíkem prostřednictvím využití red-edge pásma a jejich normalizací na další dvě vlnové délky neposkytují dostatečně přesný odhad obsahu dusíku v sušině rostlin, který se dříve využíval pro korekci výživného stavu ječmene v první polovině sloupkování. Z dlouhodobých zkušeností lze ovšem říci, že tento parametr v nezkušených rukou také mohl poskytovat velmi různorodé výsledky. Je to dáno především tím, že ve druhé polovině odnožování a zejména začátku sloupkování se tyto hodnoty rychle mění vzhledem k nárůstu biomasy a zředovacímu efektu. Je jasné, že s ohledem na časové možnosti a průběh počasí není možné odběry udělat zcela přesně v požadované růstové fázi. Přitom již posun o jeden týden může znamenat pokles koncentrace až o ¼. Z tohoto pohledu představuje mnohem robustnější metodu vyhodnocení výživného stavu použití tzv. indexu výživy dusíkem NNI (Nitrogen Nutrition Index), který vychází z optimální křivky závislosti mezi hmotností sušiny na jednotku plochy a koncentrací dusíku v sušině (Lemaire et al. 2008). Koncentrace dusíku je v jakémkoliv okamžiku vyhodnocení vztahována k sušině nadzemní biomasy, což znamená, že tato metoda je minimálně závislá na přesné růstové fázi odběru. Navíc lze tento parametr poměrně dobře odhadovat přímo s využitím indexů spektrální odrazivosti (Mistele a Schmidhalter, 2008).

Optimální křivka vztahu mezi hmotností sušiny nadzemní biomasy a koncentrací dusíku v sušině, neboli tzv. „zředovací křivka“ obecně vyjadřuje minimální, nebo také kritickou koncentrací dusíku, při které plodina dosahuje maximální rychlosti růstu (N_{krit}) při dané hmotnosti sušiny nadzemní biomasy. Kritická koncentrace dusíku N_{krit} (%) je vztažena k hmotnosti sušiny nadzemní biomasy (W) prostřednictvím alometrického vztahu (obr. 9):

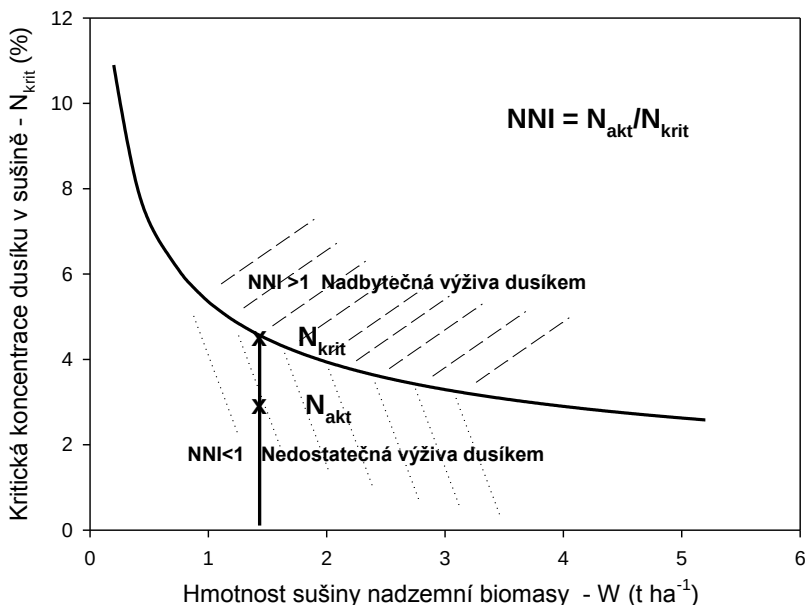
$$N_{krit} (\%) = a \cdot W^b$$

N_{krit} = kritická koncentrace dusíku

W = hmotnost sušiny nadzemní biomasy

a , b jsou konstanty pro danou plodinu

Hlavním faktorem ovlivňujícím charakter křivky kritické koncentrace dusíku je metabolický typ fotosyntézy (C3 a C4 rostliny). Pro většinu plodin s C3 metabolismem jsou si křivky velmi podobné a to včetně vikvovitých rostlin schopných fixovat vzdušný dusík.



Obr. 9: Schematické znázornění algoritmu pro vyhodnocení indexu dusíkaté výživy NNI na s využitím křivky kritické koncentrace dusíku v sušině nadzemní biomasy

Pro jarní ječmen proto můžeme převzít alometrickou závislost stanovenou pro ozimou pšenici (Justes et al. 1994):

$$N_{krit} = 5.35W^{-0.442}$$

Jestliže pro danou hmotnost sušiny biomasy známe kritickou (čili optimální) koncentraci dusíku, můžeme vyhodnotit také aktuální výživný stav, který se nejčastěji vyjadřuje jako tzv. index výživy dusíkem NNI (Nitrogen Nutrition Index) a který se vypočítá jako podíl aktuální a kritické koncentrace dusíku:

$$NNI = N_{akt}/N_{krit}$$

NNI = Index výživy dusíkem (Nitrogen Nutrition Index)

N_{krit} = kritická koncentrace dusíku

N_{akt} = aktuální koncentrace dusíku

Jestliže je NNI rovno 1, pak je výživa dusíkem v optimu, pokud je nižší než 1, pak je výživa dusíkem nedostačující a naopak pokud je NNI vyšší jak 1, potom se jedná o nadbytečnou dusíkatou výživu.

S ohledem na skutečnost, že přesnost odhadu výživného stavu pomocí spektrální odrazivosti je významně vyšší, pokud není odhadována přímo koncentrace dusíku v sušině rostlin, ale množství dusíku v nadzemní biomase na jednotku plochy, je nutné provádět výpočet NNI odlišným způsobem. Kritická koncentrace dusíku N_{krit} musí být převedena na kritické množství dusíku na jednotku plochy Nm_{krit} , a to tak že je vynásobena hmotností nadzemní sušiny na jednotku plochy.

$$Nm_{krit} \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)} = N_{krit} \text{ (}\%\text{)} * W \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} * 10$$

Nm_{krit} = kritické množství dusíku na jednotku plochy

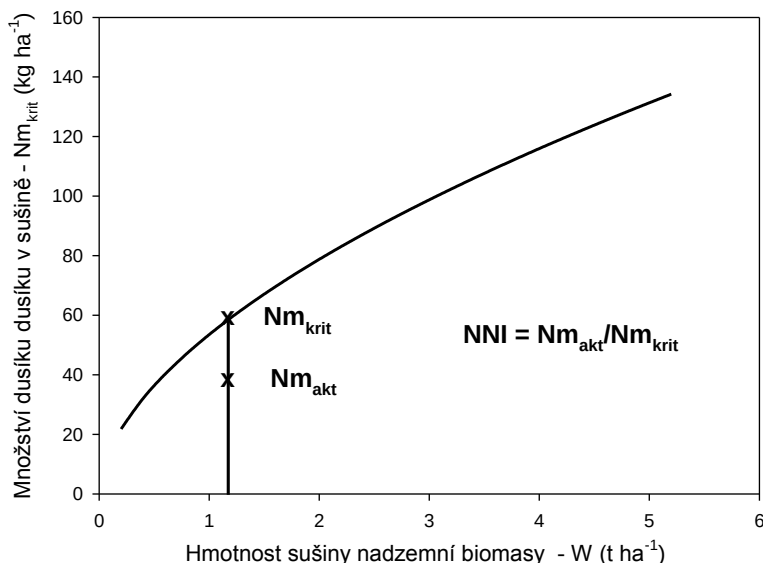
Bez nutnosti výpočtu lze pro aktuální produkci sušiny nadzemní biomasy odečíst kritický odběr dusíku z obr. 10. Chybějící (aplikovaná) dávka dusíku se pak vypočte:

$$N_{apl} = Nm_{krit} - Nm_{akt}$$

N_{apl} = Chybějící (aplikovaná) dávka dusíku

Nm_{krit} = kritické množství dusíku na jednotku plochy

Nm_{akt} = množství dusíku v sušině nadzemní biomasy na jednotku plochy



Obr. 10: Schematické znázornění vyhodnocení indexu dusíkaté výživy NNI s využitím křivky kritického množství dusíku v sušině vyjádřeného na jednotku plochy.

Jestliže jsou hodnoty N_{apl} nižší nebo rovny 0 jedná se o nadbytečnou resp. optimální výživu dusíkem a aplikace dusíku se neprovádí. Z hodnot $N_{m_{krit}}$ a $N_{m_{akt}}$ je možné rovněž vypočítat index NNI:

$$NNI = N_{m_{akt}} / N_{m_{krit}}$$

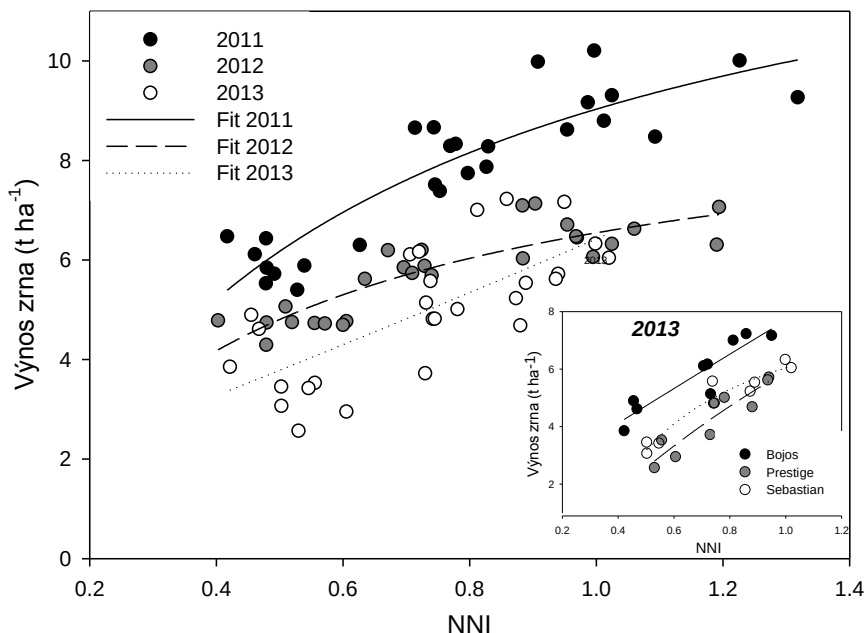
Pro zjednodušené vyhodnocení výživného stavu v růstové fázi BBCH 29-32 a stanovení doporučené dávky dusíku je možné použít tabulky orientačních hodnot odběru dusíku na jednotku plochy, vegetačního indexu NRERI a indexu výživy dusíkem – NNI (Tab. 3). Výživný stav je vztahován pouze k hmotnosti sušiny na jednotku plochy a odpovídajícímu kritickému odběru dusíku. Tím je eliminován vliv růstové fáze, který může přinášet značnou chybu do rozhodování o doporučené dávce dusíku

Tab. 3: Tabulka orientačních hodnot pro stanovení doporučené dávky dusíku ve fázi BBCH 29-32 na základě vyhodnocení aktuálního odběru dusíku na jednotku plochy a indexu výživy dusíkem (NNI) pomocí normalizovaného red-edge indexu (NRERI).

Hmotnost sušiny nadzemní biomasy na jednotku plochy $W \text{ (t.ha}^{-1}\text{)}$	Optimální (kritický) odběr dusíku na jednotku plochy $N_{m_{krit}} \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$	Aktuální odběr dusíku na jednotku plochy $N_{m_{akt}} \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$	Normalizovaný red-edge index NRERI	Index výživy dusíkem NNI	Doporučená dávka dusíku $N_{apl} \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$
0,5	37	<30	<0.48	<0,8	30 kg N
		30-37	0,48-0,5	0,8-1	10-15 kg N
		>37	>0.5	>1	0 kg N
1	54	<43	<0.51	<0.8	30 kg N
		43-54	0,51-0,54	0,8-1	10-15 kg N
		>54	>0.54	>1	0 kg N
1,5	67	<54	<0,54	<0.8	30 kg N
		54-67	0,54-0,57	0,8-1	10-15 kg N
		>67	>0,57	>1	0 kg N
2	79	<63	<0,56	<0,8	30 kg N
		63-79	0,56-0,60	0,8-1	10-15 kg N
		>79	>0,60	>1	0 kg N
2,5	89	<71	<0,57	<0,8	30 kg N
		71-89	0,57-0,62	0,8-1	10-15 kg N
		>89	>0,62	>1	0 kg N

Víceleté ověřování indexu výživy dusíkem NNI

Pro vyhodnocení vlivu ročníku a agrotechnických opatření na spolehlivost odhadu výživného stavu pomocí indexu NNI byly využity rozsáhlé polní pokusy se třemi odrůdami sladovnického ječmene (Bojos, Prestige a Sebastian), třemi úrovněmi výživy dusíkem při aplikaci prováděné před setím ($0, 45$ a 90 kg N.ha^{-1}) a se třemi hustotami výsevu ($2,5; 4,0$ a $5,5 \text{ MKS.ha}^{-1}$). Tyto pokusy poskytly dostatečné rozpětí variant z pohledu hmotnosti sušiny nadzemní biomasy i obsahu dusíku v sušině a bylo tedy možné vyhodnotit závislost mezi indexem NNI (vyhodnoceným v růstové fázi BBCH 31) a výnosem. Tato závislost má typický nelineární (asymptotický) charakter, který znamená, že od určité úrovně dusíkaté výživy se již výnos nezvyšuje nebo zvyšuje jen velmi málo a tuto úroveň, ve které je dosaženo téměř maximálního výnosu je možné považovat za optimální výživu dusíkem. Z výsledků na obr. 11 je patrné, že závislost mezi indexem a výnosem je poměrně těsná, pokud je vyhodnocena samostatně pro jednotlivé ročníky. Současně lze říci, že maximální úroveň výnosu je v jednotlivých letech dosahováno skutečně okolo hodnot indexu NNI 1. Z toho je zřejmé, že ročník ovlivňuje maximální úroveň výnosu, ale již méně pak vlastní závislost mezi indexem NNI a výnosem a tudíž je tento index poměrně robustním indikátorem výživného stavu. V případě ročníku 2013 byla zaznamenána větší variabilita hodnot výnosu. Po analýze závislostí pro jednotlivé odrůdy je patrné, že tato variabilita je způsobena rozdílnou výnosovou úrovní odrůd v roce 2013, která je dána zejména nižším odnožováním a konečným počtem klasů na jednotku plochy u odrůd Prestige a Sebastian při teplém a sušším průběhu počasí na jaře 2013. I v tomto případě se ovšem nemění charakter závislosti a pouze se posunuje maximální výnos. Současně lze z uvedených závislostí usuzovat, že sušší průběh jara ovlivnil příjem vyšších dávek dusíku (90 kg N.ha^{-1}), protože v tomto roce prakticky nebyly překročeny hodnoty indexu $NNI = 1$.

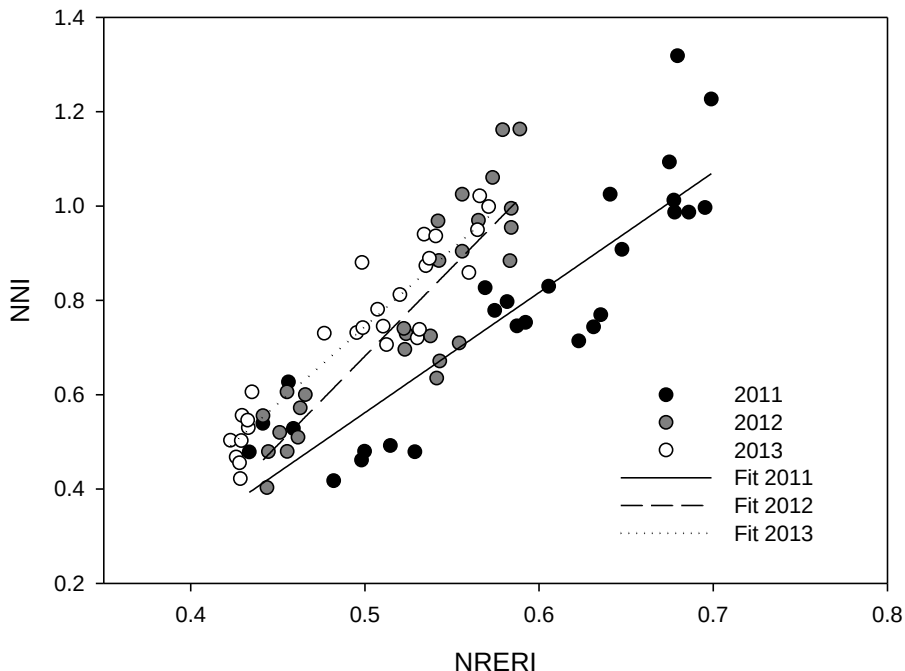


Obr. 11: Závislosti mezi indexem výživy dusíkem NNI a výnosem zrna sladovnického ječmene samostatně pro jednotlivé ročníky a v roce 2013 pak samostatně pro jednotlivé odrůdy.

Přímý odhad indexu výživy dusíkem NNI pomocí spektrální odrazivosti

Protože index NRERI je podobně jako index NNI integrálním parametrem nadzemní sušiny a obsahu dusíku v sušině rostlin, bylo možné předpokládat možnost přímého odhadu indexu NNI ze spektrálního indexu NRERI. Přímý odhad má výhodu v tom, že není nutné provádět odběry vzorků na hmotnost sušiny nebo odhadovat hmotnost sušiny například pomocí indexu NDVI, které může vnášet další chybu do vlastního odhadu výživného stavu. Pro vyhodnocení závislostí mezi NRERI a NNI byla použita stejná data jak v případě vztahu mezi výnosem a NNI. Jednalo se tedy o data ze tří ročníků z polních pokusů se třemi odrůdami ječmene, třemi dávkami dusíku a třemi hustotami výsevu. Pro vyhodnocení byly zvoleny údaje z růstové fáze BBCH 31, kterou je možné považovat za klíčovou z pohledu korekčních opatření ve výživě rostlin. Z obr. 12 je patrné, že tato závislost mezi NRERI a NNI má těsný lineární charakter, přičemž je ale patrný ročníkový posun vztahu. Zatímco pro ročníky s nižší výnosovou úrovní (2012, 2013) je závislost velmi

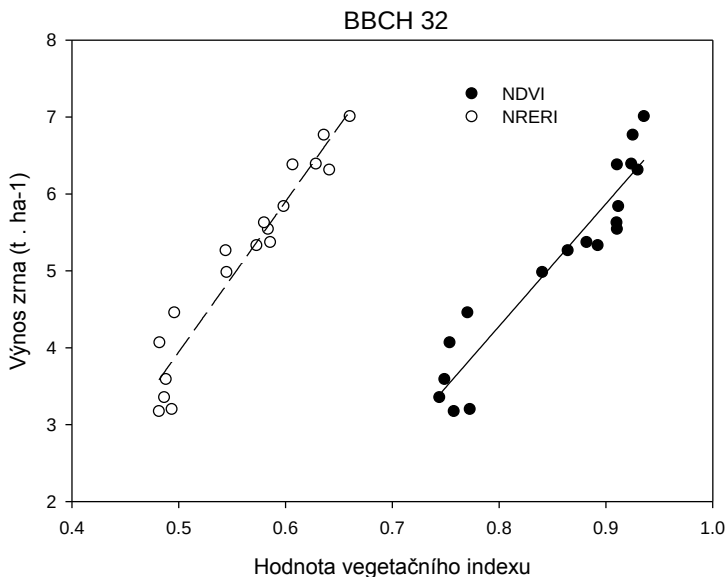
podobná, v roce 2011, kdy bylo dosaženo vysokých výnosů ječmene, se závislost posunuje k vyšším hodnotám NRERI. Zpřesnění odhadu indexu NNI pomocí spektrálního indexu NRERI je proto možné prostřednictvím korekce na odhadovaný výnos zrna, nebo lépe prostřednictvím kalibrace závislosti na minimálně dvou bodech (ideálně na ječmeni s nízkou a vysokou úrovní dusíkaté výživy).



Obr. 12: Závislost mezi normalizovaným red-edge indexem NRERI a indexem výživy dusíkem NNI samostatně pro jednotlivé ročníky.

II.4.3.3 Odhad výnosu

Jak je zřejmé z tabulky korelačních koeficientů, odhad výnosu je možné provádět pomocí obou uváděných vegetačních indexů, a to prakticky od konce odnožování až do konce sloupkování. Přitom spolehlivost predikce zůstává vysoká po celé období. Problém spočívá v tom, že charakter závislosti mezi vegetačními indexy a výnosem se v čase mění. Z tohoto pohledu je výhodnější použít index NRERI, pro který se závislost mění až do fáze BBCH 32 jen velmi málo. Obecně je nejlepší korelace k výnosu dosahována v růstové fázi BBCH 32 (obr. 13).



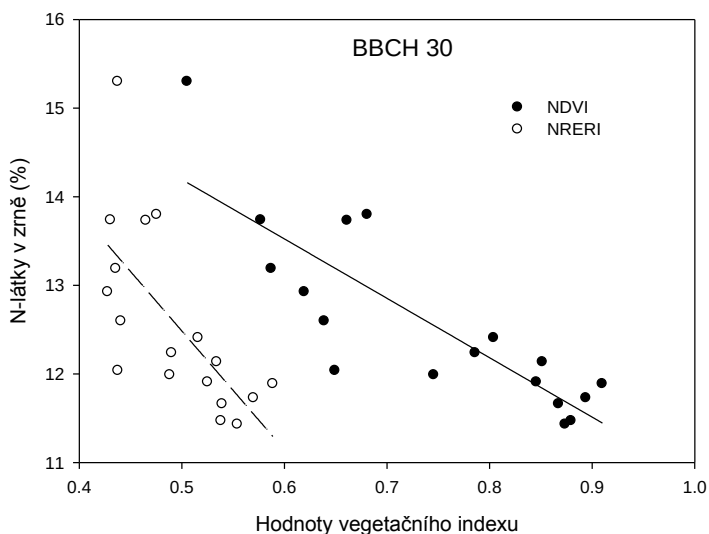
Obr. 13: Závislosti mezi hodnotami vegetačních indexů NDVI a NRERI stanovenými v růstové fázi BBCH 32 a konečným výnosem zrna

II.4.3.4 Predikce obsahu dusíkatých látek v zrně

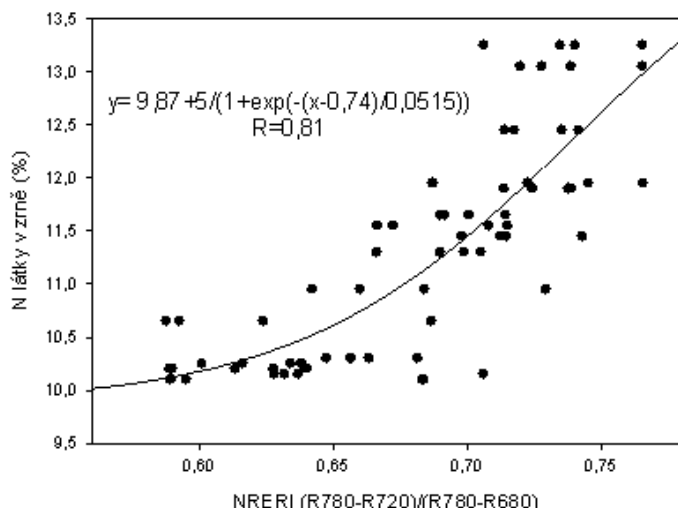
Odhad obsahu dusíkatých látek v zrně je pravděpodobně nejsložitější výzvou použití metod dálkového průzkumu. Je to dáno především dlouhým odstupem od vlastního měření spektrální odrazivosti do doby zrání. Vlastní proces zrání přitom může výrazně ovlivnit obsah dusíkatých látek v zrně. Předčasné dozrávání v důsledku vysokých teplot a sucha obvykle zvyšuje obsah dusíkatých látek v zrně, naopak pomalé dozrávání při chladnějším a vlhčím počasí vede k jeho poklesu. Rovněž počasí v první polovině vegetace sehrává důležitou úlohu. Při velmi suchém počasí v první polovině vegetace se dusík uvolňuje až později a vyšší množství dusíku zvyšuje obsah dusíkatých látek v zrně. Naopak za příznivých vláhových podmínek v první polovině vegetace vede dostatek dusíku k dostatečnému odnožování a vytvoření vysokého počtu produktivních stébel. Tento případ je běžnější a podle starších výsledků výzkumu lze v ročnících s dostatkem vláhy predikovat obsah dusíkatých látek v zrně na základě hustoty porostu. Proto je také možné ve vlhčích ročnících predikovat obsah dusíkatých látek v zrně na základě vegetačních indexů, které jsou využívány pro odhad hustoty porostu.

Nejlepšího odhadu obsahu dusíkatých látek je tak dosahováno s využitím indexu NDVI v růstové fázi BBCH 30 (tab. 2, obr. 14). V tomto případě má závislost inverzní charakter, což znamená, že při vyšší hodnotě indexu NDVI a tudíž také vyšší hustotě se snižuje obsah dusíkatých látek v zrna.

Naopak v ročníku se suchým průběhem první poloviny vegetace tato závislost neplatí, nebo má naopak pozitivní charakter. V tomto případě je obvykle přesnější odhadu obsahu dusíkatých látek dosaženo až při snímání spektrální odrazivosti na konci sloupkování - BBCH 37 až 41 (obr. 15). Především je ale nutné počítat s tím, že vztah mezi vegetačními indexy a obsahem dusíkatých látek v zrna ječmene je výrazně modifikován průběhem ročníku.



Obr. 14: Závislosti mezi hodnotami vegetačních indexů NDVI a NRERI stanovenými v růstové fázi BBCH 30 a obsahem N látek v zrna ječmene



Obr. 15: Závislost mezi indexem spektrální odrazivosti porostu NRERI ke konci sloupkování (BBCH 37–41) a obsahem N látek v znu ječmene v suchém ročníku

II.4.3.5 Predikce poléhání

Poléhání porostu ječmene je ovlivňováno působením mnoha faktorů a rozhodovací pravidla pro použití regulátorů růstu proto musí brát v potaz všechny možné příčiny poléhání. Navržený rozhodovací systém představuje modifikaci dříve vyvinutého algoritmu, který pracuje na základě objektivně zjištěných závislostí mezi jednotlivými faktory podporujícími poléhání a subjektivně přiřazených vah, které vyjadřují relativní význam jednotlivých faktorů. Úrovně faktorů jsou pak rozděleny do tří kategorií z pohledu rizika poléhání na nízké, střední a vysoké riziko (Tab. 4). Přepočtem pomocí vah získáme souhrnnou hodnotu rizika poléhání, podle kterého je plánována intenzita ošetření regulátory růstu. K hlavním faktorům, které ovlivňují poléhání porostu ječmene, řadíme dusíkatou výživu, hustotu porostu, odrůdovou odolnost k poléhání, předplodinu, půdní podmínky a průběh počasí.

Jako klíčový faktor rozhodující o úrovni poléhání se na základě výsledků rozsáhlých pokusů po čtyřech předplodinách jeví množství minerálního dusíku dostupného rostlinám v průběhu odnožování a sloupkování. Proto je tomuto faktoru přiřazena nejvyšší váha (1,2). Navržený rozhodovací systém byl modifikován s tím, že koncentrace dusíku v sušině rostlin byla nahrazena

indexem výživy dusíkem NNI, který není závislý na růstové fázi a může být také vyhodnocen pomocí spektrální odrazivosti (index NRERI).

Druhým nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím poléhání je odrůdová odolnost (váha 1,2). Přestože v současném sortimentu odrůd sladovnického ječmene nenalezneme genotyp s vysloveně vysokou odolností k poléhání, má v tomto ohledu odrůdová odolnost podobně zásadní význam jako dusíkatá výživa.

Na dalším místě je nutné zdůraznit vliv předplodiny, který sice velmi úzce souvisí s celkovou nabídkou dusíku, více však s dynamikou jeho uvolňování, a proto je nutné předplodinu uvažovat jako samostatný faktor. Největší problém z pohledu poléhání způsobují předplodiny, po kterých je z posklizňových zbytků uvolňováno velké množství dusíku a to z velké části až ve sloupkování. Typickou předplodinou s negativním dopadem na poléhání je řepka, a to především pokud zanechává velké množství posklizňových zbytků, které se v důsledku suchého podzimu nebo opožděné podmítky dostatečně nerozložily. Faktoru předplodiny byla přiřazena váha 1.

Stejnou váhu má i vliv počasí. V případě dostatku vláhy se zvyšuje množství vytvořené biomasy, prodlužuje se výška rostlin a pletiva se vyznačují nižší pevností. To vše se odráží na zvýšeném riziku poléhání. Naopak při suchém průběhu počasí je porost řidší a nízký, což znamená, že k poléhání dochází jen výjimečně a v menší intenzitě.

Nezanedbatelný vliv na poléhání má hustota porostu. Hustota porostu ovlivňuje poléhání jen v menším rozsahu, a proto byla tomuto faktoru přiřazena váha 0,8. Stejná váha byla přiřazena také vlivu půdních podmínek. Opět se jedná o faktor, který souvisí s uvolňováním minerálního dusíku. Podobně jako v případě předplodiny, ale vliv půdních podmínek na mineralizaci dusíku nemusí být zachycen rozbory rostlin na začátku odnožování. Na úrodných půdách s vysokým obsahem humusu může docházet k hlavnímu uvolňování dusíku až ke konci odnožování či na začátku sloupkování. Tento dusík je pak pro výslednou úroveň poléhání velmi důležitý.

Tab. 4: Vliv jednotlivých faktorů na riziko poléhání a váhy faktorů pro vyhodnocení celkového rizika poléhání

Faktor	Riziko poléhání			Váha
	Nízké 1 bod	Střední 2 body	Vysoké 3 body	
Index výživy dusíkem NNI ve fázi BBCH 29-32	<0.8	08 - 11	> 1.1	1,2
Hustota výsevu	Do 3,5 MKS	3,5-4,5 MKS	Nad 4,5 MKS	0,8
Předplodina	Kukuřice na zrno	Ozimá pšenice, cukrovka	Ozimá řepka, mák	1
Odolnost odrůdy k poléhání	Vyšší Diplom, Francin, KWS Irina, Saloon,	Střední Aksamit, Aktiv, KWS Asta, Bojos, Britney, AF Cesar, Gladys, Grace Kangoo, Laudis 550, AF Lucius, Montoya, RGT Otakar, Prestige, Radegast, Overture, Petrus, Sebastian Spilka, Signora, Streif, Sunshine, Tolar Vista, Wiebke, SU Zaza,	Nízká Azit, Arthur, Blaník, Calgary, Delphi, Jersey, Malz, Marthe, Odyssey, Vendela, Westminster, Xanadu, Zhana,	1,2
Půdní podmínky (uvolňování minerálního dusíku)	Lehké půdy s nízkým obsahem humusu	Střední půdy se středním obsahem humusu	Těžší půdy s vysokým obsahem humusu	0,8
Počasí	Suché a velmi teplé	Průměrné teploty a srážky	Chladné a vlhké	1

Výpočet celkového rizika poléhání je pak proveden následovně:

$$\text{Riziko poléhání} = (F_1 \cdot V_1 + F_2 \cdot V_2 + \dots + F_n \cdot V_n) / n$$

F_n = bodové ohodnocení pro daný faktor

V_n = je váha pro daný faktor

n = celkový počet faktorů

Výsledná hodnota v rozmezí:

- 1,0 – 1,5 představuje nízké riziko poléhání
- 1,6 – 2,4 představuje střední riziko poléhání
- 2,5 – 3,0 představuje vysoké riziko poléhání

III Srovnání „novosti postupů“

Přestože vývoj v oblasti technologií pro precizní zemědělství dosáhl za poslední desetiletí značného pokroku, jejich rozšiřování zůstává do značné míry limitováno spolehlivostí sběru dat a jejich interpretace. Senzory a přístroje pro vyhodnocení výživy rostlin dusíkem, založené na principu měření spektrální odrazivosti (reflektance) využívají nejčastěji rozdílů v odrazivosti v pásmech s velmi silnou absorpcí chlorofylu (nejčastěji RED) a v pásmu s velmi intenzivní odrazivostí (nejčastěji NIR). Řada výsledků (např. Merzylak a Gitelson, 1995) ukazuje, že absorpční koeficient chlorofylu je ve využívaných vlnových délkách tak vysoký, že k saturaci absorpce dochází již při poměrně nízkých koncentracích dusíku, respektive chlorofylu.

Běžně využívané spektrální indexy, jako je např. NDVI, jsou proto nedostatečně citlivé ke změnám v rozpětí od středního do vysokého obsahu dusíku. Tento index je naopak velmi citlivý ke struktuře porostu (především hustotě, nadzemní biomase a indexu listové plochy LAI), což značně znesnadňuje interpretaci ve vztahu k dusíkaté výživě (Mistele a Schmidhalter 2010).

Přínosem metodiky jsou postupy pro praktické využití indexu NRERI. Ten je, v porovnání s NDVI, citlivější k rozdílům ve výživě dusíkem, zejména v intervalu středních až vysokých dávek N a také v pozdějších růstových fázích. Zmiňované postupy jsou zatím zpracovány pro rozhodovací procesy v rámci pěstební technologie jarního ječmene.

Současně je v rámci této metodiky zaveden přístup hodnocení výživného stavu ječmene pomocí indexu výživy dusíkem NNI. Tento index má hlavní přednost v tom, že je pro jakýkoliv termín vyhodnocení prováděno ve vztahu k produkci hmotnosti sušiny na jednotku plochy. To znamená, že proces vyhodnocení a rozhodování se stává nezávislým na růstové fázi a posun vyhodnocení neznámá vnesení chyby do rozhodovacího procesu. Index NNI může být rovněž odhadován pomocí spektrální odrazivosti přímo, což významně usnadňuje a zpřesňuje rozhodovací proces.

Novým přístupem této metodiky je také snaha o využití spektrální odrazivosti pro odhad dalších parametrů, které mají pro pěstitele praktický význam. Vedle odhadu produkce nadzemní biomasy tak může být poměrně s vysokou přesností odhadnut výnos, obsah dusíkatých látek či riziko poléhání.

IV Popis uplatnění metodiky

Metodika je prvotně určena pěstitelské praxi, s ohledem na obsažené informace a způsob zpracování může být využívána i poradenskou službou na úseku rostlinné produkce. Přináší informace o praktickém využití spektrálních charakteristik porostů, specializovaných vegetačních indexů NRERI a NDVI, při řízení procesů v pěstební technologii jarního ječmene. Obsahuje návod k měření výše uvedených indexů i principy agronomické interpretace naměřených výsledků.

Kromě samotné metodiky bude metoda měření spektrálních indexů NRERI a NDVI, vyhodnocení a interpretace výsledků prezentována prakticky na polních dnech pro zemědělskou veřejnost a dalších akcích jako jsou semináře a konference.

Metodika bude přístupná na internetové adrese <http://www.vukrom.cz/vyzkum/metodiky>, v tištěné formě bude vydána nákladem 300 ks.

V Ekonomické aspekty

Jarní ječmen se v České republice pěstuje na cca 280 tis. ha (průměr za léta 2009–2013). Ekonomické přínosy praktického uplatňování diagnostických metod je obtížné konkrétně vyčíslit vzhledem k charakteru zemědělské výroby, různorodosti uplatňovaných pěstitelských postupů a podmínek, ve kterých se uskutečňují. Z našich zkušeností z polních pokusů (maloparcelkových i poloprovozních) vyplývá, že přínosy v tržbách se nejčastěji pohybují v rozmezí 500–5000 Kč.ha⁻¹ (v závislosti na podmínkách v daném ročníku). Přitom nejde pouze o výši produkce, ale důležitým aspektem je také stabilita výnosů a sladovnické kvality zrna.

V souvislosti se zaváděním a využíváním nových metod se mění relace mezi náklady na pořízení přístrojového vybavení a úhradami za služby specializovaných laboratoří. Návratnost investice se bude odvíjet od pořizovací ceny přístrojového vybavení a intenzity jeho využití. Vycházíme-li z poznatků uvedených výše, pak u podniku pěstujícího 100 ha jarního sladovnického ječmene by se náklady na pořízení v metodice zmíněného ručního měřicího přístroje Magic XBP měly vrátit do dvou let. Nezanedbatelnou výhodou spojenou s využíváním diagnostických metod založených na měření spektrálních charakteristik porostu je také větší plošná výkonnost a kratší čas potřebný k získání výsledků.

Přestože přístroj a rozhodovací algoritmy byly vyvinuty primárně pro sladovnický ječmen, obdobné využití lze díky univerzálnosti indexu výživy dusíkem NNI očekávat rovněž pro ozimou pšenici nebo řepku. Tyto plodiny nejen že jsou pěstovány na mnohem větších výměrách, rovněž vyžadují rozhodování o výživě dusíkem několikrát během sezony a celková úspora v podobě nižších vstupů hnojiv a vyššího výnosového efektu tak může být i několikanásobně vyšší než v případě jarního ječmene.

VI Seznam použité literatury

- Alvaro, F., García del Moral, L. F., Royo, C. (2007). Usefulness of remote sensing for the assessment of growth traits in individual cereal plants grown in the field. *International Journal of Remote Sensing*, 28(11), 2497-2512.
- Buschmann, C., Nagel, E. (1993). In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 14(4), 711-722.
- Fecencko, J., Bizik, J., Lozek, O. (1989). Spring barley fertilizing in relation to the content of inorganic nitrogen in soil. *Rostlinna Vyroba*, 35(8), 825 - 834.
- Fecencko, J., Ložek, O. (2000). Výživa a hnojenie poľných plodín. Nitra, Slovenská poľnohospodárska univerzita, 442.
- Gitelson, A., Merzlyak, M. N. (1994). Quantitative estimation of chlorophyll-*a* using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 22(3), 247-252.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289-298.
- Hirose, T., Werger, M. J. A. (1987). Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. *Oecologia*, 72(4), 520-526.
- Kubinec, S. (1998). Vplyv dusíkatého hnojenia a pesticídov na úrody jarného jačmeňa. *Rostlinná výroba*, 44 (1), 19 – 24.
- Lemaire, G., Oosterom, E. V., Sheehy, J., Jeuffroy, M. H., Massignam, A., Rossato, L. (2007). Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth?. *Field Crops Research*, 100(1), 91-106.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., Gastal, F. (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of agronomy*, 28(4), 614-624.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods enzymol*, 148, 350-382.
- Malhi, S. S., Johnston, A. M., Schoenau, J. J., Wang, Z. L., Vera, C. L. (2006). Seasonal biomass accumulation and nutrient uptake of wheat, barley and oat on a Black Chernozem soil in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(4), 1005-1014.

- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. (1995). Why and what for the leaves are yellow in autumn? On the interpretation of optical spectra of senescing leaves (*Acer platanoides* L.). *Journal of Plant Physiology*, 145(3), 315-320.
- Mistele, B., Schmidhalter, U. (2008). Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy*, 29(4), 184-190.
- Herrmann, A. M., Witter, E. (2008). Predictors of gross N mineralization and immobilization during decomposition of stabilized organic matter in agricultural soil. *European Journal of Soil Science*, 59 (4), 653 – 664.
- Otegui, O., Zamalvide, J., Perdomo, C., Goyenola, R., Cervenansky, A. (2002). Effect of timing of nitrogen application on fertilizer use efficiency, yield and grain protein concentration of maturing barley in Uruguay. *Terra*, 20(1), 71-80.
- Weston, D. T., Horsley, R. D., Schwarz, P. B., Goos, R. J. (1993). Nitrogen and planting date effects on low-protein spring barley. *Agronomy Journal*, 85(6), 1170-1174.
- Zimolka, J. et al. (2006): *Ječmen - formy a užitkové směry v České republice*. 1. vydání. Praha, Profi Press, s. r. o., 199.

VII Seznam publikací, které předcházel metodyce

- Klem, K., Rajsnerová, P., Novotná, K., Miša, P., Křen, J. (2014). Changes in Vertical Distribution of Spectral Reflectance within Spring Barley Canopy as an Indicator of Nitrogen Nutrition, Canopy Structure and Yield Parameters. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 60 (2), 50-59.
- Křen, J., Klem, K., Svobodová, I., Miša, P., Neudert, L. (2014) Yield and grain quality of spring barley as affected by biomass formation at early growth stages. *Plant, Soil and Environment*, 60 (5), 221-227