

M E T O D I K A   P R O   P R A X I

# Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství

Lukas V. a kol.

**Poděkování:**

Metodika shrnuje výsledky získané při řešení následujících výzkumných projektů:

- Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR NPVII č. 2B06124 „Snižování dopadů a rizik na životní prostředí a získávání informací pro kvalifikované rozhodování metodami precizního zemědělství“
- Ministerstva zemědělství ČR NAZV č. QI111A133 „Zlepšení využití odrůdového potenciálu obilnin na základě časové a prostorové analýzy spektrálních charakteristik porostu“

**© Mendelova univerzita v Brně, 2012**

**ISBN 978-80-7375-686-4**

VOJTĚCH LUKAS, PAVEL RYANT, LUBOMÍR NEUDERT, TAMARA  
DRYŠLOVÁ, PAVEL GNIP, VLADIMÍR SMUTNÝ

**Stanovení a optimalizace  
diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv  
v precizním zemědělství**

METODIKA PRO PRAXI

Mendelova univerzita v Brně

2012

### **Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství**

Metodika se zaměřuje na postupy zefektivnění využívání dusíkatých látek pro hnojení polních plodin s uplatněním principů lokálně cíleného hospodaření na zemědělské půdě, tzv. precizního zemědělství. V metodice jsou popsány v současnosti používané postupy stanovení dávek živin a jejich korekce na základě diagnostiky výživného stavu rostlin. Podstatná část je věnována nedestruktivním metodám mapování variability porostů využívající sensorová měření spektrálních charakteristik vegetace.

### **Determination and optimization of differentiated doses of nitrogenous fertilizers in precision agriculture**

The methodology is focused on the efficient use of nitrogen fertilizers in crop production according to the principles of site specific crop management, so called precision agriculture. There are described currently used practices for calculation of nutrient rates and their correction based on the plant nutrition diagnosis. Essential part is dedicated to non-destructive methods of mapping the crop stand variability using sensor measurement of spectral characteristics of vegetation.

#### **Oponenti:**

Ing. Jan Hrubý, CSc. - Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r. o.

Ing. Josef Svoboda, Ph.D. - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům.

Metodiku schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský pod č. j. 194-21/KÚ/UKZUZ/2012

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

## OBSAH

I. Cíl metodiky .....	6
II. Vlastní metodika .....	7
1. Úvod .....	7
2. Hnojení plodin v precizním zemědělství.....	7
2.1. Stanovení plánovaného výnosu a normativní dávky .....	9
3. Diagnostické metody .....	13
3.1. Diagnostika obsahu minerálního dusíku v půdě.....	13
3.2. Destruktivní metody diagnostiky výživného stavu rostlin .....	17
3.3. Kontaktní metody diagnostiky výživného stavu rostlin .....	23
3.4. Bezkontaktní metody diagnostiky stavu porostů .....	26
3.5. Dálkový průzkum .....	35
III. Srovnání novosti postupů .....	41
IV. Popis uplatnění certifikované metodiky .....	41
V. Seznam použité literatury .....	42
VI. Seznam publikací, které předcházely metodice.....	44

## I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je informovat odbornou veřejnost a zemědělskou praxi o možnostech praktického využívání různých postupů stanovení diferencovaných dávek dusíkatého hnojení, jako podkladu pro uplatnění principů lokálně cíleného obhospodařování, tzv. precizního zemědělství. Precizní zemědělství představuje individuální péči o jednotlivé části pozemků na základě přesných znalostí heterogenity půdních vlastností a stavu porostů. Princip diferencovaných agrotechnických zásahů umožní optimalizovat a zefektivnit spotřebu materiálových vstupů do pěstebních technologií, a tím snížit negativní dopady na životní prostředí, což povede ke zvýšení trvalé udržitelnosti pěstebních systémů polních plodin a zvýšení kvality produkce. Metodika popisuje postupy získávání informací o výživném stavu porostů v podobě diagnostických metod a způsob následné optimalizace dávek dusíkatého hnojení. Kromě informací z odborné literatury zahrnuje předkládaná metodika výsledky a doporučení na základě poznatků získaných v letech 2004-2011.

## II. VLASTNÍ METODIKA

### 1. Úvod

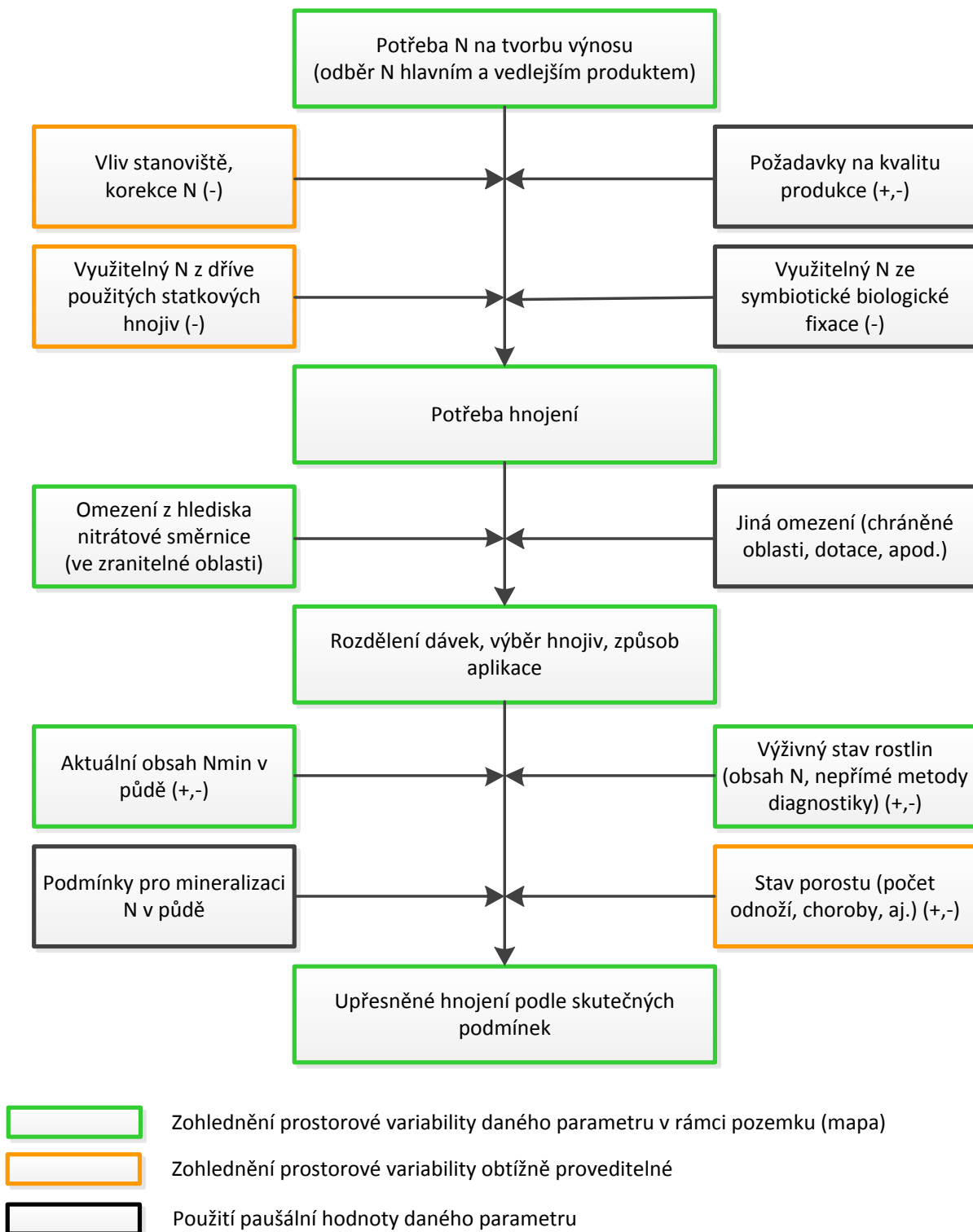
Precizní zemědělství (*precision agriculture*, nebo také *site specific crop management*) je mezinárodně ujednocený název pro směry hospodaření na půdě využívající nové technologie, které začaly být rozvíjeny koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let dvacátého století. Hlavním cílem je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním (lokálním) podmínkám stanoviště, přičemž zásadou je provádět pěstební zásahy na **správném místě**, se **správnou intenzitou** a ve **správný čas**. Přesto, že je precizní zemědělství postaveno na využívání nejmodernějších technologií, základní principy ve výživě rostlin zde zůstávají stále platné. Vychází se z bilančního přístupu, tzn., že živiny odebrané pěstovanými plodinami, resp. následně odvezené z pozemku ve formě sklizených produktů, je třeba do půdy navrátit ve formě hnojiv (statkových nebo minerálních). Metody precizního zemědělství však díky pokroku v oblasti lokalizační a aplikační techniky nepřistupují k porostům na pozemcích jako k uniformnímu celku, ale umožňují postihnout jeho heterogenitu. Na základě mapování variability půdy a porostů je možné rozdělit pozemek do tzv. management zón a pomocí techniky pro variabilní aplikaci provádět lokálně cílenou aplikaci hnojiv. Cílem je **efektivní využití hnojiv** s ohledem na výnosový potenciál daného místa na pozemku, **optimalizace kvality produkce** a **snížení kontaminace životního prostředí**.

### 2. Hnojení plodin v precizním zemědělství

Hnojením bychom měli pěstovaným plodinám zajistit adekvátní přísun živin pro vytvoření požadovaného výnosu a kvality produkce. Při stanovení dávky hnojení se berou v úvahu půdní a klimatické podmínky stanoviště, vliv předplodiny, organického hnojení, popř. zpracování půdy nebo závlah a v neposlední řadě také legislativní ekologická omezení. Klasický bilanční princip tzv. nahrazovacího hnojení, tj. navrácení živin odvezených z pozemku ve sklizených produktech s přihlédnutím k zásobě přístupných živin v půdě (podle výsledků Agrochemického zkoušení zemědělských půd - AZZP), popř. k obsahu živin v použitých statkových hnojivech, se využívá pro stanovení potřeby hnojení plodin fosforem a draslíkem, popř. hořčíkem.

Při stanovení potřeby hnojení dusíkem je jeho množství potřebné pro tvorbu výnosu hlavního i vedlejšího produktu třeba korigovat o dusík přijímaný z půdy, dodaný organickými hnojivy a poskytnutý předplodinou z čeledi bobovité. Vzhledem k množství a rychlosti přeměn dusíku v půdě není jeho obsah v rámci AZP sledován. Pro zohlednění tohoto zdroje dusíku je třeba využít stanovištní půdní a klimatické podmínky, z nichž lze odvodit obsah organického dusíku v půdě, předpokládanou intenzitu mineralizace v průběhu vegetace a tak množství vytvořeného minerálního dusíku přístupného rostlinám. Další úpravu aplikovaného množství dusíku provedeme podle množství využitelného dusíku v organických hnojivech, podle dusíku poskytnutého posklizňovými zbytky leguminóz, popř. podle aktuálního obsahu minerálního dusíku v půdě, je-li analyticky stanoven. Efektivní využití dodaných dusíkatých hnojiv zajistíme jejich dělenou aplikací.

Komplexní přehled faktorů rozhodujících o tvorbě výsledné dávky dusíku je uveden na Obr. 1.



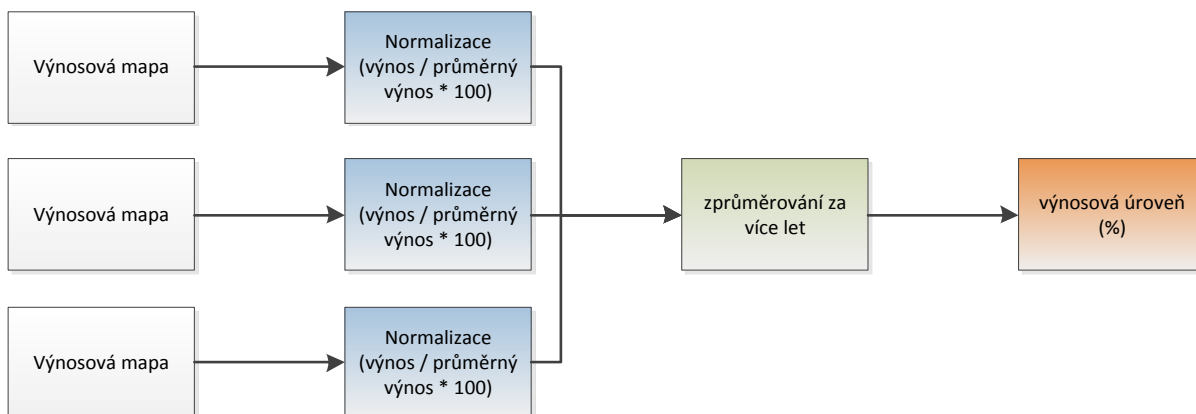
Obr. 1 Postup při stanovení hnojení plodin dusíkem (Klír et al., 2008) se zvýrazněním možnosti zohlednění prostorové variability v rámci jednotlivých pozemků



## 2.1. Stanovení plánovaného výnosu a normativní dávky

Plánovaným výnosem je při tradičním výpočtu myšlena průměrná hodnota výnosu plodiny na daném pozemku. U více heterogenních pozemků však může použití jednotného průměrného výnosu za celý pozemek maskovat lokální oblasti s vyšší nebo naopak nižší produktivitou. Vývoj sklízecí techniky v současnosti nabízí možnost celoplošného monitorování výnosu sklizené plodiny. Výsledkem jsou výnosové mapy, ze kterých lze po normalizaci výnosu (přepočtu absolutního výnosu na relativní) stanovit výnosovou úroveň na pozemku. Lukas et al. (2011b) popisují postup zpracování výnosových map, kdy kombinací (zprůměrováním) historických map s relativním výnosem lze do určité míry eliminovat ročníkové rozdíly a získat přehled o rozložení výnosového potenciálu na daném území.

Hodnota výnosové úrovně vyjadřuje procentuální porovnání výnosu na daném místě s průměrným výnosem ve sledovaném roce za celý pozemek. Principem zohlednění výnosové úrovně při výpočtu normativu je plošná diferenciací výnosového potenciálu daného území namísto použití jednotného průměrného plánovaného výnosu nutného pro výpočet normativu (odběru živin na plánovaný výnos). Stanovení výnosové úrovně se skládá ze dvou kroků – normalizace výnosových map a zprůměrování za více let (pokud jsou data k dispozici).



Obr. 2 Schéma výpočtu výnosové úrovně z výnosových dat z jednotlivých sklízňových ročníků (počet závisí na dostupnosti historických dat) (Lukas et al., 2011b)

### Normalizování výnosových map

Vstupní bodová data je nutné nejprve upravit (odstranit chybové, nulové a odlehlé hodnoty, přepočítat na konstantní vlhkost zrna) a následně z nich prostorovými interpolacemi vytvořit celoplošné rastrové mapy vyjadřující výnos v absolutních jednotkách ( $t \cdot ha^{-1}$ ,  $kg \cdot ha^{-1}$ ) v každém pixelu. Normalizovaný výnos se vypočte následovně:

$$\text{normalizovaný výnos} = \left( \frac{\text{výnos}}{\text{průměrný výnos}} \right) \cdot 100 [\%]$$

Výnosem je hodnota každého pixelu (tzn. konkrétní výnos na daném místě), průměrným výnosem je průměr výnosu na daném pozemku. Výsledný normalizovaný výnos vyjadřuje, o kolik procent byl vyšší nebo nižší než průměr celého pozemku v daném roce. Normalizace výnosu umožňuje použít výnosová data rozdílných plodin nebo odrůd s odlišným výnosovým potenciálem, neboť se zohledňuje pouze poměr k průměrnému výnosu, nikoli absolutní hodnoty výnosu.

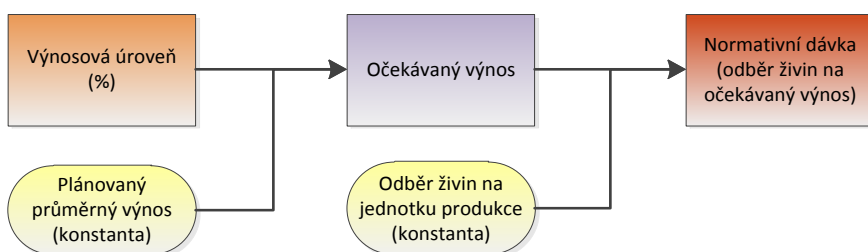
### Zprůměrování historických dat

Pokud jsou k dispozici výnosová data za více let, jejich zprůměrováním (po normalizaci výnosu) lze eliminovat vliv ročníku na výnos a vliv rozdílných plodin. Zároveň tento postup umožňuje identifikovat oblasti na pozemku s dlouhodobým podprůměrným nebo nadprůměrným výnosem.

### Výpočet normativní dávky

Použití výnosové úrovně nic nevyovídá o očekávaném dosažení výnosu, který je zapotřebí pro výpočet normativní dávky živin z odběru živin na jednotku produkce. Proto je nutné výnosovou úroveň vynásobit plánovaným výnosem dané plodiny (konstanta na celý pozemek), který odpovídá výnosovému potenciálu plodiny (odrůdy) v daných agroekologických podmínkách a dané intenzitě hospodaření. Tímto se vytvoří mapa očekávaného výnosu v absolutních jednotkách. Normativní dávka je pak vypočtena vynásobením očekávaného výnosu množstvím živin odebraných na jednotku produkce (konstanta na celý pozemek – viz Tab. 1).

$$\text{normativ} = \frac{\text{výnosová úroveň}}{100} \cdot \text{plán. výnos} \cdot \text{odběr živin na jednotku produkce} [\%]$$



Obr. 3 Schéma výpočtu normativní dávky (žlutý ovál značí konstantní hodnotu pro celý pozemek) (Lukas et al., 2011b)

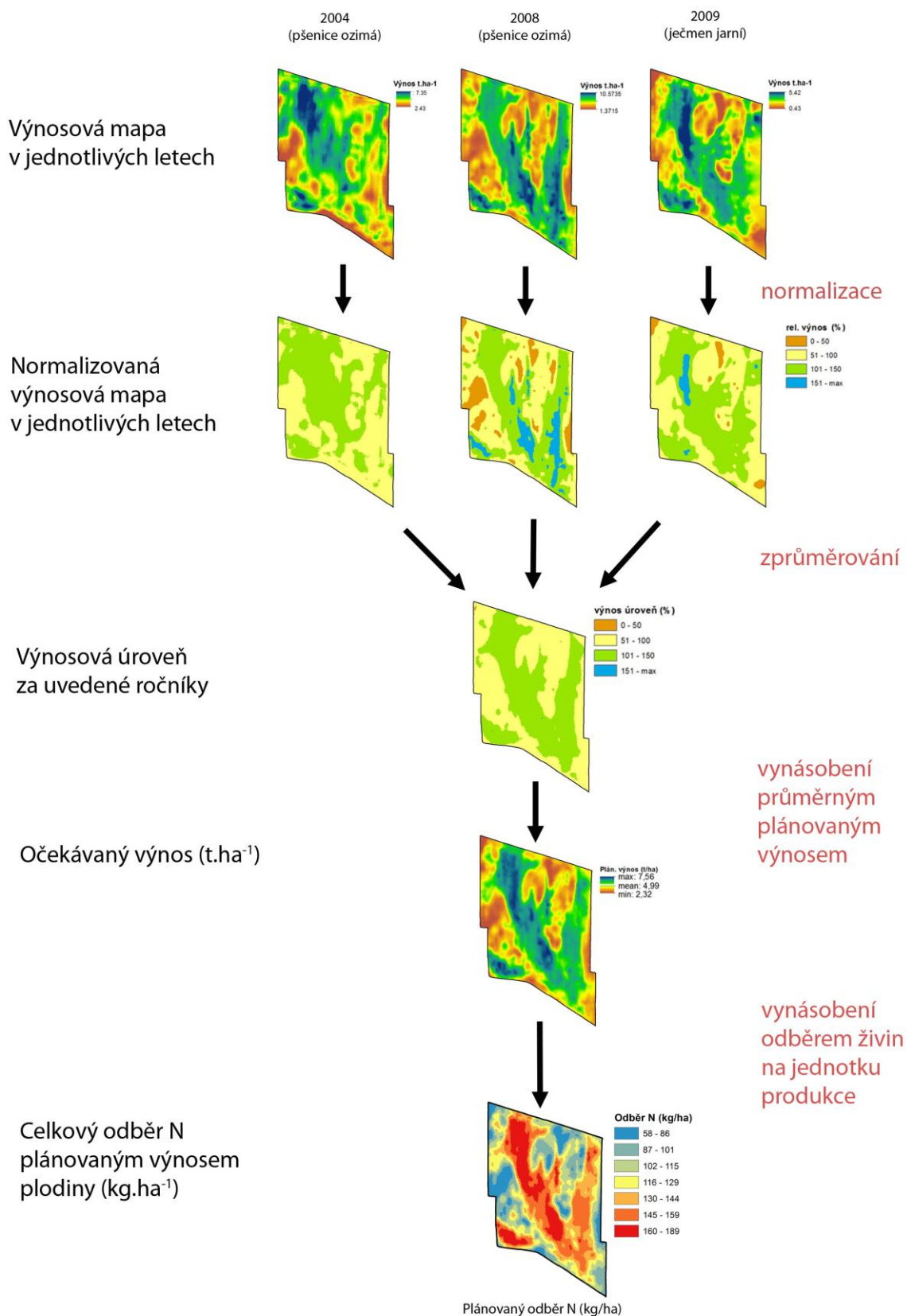
Tab. 1 Průměrný odběr živin ve sklizených produktech vybraných plodin (Klír et al., 2008)

Plodina	Produkt	Sušina (%)	poměr HP:VP <sup>1)</sup>	Odběr živin v kg.t <sup>-1</sup> produktu				
				1,0 :	N	P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K
Pšenice ozimá (12 % bílkovin)	zrno	85	-	17,9	3,3	7,6	3,7	4,5
	sláma	85	-	5,2	0,9	2,1	10,0	12,0
	celkem	-	0,8	22,1	4,0	9,2	11,7	14,1
Pšenice ozimá (14 % bílkovin)	zrno	85	-	20,9	3,3	7,6	3,7	4,5
	sláma	85	-	4,3	0,9	2,1	10,0	12,0
	celkem	-	0,8	24,3	4,0	9,2	11,7	14,1
Ječmen jarní	zrno	85	-	16,5	3,5	8,0	4,5	5,4
	sláma	85	-	6,0	1,0	2,3	11,0	13,2
	celkem	-	0,6	20,1	4,1	9,4	11,1	13,4

Tab. 1 - pokračování

Plodina	Produkt	Sušina (%)	poměr HP:VP <sup>1)</sup> 1,0 :	Odběr živin v kg.t <sup>-1</sup> produktu				
				N	P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	K <sub>2</sub> O
Kukuřice na zrno	zrno	85	-	16,0	3,5	8,0	4,5	5,4
	sláma	85	-	9,0	1,1	2,5	16,0	19,3
	celkem	-	1,1	25,9	4,7	10,8	22,1	26,6
Hrách setý	zrno	85	-	35,5	3,6	8,3	8,3	10,0
	sláma	85	-	15,0	1,5	3,4	15,0	18,1
	celkem	-	1,0	50,5	5,1	11,7	23,3	28,1
Řepka ozimá	semeno	90	-	33,5	7,0	16,0	8,3	10,0
	sláma	85	-	6,6	1,3	3,0	19,0	22,9
	celkem	-	2,2	48,0	9,9	22,6	50,1	60,3
Slunečnice	semeno	92	-	28,0	7,0	16,0	19,9	24,0
	sláma	90	-	15,0	2,2	5,0	41,5	50,0
	celkem	-	2,5	65,5	12,5	28,5	123,7	149,0
Mák	semeno	90	-	32,5	7,5	17,2	8,0	9,6
	sláma	90	-	9,0	1,0	2,3	20,0	24,1
	celkem	-	2,8	57,7	10,3	23,6	64,0	77,1
Brambory	hlízy	22	-	3,5	0,5	1,1	4,5	5,4
	nať	15	-	2,8	0,2	0,5	4,0	4,8
	celkem	-	0,2	4,1	0,5	1,2	5,3	6,4
Cukrovka	bulvy	23	-	2,0	0,3	0,7	2,0	2,4
	chrást	15	-	4,0	0,4	0,9	4,5	5,4
	celkem	-	0,5	4,0	0,5	1,1	4,3	5,1
Kukuřice na siláž	zelená hmota	30	-	3,7	0,6	1,4	3,8	4,6

<sup>1)</sup> poměr HP/VP – poměr hlavního a vedlejšího produktu



Obr. 4 Příklad výpočtu odběru N u pšenice ozimé s průměrným výnosem 5 t.ha<sup>-1</sup> na 52ha pozemku se zohledněním historických výnosových dat

### 3. Diagnostické metody

K správnému rozhodování o výživářských zásadách pro dané místo na pozemku je třeba mít k dispozici dostatek dat popisujících stav půdního prostředí a výživný stav porostu, popř. tyto údaje v kombinaci s leteckými a satelitními snímky a např. s výnosovými mapami.

K monitoringu stavu půdního prostředí a výživného stavu rostlin slouží tzv. diagnostické metody výživy rostlin.

**Diagnostika podmínek výživy rostlin** se zabývá především zjišťováním obsahu živin a jejich forem v půdě, které rostlina může přijmout a využít a také vnějšími faktory, jež příjem a využití živin ovlivňují. Pro korekci dusíkatého hnojení jsou v praxi uplatňovány metody stanovení obsahu minerálního dusíku v půdě ( $N_{\min}$ ).

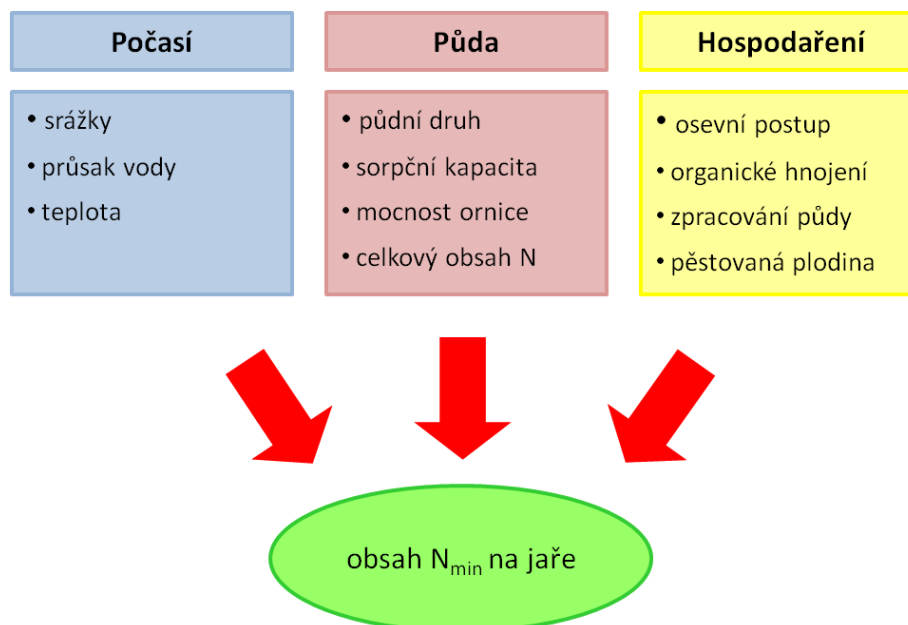
**Diagnostika výživného stavu rostlin** se zabývá zjišťováním obsahu živin v rostlinách během vegetace, jejich vzájemným poměrem, stupněm utilizace přijatých živin, popř. jejich rozmístěním v orgánech důležitých pro asimilaci, jakož i vnitřními faktory, které příjem a využití ovlivňují.

Využití výsledků anorganických rozborů rostlin umožňuje, zvláště u obilnin, optimalizaci hnojení dusíkem a větší využití prostředků u těch porostů, které mají předpoklady vysokých výnosů a naopak úsporu na stanovištích s nízkým výnosovým potenciálem. Tato diferenciací zásahů je samozřejmě možná také v rámci jednoho pozemku.

#### 3.1. Diagnostika obsahu minerálního dusíku v půdě

Na rozdíl od předešlých ukazatelů vykazuje obsah minerálního dusíku v půdě ( $N_{\min}$ ) nejen prostorovou, ale zejména výraznou časovou variabilitu. Silné kolísání (sezónnost) množství minerálního dusíku v půdě je důvodem, proč jej nemá smysl zjišťovat v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) a výsledky analýz ukazují pouze aktuální stav v půdě. Obsah  $N_{\min}$  představuje součet obsahu amonného a minerálního dusíku, tzn. dvou převažujících, pro rostliny přístupných, forem. Svoje opodstatnění má stanovení  $N_{\min}$  především v předjaří, a to pro upřesnění dávky regeneračního hnojení ozimých plodin, zvláště řepky a pšenice.

Množství minerálního dusíku v půdě závisí na intenzitě mineralizace půdní organické hmoty, jejímž produktem je amonný dusík. Tato forma dusíku podléhá dále v půdě nitrifikaci, tj. transformaci na dusík nitrátový. Obě přeměny jsou zprostředkovány mikrobními společenstvy a jejich aktivita závisí na celkovém průběhu povětrnostních podmínek. Faktory ovlivňující množství  $N_{\min}$  v půdě na jaře jsou shrnuty na Obr. 5.



Obr. 5 Významné faktory ovlivňující obsah  $N_{min}$  v půdě na jaře

V neposlední řadě rozhoduje o množství  $N_{min}$  v půdě také odlišné chování jednotlivých forem dusíku. Amonné ionty mohou být sorbovány půdními koloidy, zatímco nitráty jsou součástí půdního roztoku a snadno podléhají vyplavení.

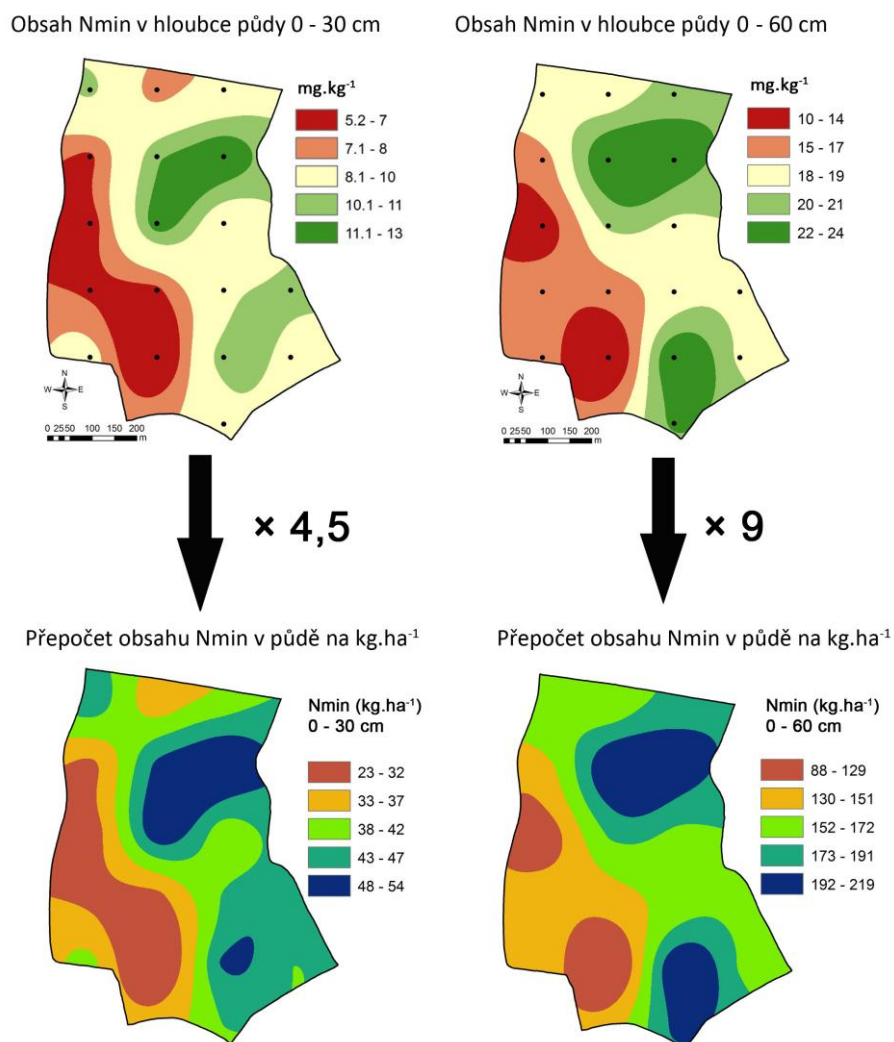
Tab. 2 Korekce dávek dusíku na základě obsahu  $N_{min}$  v půdě (Neuberg et al., 1995)

Obsah $N_{min}$ v půdní vrstvě 0 - 0,3 m (mg.kg <sup>-1</sup> )	Dávka dusíku se snižuje o kg N.ha <sup>-1</sup>			
	Podzimní hnojení (ozimy) První jarní přihnojení (ozimy)	Jarní předseťové hnojení (jařiny) Druhé přihnojení (ozimy)		
		Obsah $N_{min}$ v půdní vrstvě 0,3 - 0,6 m (mg.kg <sup>-1</sup> )		
		< 10	10 - 20	> 20
< 6	0	0	0	0
6 - 10	0	0	- 10	- 30
11 - 15	- 10	- 15	- 30	- 50
16 - 20	- 20	- 20	- 45	- 70
21 - 25	- 40	- 30	- 60	- 90
26 - 30	- 50	- 40	nehnojit	nehnojit
31 - 35	- 60	- 45	nehnojit	nehnojit
> 35	nehnojit	nehnojit	nehnojit	nehnojit

Vzhledem k uvedené proměnlivosti je nutné dbát na uchování odebraných vzorků půdy v chladu, nejlépe ihned po odběru v cestovní chladničce a pokud není možná bezprostřední analýza půdy v čerstvém stavu, tak by měly být vzorky zamrazeny při teplotě -15 °C.

Obsah  $N_{min}$  je spolu s výsledky agrobiologické kontroly (počet rostlin na m<sup>2</sup>, počet odnoží u obilnin, zdravotní stav porostu) hlavním faktorem při volbě dávky dusíku pro regenerační hnojení.

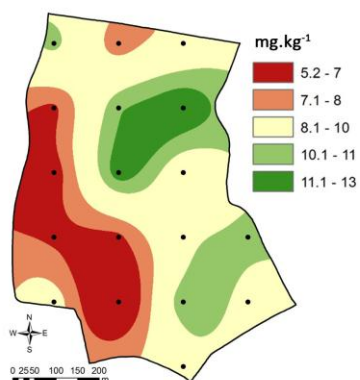
Dávku určujeme buď přímo podle z laboratoře získaného údaje v  $\text{mg.kg}^{-1}$  (příklad pro pšenici uvádí Tab. 2) nebo po vynásobení tohoto údaje koeficientem 4,5 (pro  $N_{\min}$  z profilu 0-30 cm) či 9 (pro  $N_{\min}$  z profilu 0-60 cm), kdy dostaneme obsah  $N_{\min}$  v  $\text{kg.ha}^{-1}$  (Klem et al., 2011). Při včasném jarním odebrání půdních vzorků v určité síti odběrových míst a bezprostředním stanovení obsahu  $N_{\min}$  můžeme vytvořit mapu obsahu minerálního dusíku jako podklad pro variabilní aplikaci regeneračního přihnojení ozimů (Obr. 6).



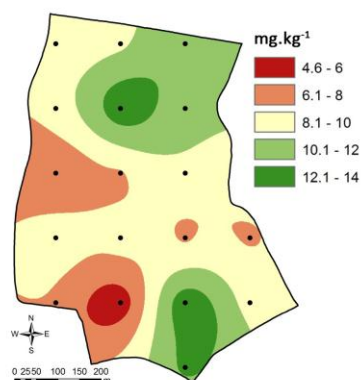
Obr. 6 Postup tvorby mapy obsahu  $N_{\min}$  ve vrstvě půdy 0-30 cm a 0-60 cm vynásobením příslušným koeficientem

Postup korekce dusíkatého hnojení obilnin dle Neuberga et al. (1995) v mapovém zobrazení je znázorněn na Obr. 7. Stanovení korekce je provedeno buď z obsahu  $N_{\min}$  v jedné hloubce (0-30 cm pro úpravu hnojení ozimých obilnin) nebo obou sledovaných hloubek (0-30 cm a 30-60 cm pro úpravu hnojení jarních obilnin). V prostředí GIS lze tento postup provést postupnou reklasifikací dat obsahu  $N_{\min}$ .

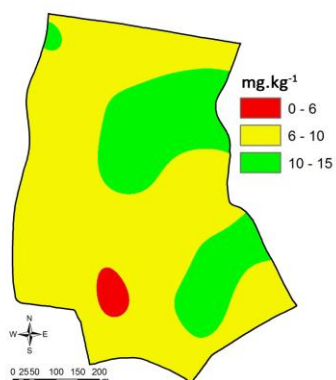
Obsah N<sub>min</sub> v hloubce půdy 0 - 30 cm



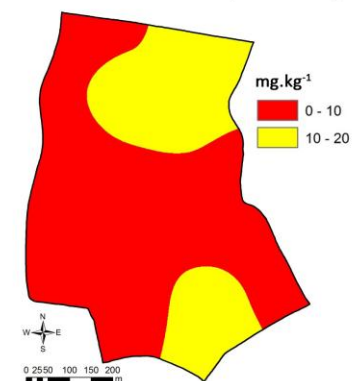
Obsah N<sub>min</sub> v hloubce půdy 30 - 60 cm



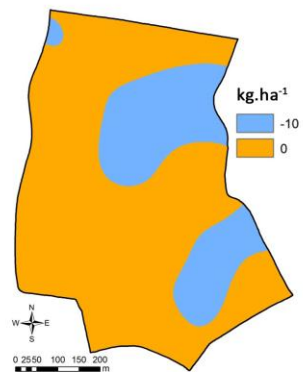
Klasifikace obsahu N<sub>min</sub> (0 - 30 cm)



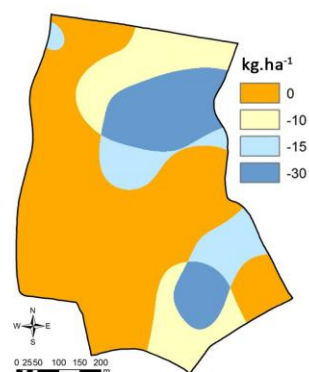
Klasifikace obsahu N<sub>min</sub> (30 - 60 cm)



Korekce N hnojení dle N<sub>min</sub> z hloubky 0 - 30 cm



Korekce N hnojení dle N<sub>min</sub> z hloubky 0 - 30 cm a 30 - 60 cm



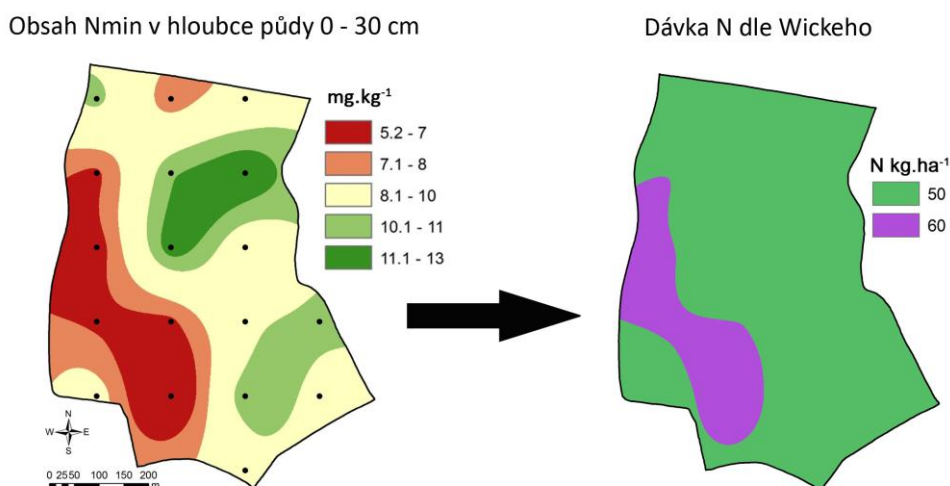
Obr. 7 Korekce N hnojení dle Neubergera et al. (1995) z obsahu N<sub>min</sub> ve dvou vrstvách půdy (0-30 cm, 30-60 cm)



Pro korekci dusíkatého hnojení sladovnického ječmene lze využít kritéria hodnocení obsahu  $N_{\min}$  v půdě dle Wickeho (Klem et al., 2011) – viz Tab. 3. Prostorové zohlednění kritérií dle Wickeho pak v prostředí GIS představuje jednoduchou reklasifikaci dat (Obr. 8).

Tab. 3 Kritéria hodnocení  $N_{\min}$  v půdě pro hnojení sladovnického ječmene (Klem et al., 2011)

Výrobní oblast	Obsah $N_{\min}$ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Dávka N ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
Obilnářská Bramborářská	do 7	70
	7 – 12	60
	12 – 22	40
	nad 22	20
Řepařská	do 7	60
	7 – 13	50
	13 – 23	30
	23 – 30	0
	nad 30	podmínky méně vhodné pro slad. ječmen



Obr. 8 Postup stanovení dávky N hnojení dle Wickeho pro sladovnický ječmen v řepařské výrobní oblasti

V některých případech volby dávky je vhodné zjištěný obsah  $N_{\min}$  doplnit o hodnocení poměru amonné a nitrátové formy, popř. o stanovení obsahu mineralizovatelného dusíku, tj. dusíku v lehce hydrolyzovatelných formách, které se mohou transformovat do přístupné formy během vegetace rostlin. S postupující vegetací jsou ke korekci dávky dusíku využívány analýzy rostlin.

### 3.2. Destruktivní metody diagnostiky výživného stavu rostlin

Mezi destruktivními metodami diagnostiky výživného stavu rostlin hrají významnou roli anorganické rozborů rostlin (ARR). Prostřednictvím chemických analýz nadzemních částí rostlin v různých fázích vegetace je možné přesně zjistit aktuální koncentrace jednotlivých živin a jejich vzájemné poměry. Vyhodnocením výsledků těchto rozborů je možné vypracovat návrhy pro následné výživářské zásahy řešící případné disproporce výživného stavu a zajistit tak dosažení požadovaného výnosu a kvality

produkce. S ohledem na současnou cenu živin v minerálních hnojivech zůstávají metody chemických rozborů rostlin stále významné.

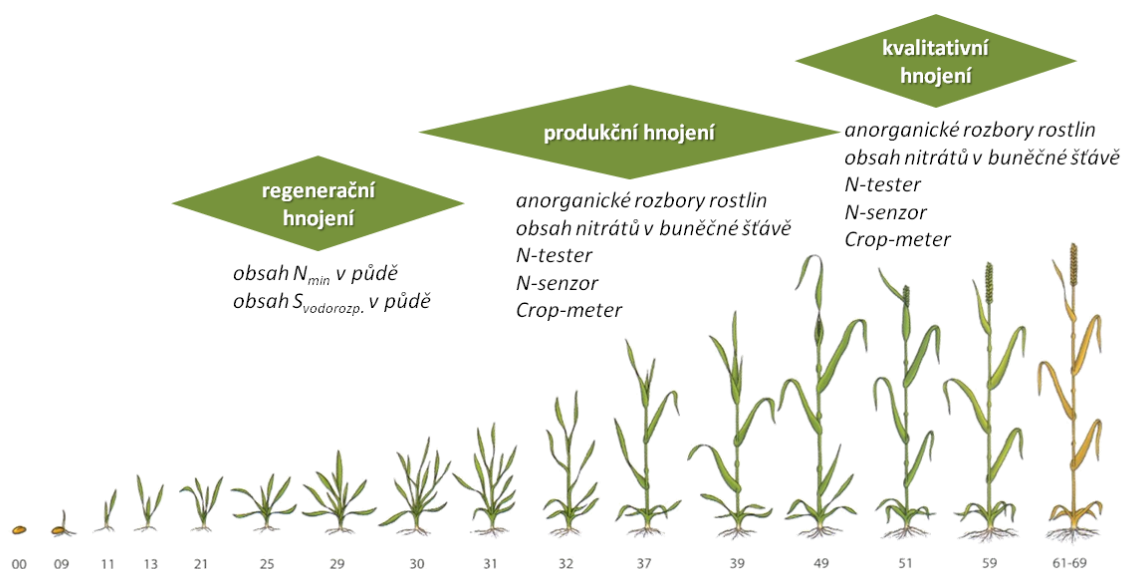
Obsah živin v rostlinách se v jednotlivých fázích vegetace mění (viz Obr. 9). Počátek vegetace je charakterizován mohutným příjmem živin, a proto jejich koncentrace v rostlinách narůstá. Postupně však začne převažovat nárůst biomasy a koncentrace živin v rostlinách klesá, což nazýváme tzv. zředovacím efektem.



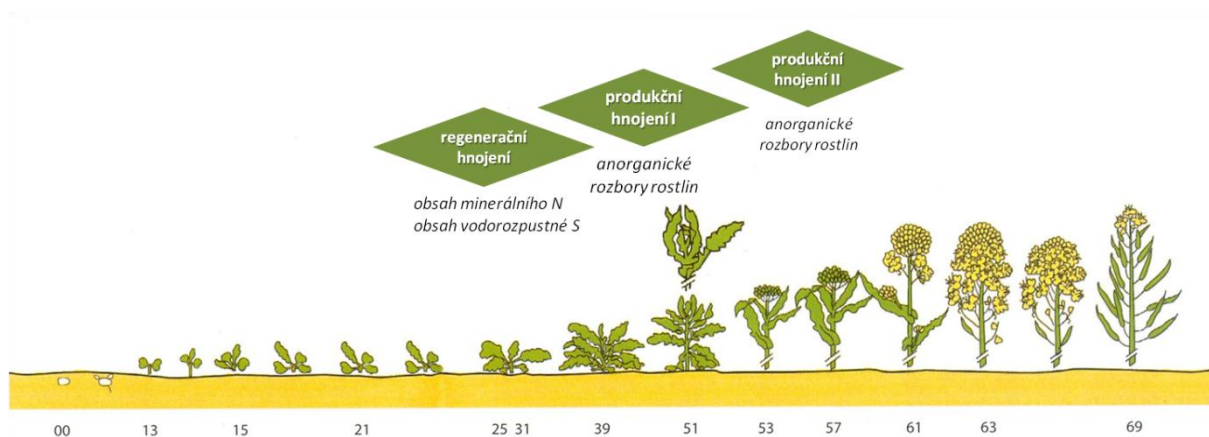
Obr. 9 Dynamika obsahu živin (N, P, K) u obilnin

Odběr rostlinné hmoty k analýzám na obsah živin je tudíž nutno směřovat do kritických fází vegetace, které rozhodují o tvorbě základních výnosotvorných prvků. Vlastní průměrný vzorek rostlinné biomasy sestává obvykle z pěti dílčích vzorků a odebírá se z cca 30 ha u vyrovnaného porostu a asi z 10 ha u nevyrovnaného. Množství odebraných rostlin by mělo být takové, aby po usušení bylo k dispozici 50-100 g suchého materiálu.

V zemědělské praxi se anorganické rozборы rostlin využívají zejména k dopřesnění dávek hnojiv, především pak dusíkatých. Konkrétní využití diagnostiky výživného stavu porostu v jednotlivých vegetačních fázích pšenice a řepky jsou uvedeny na Obr. 10 a Obr. 11.



Obr. 10 Vývojové fáze ozimé pšenice a termíny pro přihnojení dusíkem



Obr. 11 Vývojové fáze řepky a termíny pro přihnojení

Optimální hodnoty koncentrace živin uvádí pro pšenici ozimou Tab. 4 a Tab. 5 a pro ozimou řepku v jednotlivých fázích vegetace Tab. 6.

Tab. 4 Optimální obsahy živin v rostlinách pšenice ve fázi odnožování (Richter a Hřivna, 2000)

Živina	N	P	K	Ca	Mg	S
Obsah v sušině (%)	4,8-5,5	0,45	3,3-3,5	0,4-0,5	0,15	0,25-0,30

Tab. 5 Průměrné obsahy živin v rostlinách pšenice z dlouhodobých výživářských pokusů v letech 1957-1999 (Baier et al., 2002)

Vegetační fáze	Obsah živin v sušině (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
DC 29	4,51	0,45	3,61	0,64	0,175
DC 31	3,71	0,41	3,69	0,57	0,165
DC 61	1,59	0,25	1,80	0,33	0,128

V současnosti je již běžnou součástí anorganického rozboru rostlin také stanovení obsahu síry v nadzemní hmotě rostlin, protože právě síra může být často limitující živinou pro úspěšné pěstování tržních plodin. S ohledem na obsah glukosinulátů vyžadují nejvíce síry brukvovité plodiny (např. řepka – optimální obsah živin je uveden v Tab. 6).

Tab. 6 Optimální obsahy živin v rostlinách řepky pro výnos 3 tuny semen z hektaru (Richter et al., 2001)

Období hodnocení	Produkce sušiny (t.ha <sup>-1</sup> )	Obsah živin v sušině (%)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
podzim	1,0	4,2	0,39	3,80	2,00	0,20	0,45
jarní regenerace	2,5	4,8	0,48	2,90	1,60	0,18	0,50
butonizace	5,5	4,9	0,50	3,60	1,90	0,18	0,60
kvetení	10,0	4,2	0,46	3,00	1,60	0,15	0,50
tvorba šešulí	18,0	2,0	0,34	2,10	1,50	0,11	0,45
semena - sklizeň	3,0	3,3	0,60	0,82	0,50	0,25	0,26

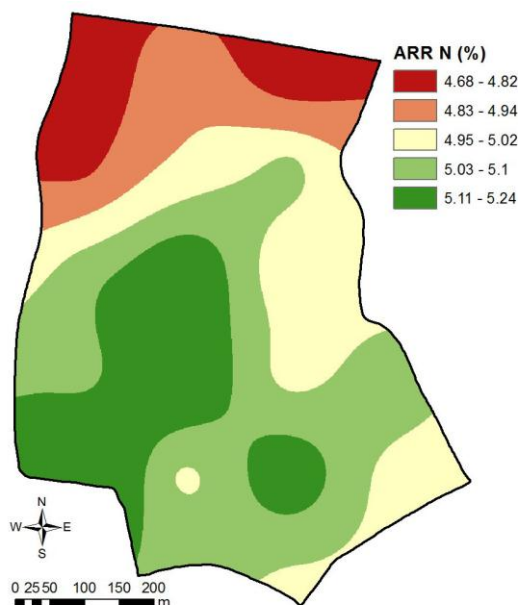
Základním principem použitelnosti výsledků analýz rostlin je předpoklad, že růst a vývoj rostlin je závislý na vnitřní koncentraci obsahu živiny v rostlině v jednotlivých růstových fázích, a že koncentrace živiny v rostlině je výsledkem vztahů mezi růstovými procesy, příjmem a využitím živiny v asimilačních pochodech.

Pro využití anorganických rozborů rostlin v praxi byla vypracována celá řada postupů, jak u nás, tak v zahraničí. Za zakladatele československé školy anorganických rozborů rostlin je považován Kolářík (1959), který analyzoval nadzemní části celých rostlin obilnin ve fázi kvetení. Na jeho poznatky v oblasti chemických rozborů rostlin navázal Bezděk (1964), který ve vztahu k výnosu zrna sledoval obsahy N, P, K živin v nadzemních částech rostlin vybraných odrůd ozimé pšenice během vegetace. Dále svými pracemi a návrhy postupů pro využívání anorganických rozborů rostlin pro diagnostické účely při dohnojování plodin pokračuje Škopík (1974) a Baier et al. (1988), jehož diagnostické postupy se mnohdy používají dodnes.

Na Slovensku rozpracovali metodu diagnostiky stavu dusíkaté výživy ozimé pšenice Michalík a Ložek (1989). Princip metody je založený na obsahu dusíku v sušině nadzemních částí rostlin a hmotnosti 100 rostlin. Zjištěné hodnoty se vyhodnocují podle vypočítaných kritérií z exponenciální funkce poklesu obsahu dusíku a nárůstu hmotnosti fytohmoty během vegetace.

K přehledu o využití různých indikátorů k diagnostice deficitu dusíkaté výživy patří i práce porovnávací obsah celkového dusíku v celé nadzemní hmotě rostlin s obsahem celkového dusíku v jednotlivých částech rostliny (např. v listech), jejich vztah k růstu rostlin, složení biomasy nebo ke konečnému výnosu zrna (Boese, 1994; Barraclough, 1997).

Stanovení optimální dávky pro přihnojování ozimé pšenice dusíkem lze provádět i na základě koncentrace nitrátů v bazální části internodia stébla. Tento způsob využívá francouzská JUBIL metoda, kterou vyvinuli Justes et al. (1994).

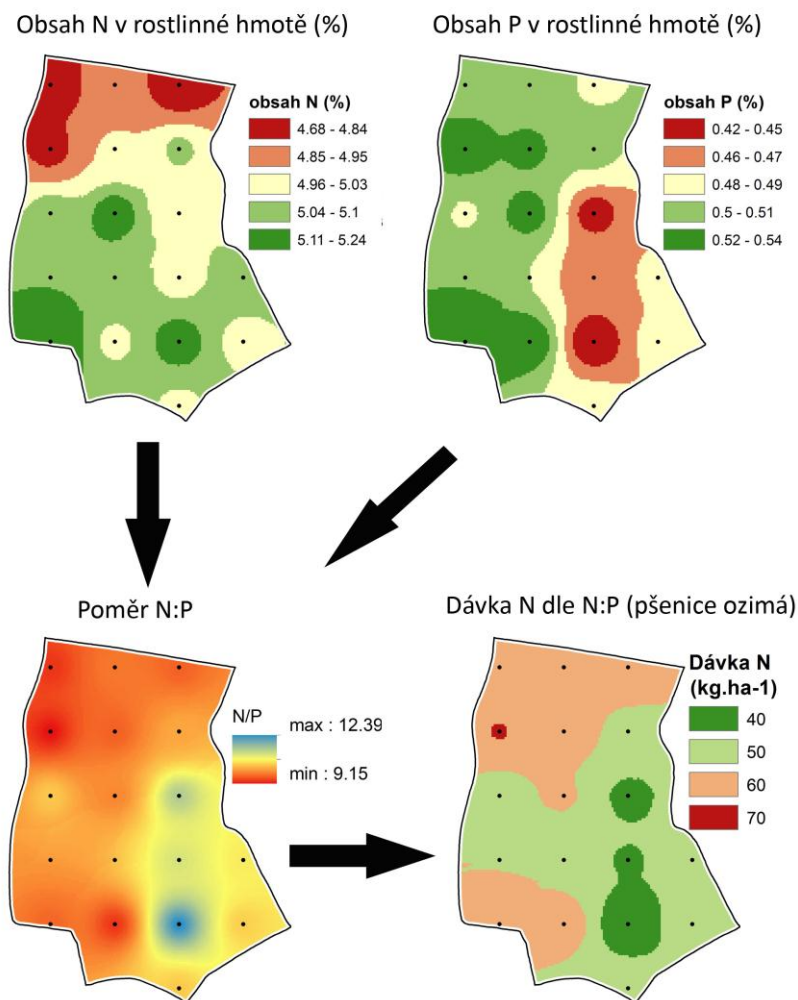


Obr. 12 Mapa výživného stavu ječmene jarního dusíkem v DC 30

V případě dostatečné hustoty odběrových míst v porostu mohou výsledky rozborů rostlin sloužit pro diferencovanou aplikaci hnojiv na pozemku. Mapa výživného stavu ječmene jarního dusíkem na počátku sloupkování (DC 30) je uvedena na Obr. 12. Díky přesnosti stanovení obsahů živin nachází analýzy rostlin využití např. pro kalibraci leteckých nebo satelitních snímků.

Tab. 7 Optimalizace dusíkatého hnojení pšenice ozimé dle poměru N/P z výsledků ARR (Baier et al., 1988, in Křen et al., 1998)

Poměr živin N/P	Základní optimální dávka N ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
nad 14,5	-
12,6 – 14,4	30
11,1 – 12,5	40
10,1 – 11,0	50
9,3 – 10,0	60
8,6 – 9,2	70
do 8,5	80



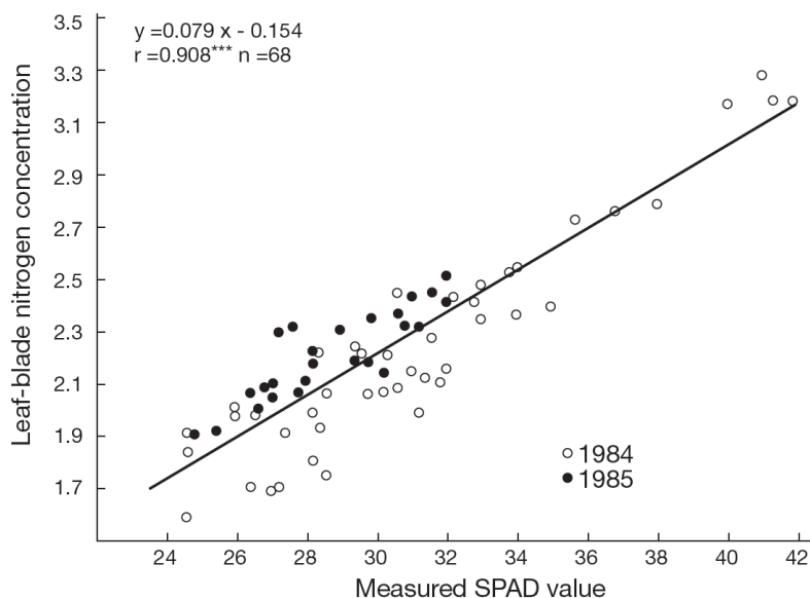
Obr. 13 Stanovení dávky N dle poměru N:P v rostlinné hmotě pro pšenici ozimou

Tab. 8 Optimalizace dusíkatého hnojení ječmene jarního dle poměru N/P z výsledků ARR (Baier et al., 1988, in Benada et al., 2001)

Poměr živin N/P	Základní optimální dávka N (kg.ha <sup>-1</sup> )
nad 13,3	-
12,1 – 13,3	10
10,6 – 12,0	20
9,4 – 10,5	30
8,6 – 9,3	40
8,0 – 8,5	50
do 8,0	60

### 3.3. Kontaktní metody diagnostiky výživného stavu rostlin

Anorganický rozbor rostlin je přesnou metodou diagnostiky výživného stavu, ale značně nákladnou a časově náročnou. Alternativou mohou být nedestruktivní nepřímé metody založené na sledování spektrálních parametrů korespondujících např. s obsahem chlorofylu či celkového dusíku v listech kontaktním měřením částí rostlin (Obr. 14). Spektrální měření využívá snímání množství záření procházejícího listem (transmitanci) nebo odrazivosti (reflektance) měřené senzory.



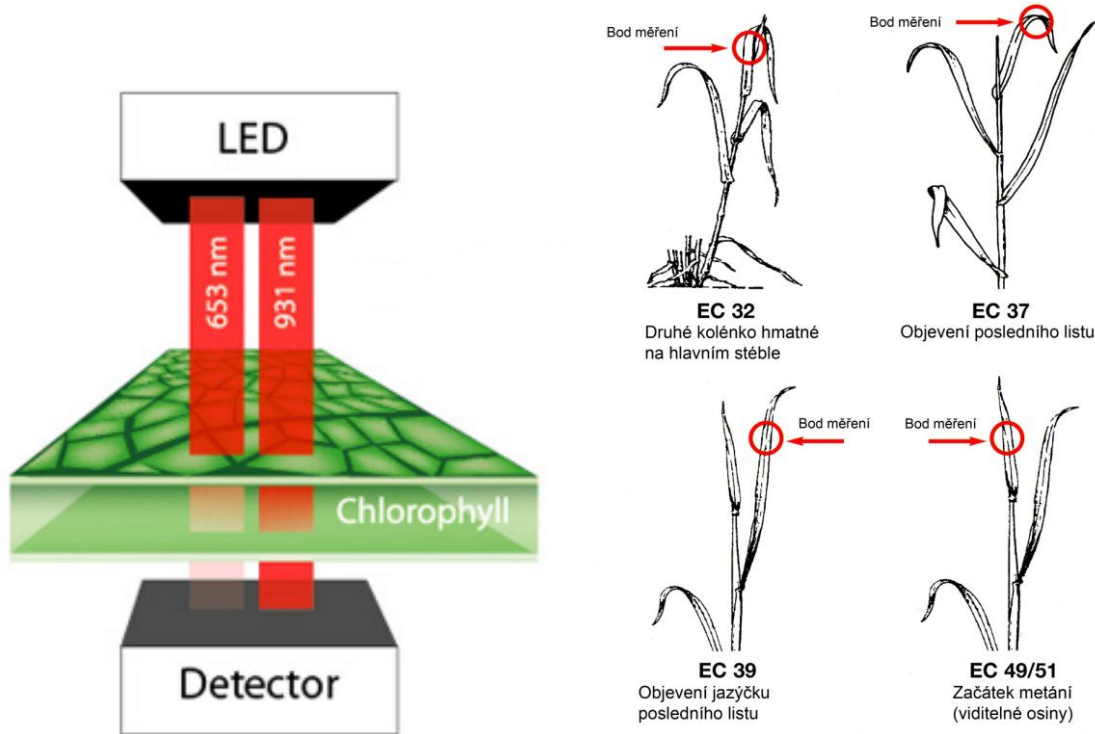
Obr. 14 Korelace mezi obsahem dusíku v listech a hodnotou chlorofylmetru Minolta SPAD-502

Z metod založených na zjišťování spektrálních vlastností rostlin je asi nejznámější postup využívající přenosný „ruční“ chlorofylmetr s obchodním názvem „Chlorofyll Meter Minolta SPAD-502“, popř. „Yara N-tester™“. Přístroj N-tester vychází z předešlého a firma Yara jej přizpůsobila specifickým potřebám zemědělství a vyvinula konkrétní výživářská doporučení na základě obsahu chlorofylu v rostlinách (Neukirchen a Lammel, 2002).



Obr. 15 Chlorofylmetr SPAD 502 (Minolta Corp., Tokyo, Japan, foto: B. B. Rosyara) a Yara N-tester (foto: P. Ryant)

Principem měření obou přístrojů je rozdílná transmitance (propustnost) paprsků záření dvou vlnových délek (červeného světla s 650 nm a infračerveného záření s 940 nm) měřeným listem. Chlorofyl absorbuje červené světlo, ale ne infračervené paprsky. Na základě těchto dvou odlišných transmitancí přístroj ukáže hodnotu (bezrozměrné číslo), která je v úzké korelaci se skutečným obsahem chlorofylu a s celkovým obsahem dusíku.



Obr. 16 Princip měření chlorofylmetru ([www.apogee-inst.com](http://www.apogee-inst.com)) a vyznačení částí rostlin obilnin pro měření v jednotlivých vývojových fázích ([www.yara.com](http://www.yara.com))

Pro vyhodnocení měření N-Testeru (stanovení dávky dusíkatého hnojení) se používají každoročně aktualizované tabulky. Podle nich je možné určit konkrétní dávku dusíku pro jednotlivé odrůdy ozimé pšenice, ječmene jarního, ječmene ozimého a pro dvě vegetační fáze – produkční a kvalitativní hnojení. Postup je znázorněn na Obr. 17.

### Optimalizace N hnojení pomocí přístroje N-Tester

Stanovení dávky N je provedeno z korekci pro odrůdy plodiny z každoročně aktualizovaných tabulek (pšenice ozimá, ječmen jarní, ječmen ozimý)

**Příklad:**  
Pšenice ozimá, odrůda Batis, produkční hnojení - odnožování (EC31)

- Hodnota odečtena na N-Testeru 635
- Odečtení korekce z tabulek dle odrůdy a růstové fáze  
Batis, EC31 = +10

Odrůda	Korekční faktor		Korekční faktor	Odrůda	Korekční faktor	
	EC	EC			EC	EC
Batis	-10	+30				

- Korigovaná hodnota  
 $635 + 10 = 645$
- Odečtení doporučené N dávky  
40 kg N

Schossen (EC 30/32)	Ährenschieben (EC 37/51)
Messwert kg N/ha	Messwert kg N/ha
> 700 0	> 700 0
700 - 670 20	700 - 651 20
669 - 655 30	650 - 630 30
654 - 640 40	625 - 615 40
639 - 625 50	600 - 580 50
610 - 600 60	575 - 560 60
599 - 575 70	550 - 530 70
576 - 550 80	500 - 475 80
549 - 525 90	475 - 450 90
< 525 100	< 425 90

Obr. 17 Postup stanovení dávky N dle měření N-testerem (zdroj: Norsk Hydro, upraveno)

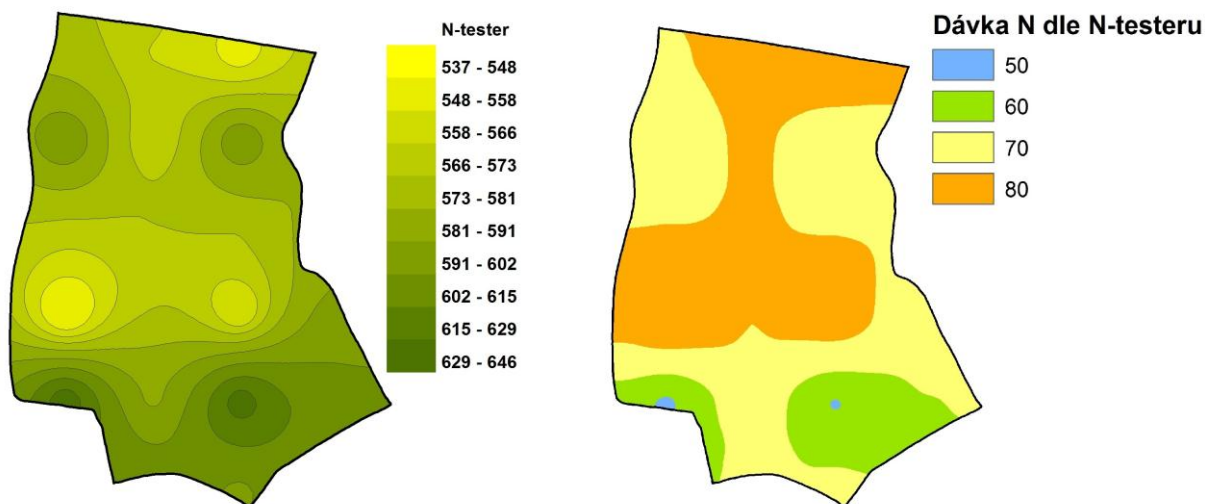


V roce 2010 uvedla společnost Yara na trh novou generaci N-testeru. Vedle detailnějšího displeje a možnosti ukládání dat je další předností přístroje implementace algoritmů pro vyhodnocení měření a doporučení dávky N platné pro danou odrůdu a daný rok. Odpadá tak nutnost po každém měření nahlížet do tabulek. Kromě toho přístroj umožňuje přepočítání dle dávky N v hnojivech. Aktualizace vyhodnocovacích tabulek, seznamu hnojiv a stahování uložených dat probíhá připojením k počítači pomocí obslužného software a internetu.



Obr. 18 Nová generace přístroje Yara N-tester ([www.n-tester.de](http://www.n-tester.de))

Pokud proměříme porost v dostatečně husté síti, je možné pomocí interpolačních metod vytvořit mapu výživného stavu porostu podle naměřených hodnot N-testeru (Obr. 19). Tato mapa může sloužit jako podklad pro vyhotovení aplikační mapy pro diferencované přihnojení porostu dusíkem během vegetace.



Obr. 19 Mapa výživného stavu porostu pšenice ozimé na 38 ha pozemku pomocí zjištěného pomocí N-testeru a doporučená dávka N ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pro přihnojení

Do další kategorie přístrojů, využívající reflektance záření od listů, patří např. kapesní zařízení od společnosti PSI PlantPen a N-Pen. Při měření je část měřeného listu uzavřena v „klapce“, kde je osvětlována zářením z LED diod se specifickým rozsahem vlnových délek a současně probíhá měření odrazu záření senzorem. Podobně jako u N-testeru je před zahájením práce s přístrojem provedena kalibrace měřením „na prázdko“ bez rostlinného materiálu.

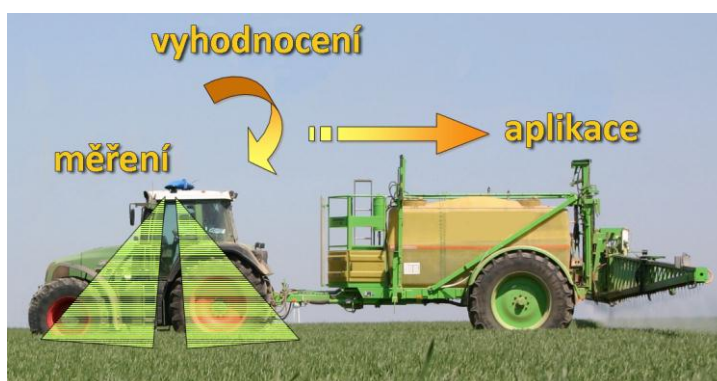


Obr. 20 Kapesního přístroje PSI PlantPen pro kontaktní měření NDVI (foto V. Lukas)

### 3.4. Bezkontaktní metody diagnostiky stavu porostů

Dle způsobu vyhodnocení údajů zachycujících stav porostu a provádění aplikace hnojiva lze metody bezkontaktní diagnostiky porostů dělit na online a offline.

**Online systémy**, také nazývané *on-the-go*, představují postup, kdy měření spektrálních (či jiných) parametrů části porostu, zpracování dat, jejich interpretace a vlastní aplikace jsou prováděny v rámci jedné pracovní operace při přejezdu pozemku. Zdrojem informací jsou aktuální data ze senzorů. Typickým příkladem je zařízení Yara N-Sensor®, které je upevněno na kabině traktoru nesoucí rozmetadlo hnojiv. Toto zařízení zjišťuje stav porostu dle jeho spektrální odrazivosti, řídicí počítač vyhodnocuje data a stanovuje dávku hnojiva, které je následně aplikováno. Zjištění stavu porostu na určitém místě a reakce na něj jsou prováděny kontinuálně v jednom okamžiku.



Obr. 21 Jednotlivé kroky u online systému aplikace hnojiv/pesticidů ([www.agricon.de](http://www.agricon.de))

V případě **offline systémů** nejsou jednotlivé procesy prováděny v rámci jedné operace, jsou časově odděleny. Tyto systémy jsou založeny na celoplošném mapování porostů v rámci jednotlivých

pozemků. Příkladem může být využití leteckého snímkování pro variabilní aplikaci hnojiv. Na snímcích je přeletem letounu zachycena prostorová variabilita porostu. Tato data jsou po přistání na počítači zpracována a vyhodnocena. Dávka živin je pak v podobě aplikačních map nahrána do palubního počítače traktoru s rozmetadlem, které aplikuje hnojiva. Časové prodlevy mezi jednotlivými operacemi je možné zkrátit automatizací sběru a zpracování dat a moderními technologiemi jejich přenosu.

Oba tyto přístupy mají své výhody i nevýhody. Výhodou online systému je okamžitá odezva na právě měřený porost a provádění zásahů přímo pěstiteli vlastním přístrojem bez nutnosti využívat specializovaných služeb. Nevýhodou je potřeba pořízení několika těchto senzorových zařízení při současné aplikaci více aplikátory. Zcela opačně to platí v případě offline systémů, kde nevýhodou je časový odstup mezi měřením a aplikací a vliv povětrnostních podmínek (zejména výskyt oblačnosti v případě dálkového průzkumu). Naopak výhoda spočívá ve vyhotovení aplikační mapy pro celý pozemek (či více pozemků) v jeden okamžik, což následně umožňuje nasazení více aplikátorů. Z důvodu vysoké technické, ekonomické a odborné náročnosti mapování jsou offline systémy v současnosti výhradní záležitostí firem nabízející služby v precizním zemědělství. Závislost na těchto službách pak může představovat pro farmáře další nevýhodu. V případě celoplošného mapování, jak je např. letecké snímkování, zvýšení sledované plochy vlivem rostoucího zájmu zemědělských podniků rozměňuje náklady na letový provoz a vyhodnocení dat. To se může projevit na snížení cen poskytovaných služeb, které pak v konečném důsledku představují vážnou konkurenci online systémů. Kombinací obou systémů lze pak do určité míry kompenzovat jejich nevýhody.

### Online systémy

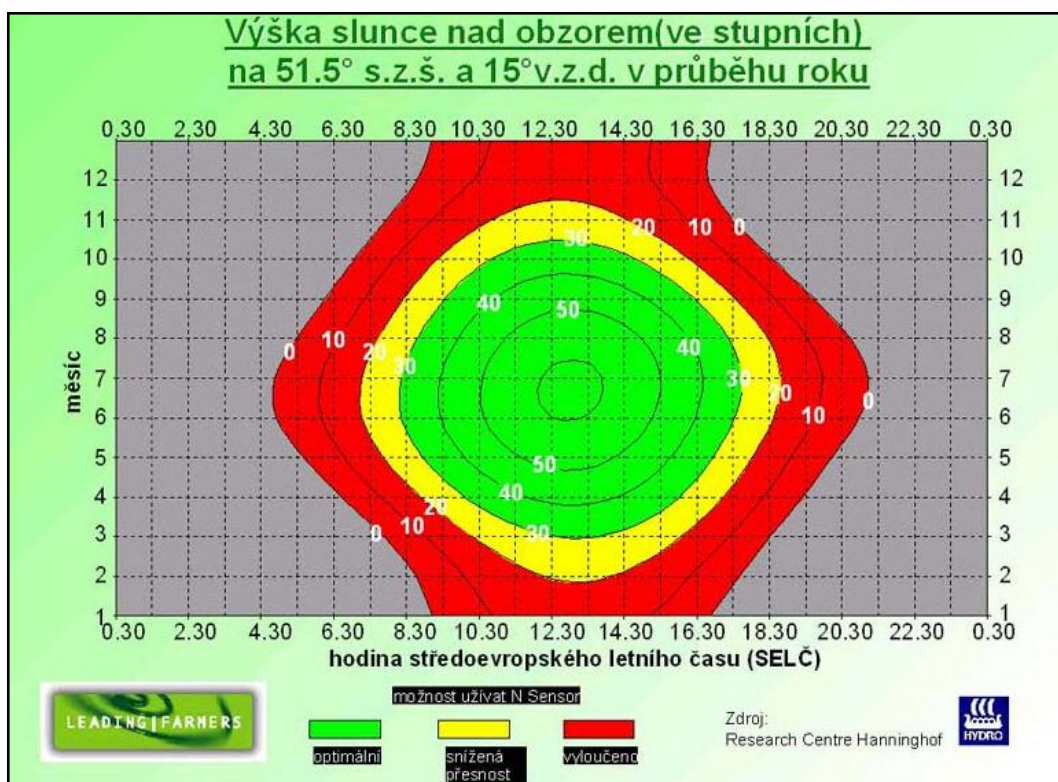
**Yara N-Sensor®** byl vyvinut pro účely precizního zemědělství norskou firmou Hydro Agri (v současnosti Yara) v roce 2000, umožňuje prostorově variabilní aplikaci dusíku v reálném čase. Toto zařízení využívá čtyř optických senzorů umístěných v samonosném pouzdře na střeše kabiny traktoru pro detekci odrazivosti porostu ve viditelném a blíže infračerveném (NIR) spektru současně na čtyřech místech v rozsahu pracovního záběru stroje. Viditelné záření (zejména jeho červená část v rozsahu 600 – 700 nm) umožňuje kvantifikaci obsah chlorofylu, zatímco NIR oblast indikuje množství biomasy. Pro zohlednění světelných podmínek doplňuje tuto soustavu senzorů čidlo pro měření intenzity slunečního záření s orientací svisle vzhůru. Snímané údaje jsou přeneseny do palubního počítače, kde jsou pro danou plodinu a odrůdu uloženy kalibrované hodnoty.

Kalibrace se provádí chlorofylmetrem Yara N-Tester na malé referenční části pozemku, kde se zjistí aktuální výživný stav rostlin. Na vybrané ploše pozemku provede pracovník kalibrační měření N-Sensorem pojezdem v porostu, přičemž doba kalibrace a plocha je zadána v palubním terminálu. Následně se v rámci kalibrační plochy provede měření N-Testerem. Získaná hodnota se tabulkově přepočítá na množství hnojiva v závislosti na odrůdě a vývojové fázi a zadá se do terminálu N-Sensoru. Tím je kalibrace dokončena. Kalibrační proces je třeba provést na každém novém pozemku; pokud se na jednom pozemku aplikuje déle než 2 hodiny, je vhodné kalibraci zopakovat (poznatek z praxe MJM Litovel, a. s.). Na základě snímaných a vyhodnocených údajů je aplikována optimální dávka dusíku na příslušnou část porostu (pozemku). Podmínkou pro použití Yara N-Sensoru je zapojený porost, což u obilnin znamená použití až pro první produkční přihnojení. Přístroj je využitelný pro přihnojování dusíkatými hnojivy u obilnin, kukuřice, brambor a ozimé řepky. Taktéž jej lze využít pro variabilní aplikaci růstových regulátorů.



Obr. 22 Yara N-Sensor instalovaný na kabině traktoru (foto: V. Lukas)

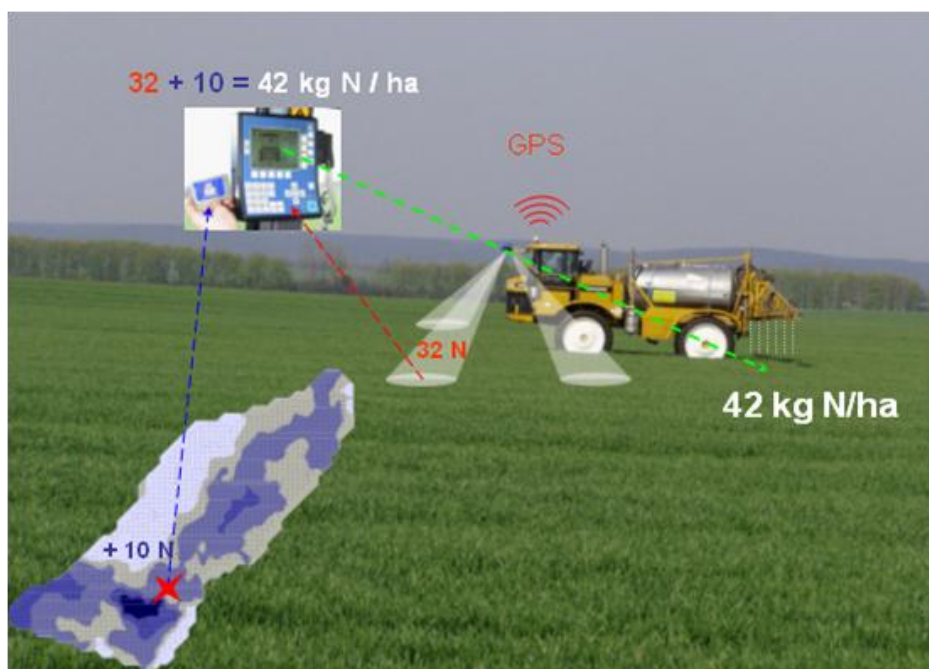
Vzhledem k pasivnímu snímání odrazivosti porostu (tzn. bez umělého osvětlení) je měření silně závislé na světelných podmínkách a postavení slunce. Jak je patrné z Obr. 23, práce s tímto senzorem má různou dobu využití v období vegetace. Červená plocha ukazuje čas, kdy N-Sensor nepracuje správně, žlutá plocha sníženou přesnost měření a zelená plocha optimální postavení slunce pro práci. Z toho je patrné pouze relativně krátká pracovní doba v jarních měsících březnu a dubnu (6–8 hodin).



Obr. 23 Diagram pracovní doby N-senzoru (www.leadingfarmers.cz)

Kvalita aplikačního výstupu se často odvíjí od kvality zjištěných dat, popř. množství informačních hladin, které má hodnotící algoritmus k dispozici. Z tohoto pohledu je výhodné aktuální data

o výživném stavu porostu snímaná N-senzorem doplnit o výnosový potenciál daného místa na pozemku podle výnosů dosažených v předchozích letech (Obr. 24).



Obr. 24 Využití kombinace dat N-senzoru a výnosových monitorů při aplikaci dusíku (foto a schéma: M. Hruža)

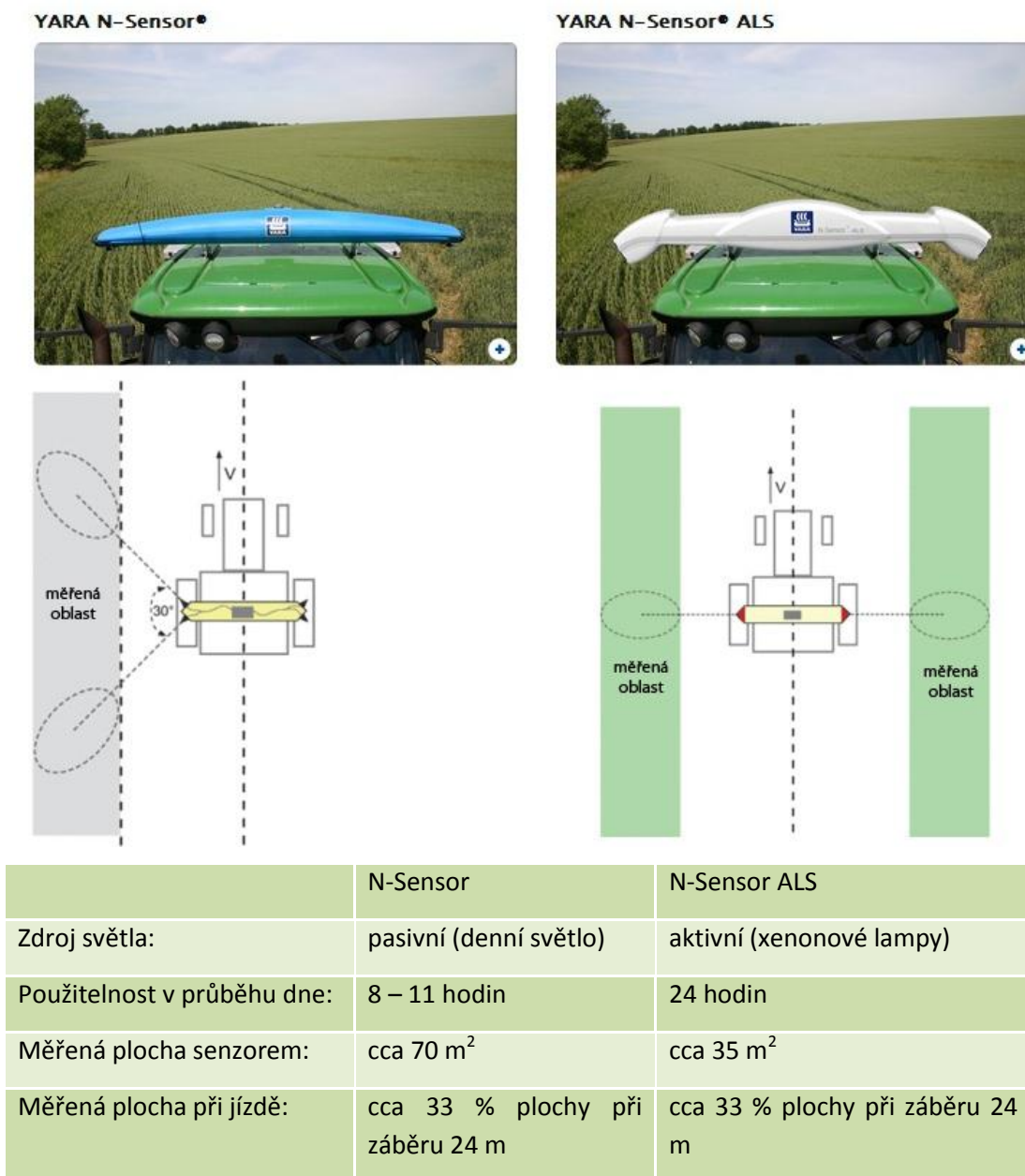
Pro správnou funkci Yara N-Senzoru je důležité jeho umístění na nosiči (traktor, samochodný stroj). Před instalací systému je nutné provést výpočet, kterým se zjistí, zda plocha porostu snímaná Yara N-Senzorem leží uvnitř pracovního záběru aplikačního stroje (rozmetadla, postřikovače), a v případě použití Yara N-Senzoru s postřikovačem, zda nezasahují ramena postřikovače do snímaného prostoru zařízení. Nesprávným umístěním zařízení vzniká nebezpečí ovlivnění naměřených hodnot.



Obr. 25 Detailní pohled na čidla N-Senzoru (vlevo) a N-Senzoru ALS (vpravo) (foto: V. Lukas)

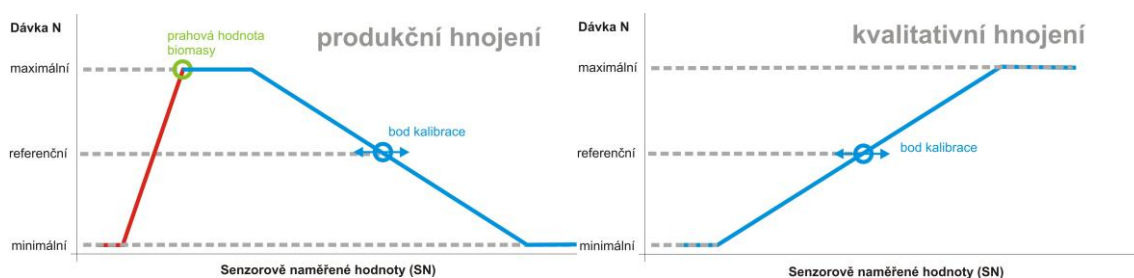
V roce 2005 byla na trh uvedena druhá generace přístroje pod názvem Yara N-Sensor®ALS (Active Light Source). Hlavní inovací je umělý zdroj světla v podobě xenonových lamp, které umožňují měření

za snížených světelných podmínek. Zároveň došlo k redukci počtu senzorů na dva (jeden pro každou stranu). Porovnání obou přístrojů je uvedeno na Obr. 26.



Obr. 26 Porovnání obou generací přístroje Yara N-Sensor ([www.agricon.de](http://www.agricon.de))

Zejména pro obilniny jsou uplatňovány rozdílné přístupy ve výživě rostlin N na základě sensorového měření v různých fázích vývoje porostu. Obecně platí, že v případě produkčního hnojení (DC 30 – 50) je se zvyšujícími se hodnotami sensorového měření dávka N snižována. Jak ukazuje Obr. 27 pro horší porosty (s nižší naměřenými hodnotami) je dávka zvyšována až do jejího maxima, poté s nárůstem naměřených hodnot je porost považován za dostatečně živý a dávka je snižována. U kvalitativního hnojení je ale situace jiná. Pro příjem N v dané fázi je zapotřebí dostatečného výskytu zelených částí rostlin, kterými je N v kapalné formě přijímán. Čím více je porost tmavší a zelenější, tím vyšší dávka N může být aplikována. Postup je tedy přesně opačný – se zvyšujícími se naměřenými hodnotami se aplikační dávka zvyšuje až do dosažení její maximální hodnoty (viz Obr. 27).



Obr. 27 Princip stanovení dávky N pro produkční (vlevo) a kvalitativní (vpravo) hnojení přístrojem Yara N-Sensor ([www.agricon.de](http://www.agricon.de))

**Agrocom CROP-Meter**, dříve nazýván také jako Pendelsensor, byl vyvinutý v Německu (ATB Potsdam-Bornim) a od roku 2004 komerčně nabízen německou firmou Agrocom. Přístroj se připevňuje na přední závěs traktoru a je určen pro měření hustoty porostu s následnou vazbou na aplikaci dusíkatých hnojiv, růstových regulátorů a fungicidů. Zařízení pracuje na mechanickém principu výkyvného kyvadla, které proniká porostem. Hustota porostu je stanovena dle vychýlení kyvadla (úhel  $\alpha$ ) měřeného potenciometrem v závislosti na síle odporu ohýbajících se rostlin. Mezi úhlem vychýlení kyvadla a hustotou porostu obilnin byl zjištěn statisticky významný vztah na úrovni  $R^2=0,89$ . Při měření je zohledňována rychlost pojezdu a výška kyvadla nad zemí.



Obr. 28 Princip měření Crop-meteru a jeho při použití v porostu obilnin ([www.agrocom.de](http://www.agrocom.de))

CROP-Meter lze použít v porostech obilnin a řepky. Pro měření je zapotřebí, aby porost vůči kyvadlu vyvíjel odpor, což omezuje jeho nasazení v raných fázích vývoje porostu. U obilnin je doporučovaná použitelnost od stádia BBCH 31 po stádium zrání. Pro stanovení dávky N hnojiv nebo aplikaci fungicidů či růstových regulátorů je nutné provést jednoduchou dvoubodovou kalibraci (kalibrace na 2 kontrastních místech porostu). Nevýhodou Crop-Meteru je relativně malý záběr zařízení (1 m). Software v palubním počítači umožňuje nahrání dodatečných mapových vrstev (např. půdní mapy) a nebo offline provoz zařízení (měření bez aplikace) pro mapování stavu porostů.

V roce 2009 byla na trh uvedena druhá generace, CROP-Meter II. Na rozdíl od první verze je výška kyvadla vůči traktoru konstantní a nelze ji měnit. Zařízení je upevněno na přídi traktoru, není tedy nutné mít traktor vybavený předním hydraulickým závěsem. Při nasazeném předním závaží se zařízení upevňuje přes adaptér.

**Fritzmeier MiniVeg N** byl představen v roce 2005 a od té doby několikrát inovován. Přístroj pracuje na principu laserově indukované fluorescence chlorofylu. Laserový paprsek „vybudí“ činnost

chlorofylu v listech, která způsobuje umělou fluorescenci. Současně je měřena přirozená fluorescence vyvolaná slunečním zářením. Poměr uměle vyvolané a přirozené fluorescence pak v podobě indexu podává informace o stavu chlorofylu v rostlinách. Při nedostatečné výživě N nebo při ostatních stresových faktorech jako jsou choroby nebo deficit vody je index vysoký, při vysokém obsahu N v rostlinách je naopak nízký.



Obr. 29 Příklad přístroje Fritzmeier MiniVeg (<http://umwelt.fritzmeier.de>)

MiniVeg N je upevněn na předním závěsu traktoru a pokrývá porost v šířce záběru 6 m. Samotný přístroj se skládá ze čtyř samostatných jednotek vybavených aktivním laserovým měřícím zařízením, které směřují kolmo do porostu. Sensory jsou nesený jen několik cm nad porostem, měřeny jsou horní listy a části stébel. Z toho důvodu je zapotřebí přesného dodržení výšky v porostu pomocí dvou ultrazvukových senzorů a odpovídající hydraulické regulace. Tímto způsobem je možné získat informace i o výšce porostu.



Obr. 30 Pohyb přístroje MiniVeg v porostu (<http://umwelt.fritzmeier.de>)

Měření nevyžaduje kalibraci, systém se kalibruje sám pomocí vestavěného standardu fluorescence. Odvození dávky N se uskutečňuje z naměřené aktuální hodnoty výživného stavu porostu a z modelu potřeby živiny pro hladinu očekávaného výnosu. Aplikací dávka hnojiva může být korigována uživatelem. Použití je možné od fáze odnožování.





Obr. 31 Online systém Fritzmeier Isaria® (<http://umwelt.fritzmeier.de>)

V roce 2009 byl představen přístroj **Fritzmeier Isaria®** pro senzorové mapování výživného stavu porostů cílený pro malé a střední zemědělské podniky. Výživný stav je detekován na základě spektrometrického měření odrazivosti porostů pšenice, ječmene a řepky ve čtyřech vlnových délkách s využitím aktivního zdroje záření v podobě LED diod. Podobně jako Yara N-Sensor®ALS je tak možné používat přístroj za zhoršených světelných podmínek. Naměřená data jsou přenášena bezdrátově do palubního počítače traktoru, odpadá tak instalace kabeláže. Podobně je usnadněno uvedení do provozu na poli – přístroj nevyžaduje kalibraci, neboť tu již obsahuje řídicí jednotka. Ovládací software přístroje umožňuje využití mapových podkladů – kombinuje tak vlastnosti online a offline systémů.



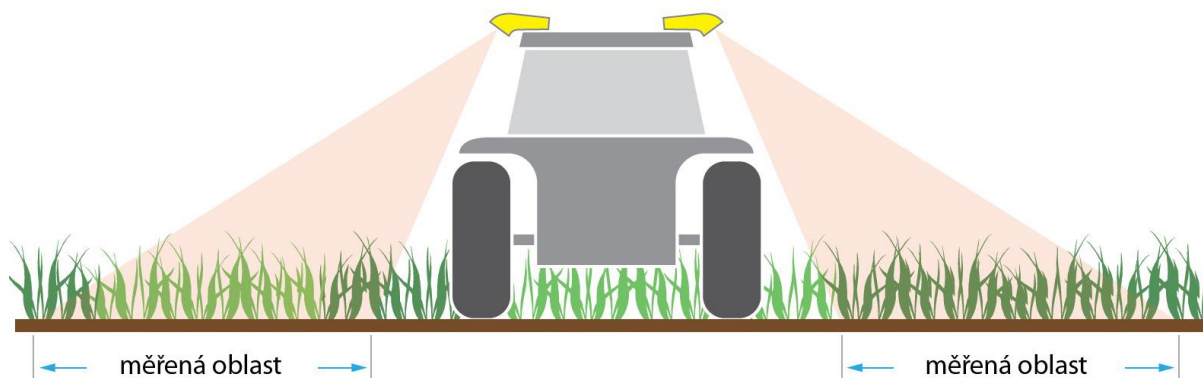
Obr. 32 Polohování senzorů Fritzmeier Isaria® (<http://umwelt.fritzmeier.de>)

Na podobném principu měření pracuje také **Topcon CropSpec™**. Ten se skládá ze dvou měřících jednotek, které jsou instalovány na levou a pravou stranu kabiny traktoru - aplikátoru. Principem zjišťování výživného stavu porostu je měření jeho odrazivosti pomocí aktivního záření vytvářeného pulsujícími laserovými diodami v oblasti červeného (730-740 nm) a blízkého infračerveného (800-810 nm) spektra.



Obr. 33 Topcon CropSpec™ přístroj pro online přihnojování porostů ([www.topconpa.com](http://www.topconpa.com))

Výhodou Topcon CropSpec™ jsou jeho malé rozměry (200 x 80 x 80 mm) a široký záběr při snímání porostů (úhel 45-55°). Podobně jako ostatní senzory umožňuje volbu mezi online režimem přihnojování nebo pouze offline mapováním variability porostů (bez současného hnojení). Úroveň intenzity hnojení je nastavena uživatelem.



Obr. 34 Schéma záběru dvou přístrojů CropSpec™ instalovaných na kabině traktoru ([www.topconpa.com](http://www.topconpa.com))

Společnost Trimble nabízí systém **GreenSeeker®**, který využívá aktivního záření LED diod pro měření odraženého záření v červeném a NIR spektru od porostu a následný výpočet vegetačního indexu NDVI. Přístroj je směřován kolmo k porostu, pro pokrytí záběru aplikátoru je nutné instalovat více senzorů.



Obr. 35 Přístroj GreenSeeker® (Foto V.Lukas) a princip měření přístroje ([www.trimble.com](http://www.trimble.com))



Obr. 36 Sada přístrojů instalovaná na postřikovači (Foto V.Lukas)

Tab. 9 Přehled online senzorových systémů a jejich základní vlastnosti (Reckleben, 2011, upraveno)

	N-Sensor ALS	Crop-Meter	MiniVeg N	Isaria	CropSpec	GreenSeeker
Výrobce	Yara	Claas	Fritzmeier	Fritzmeier	Topcon / Yara	Trimble
Princip měření	optický	mechanický	optický	optický	optický	optický
Měřená veličina	odběr N, biomasa	úhel vychýlení kyvadla	fluorescence chlorofylu	odběr N, biomasa	odběr N, biomasa	NDVI, biomasa
Orientace čidla k porostu	šikmo	-	kolmo	kolmo	šikmo	kolmo
Montáž	na kabině	přední závěs	přední závěs	přední závěs	na kabině	přední závěs
Oblast měření	po stranách kolej. řádku	v kolejovém řádku	po stranách kolej. řádku	po stranách kolej. řádku	po stranách kolej. řádku	po stranách kolej. řádku
Zdroj světla	xenonové výbojky	-	laser	LED	laser	LED
Počet čidel	2	1	4	2	2	6
Využitelnost	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně
Plodiny	obilniny, řepka, kukuřice, brambory, řepa, traviny	obilniny	obilniny	obilniny, řepka, traviny	obilniny, řepka, kukuřice, brambory, řepa, traviny	obilniny, řepka, kukuřice, brambory, řepa, traviny
Omezení veg. fází	žádné / abs. kalib. od DC 29	od DC 32	do DC 49	žádné	žádné	žádné
Stanovení dávky*	volitelná / absolutní	volitelná	volitelná	volitelná	volitelná	volitelná
V praxi	od 1999/2005	od 2003	od 2005	od 2009	od 2011	od 2009
Poznámky			max. 3 cm vzdálenost senzoru od rostliny			

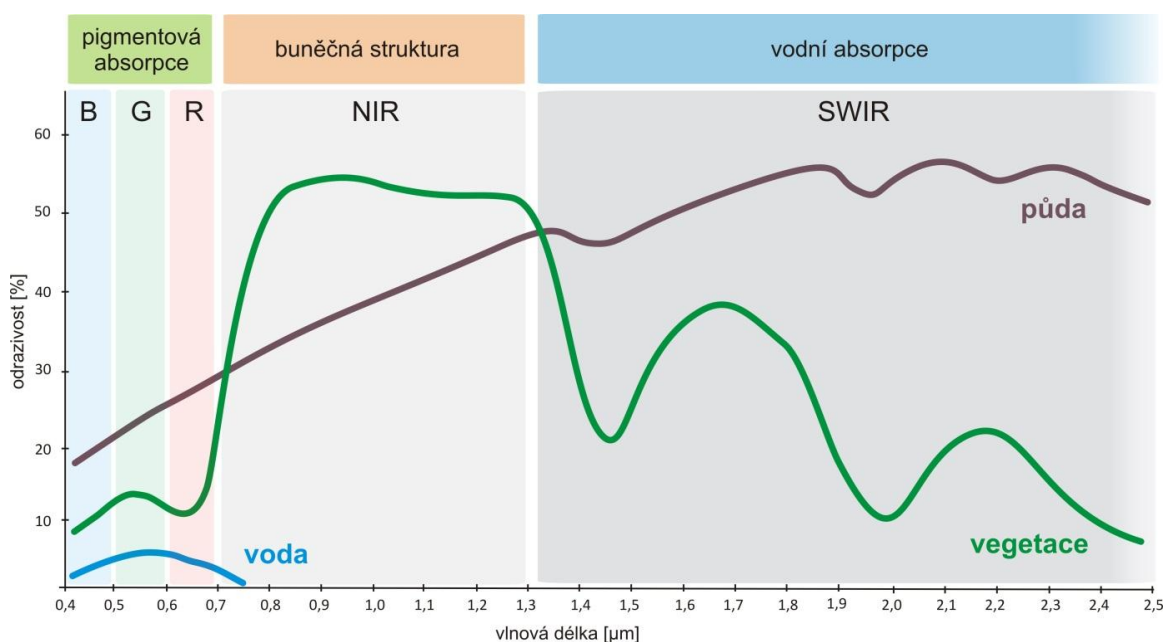
\*volitelné stanovení dávky – uživatel volí rozpětí dávky živiny (min - max); absolutní – rozpětí dávek je stanoveno přístrojem

### 3.5. Dálkový průzkum

Dálkový průzkum představuje soubor metod získávání informací o objektech bez kontaktu s nimi. Pro zemědělské účely se nabízí využití leteckého či satelitního snímkování, v menší míře také snímkování pomocí modelů letounů, vrtulníků či balónů. Od volby nosiče snímací soustavy je odvislá výška snímkování, která je důležitá s ohledem na eliminaci negativních povětrnostních vlivů – zejména výskytu oblačnosti. Zatímco při silné oblačnosti jsou satelitní data prakticky nepoužitelná, při

leteckém snímkování lze většinou výšku přeletu naplánovat a výše položené oblakům se vyhnout. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, aplikace hnojiv na základě mapování dálkovým průzkumem spadá do kategorie offline metod, kde jsou jednotlivé kroky (mapování porostů – zpracování a interpretace dat – aplikace hnojiva) procesně odděleny. Na rozdíl od online metod umožňuje při stanovení dávky hnojení zohlednit celou řadu doprovodných faktorů.

Podobně jako řada online senzorových systémů využívá dálkový průzkum pro hodnocení stavu porostů rozdíly v jejich spektrálním chování. Rostliny totiž vykazují specifickou odrazivost v jednotlivých pásmech elektromagnetického záření. Modrá a červená část záření jsou v převážné většině spotřebovávány při procesu fotosyntézy, část zeleného spektra je odrážena (proto se nám rostliny jeví jako zelené). V blízké infračerveném spektru (NIR) je většina záření odrážena. NIR je pro lidské oko neviditelné, pro jeho záznam je nutné speciální detekční zařízení. Zjednodušeně lze říci, že odrazivost ve viditelném záření podává informaci o stavu fotosyntetického aparátu, zatímco v NIR o množství biomasy. Na tzv. multispektrálním snímku, který zahrnuje všechna tato pásma, 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. Takto je popsána zdravá vegetace, rostliny trpící stresem (nebo stárnoucí) vykazují změny odrazivosti – přibývá odrazivost v červeném spektru (žloutnoucí listy) a naopak se snižuje odrazivost v NIR. Spektrální měření dokáže poměrně spolehlivě detekovat porostní rozdíly (nedostatečná výživa, vodní stres, napadení rostlin), obvykle ale není schopno určit přesnou příčinu identifikovaného stresu. V precizním zemědělství je potenciál dálkového průzkumu nejvíce využíván v oblasti variabilní aplikace hnojiv, v menší míře také pro aplikaci regulátorů růstu a fungicidní ochranu rostlin.



Obr. 37 Spektrální chování vegetace, půdy a vody ve vybrané části elektromagnetického záření (400 - 2500 nm) (Lukas et al., 2011a)

Zjednodušeně lze říci, že aplikace dusíku působí na odrazivost porostu dvojnásobně: jednak zvyšuje obsah chlorofylu v listech a také má vliv na růst rostlin (množství biomasy). Pro úspěšné využití optických metod při řízení výživy N je důležité zachytit oba tyto parametry, např. pomocí tzv. vegetačních indexů, které jsou výsledkem jednoduchých aritmetických operací s odrazivostí ve dvou a více částech elektromagnetického spektra. Cílem je zvýraznit vegetační složku v obraze na základě

znalosti spektrálního chování. Nejčastěji využívají rozdílu odrazivosti v červeném a NIR záření, což umožňuje detekovat fyziologické stresy rostlin a kvantifikovat vybrané parametry porostu. Vegetačních indexů je celá řada, jejich ucelený přehled včetně odkazů na práce, ve kterých byly publikovány, nabízejí např. Stagakis et al. (2010). V zemědělské praxi patří mezi nejčastěji používané NDVI a red edge index (REIP).

## NDVI

Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) je nejznámější vegetační index původně vyvinutý pro stanovení dynamických vegetačních dějů globálního charakteru ze širokopásmových satelitních snímků. Normovaný výpočet na rozdíl od jednoduchých poměrových indexů umožňuje redukovat některé rušivé prvky v obraze jako jsou rozdíly v osvětlení snímané scény, stíny a vlivy atmosféry, neboť jejich působení je v rozdílných pásmech odrazivosti zpravidla stejné. Pro porovnávání rozdílných termínů snímání je ale nutné použít radiometrické korekce pro standardizaci světelných podmínek.

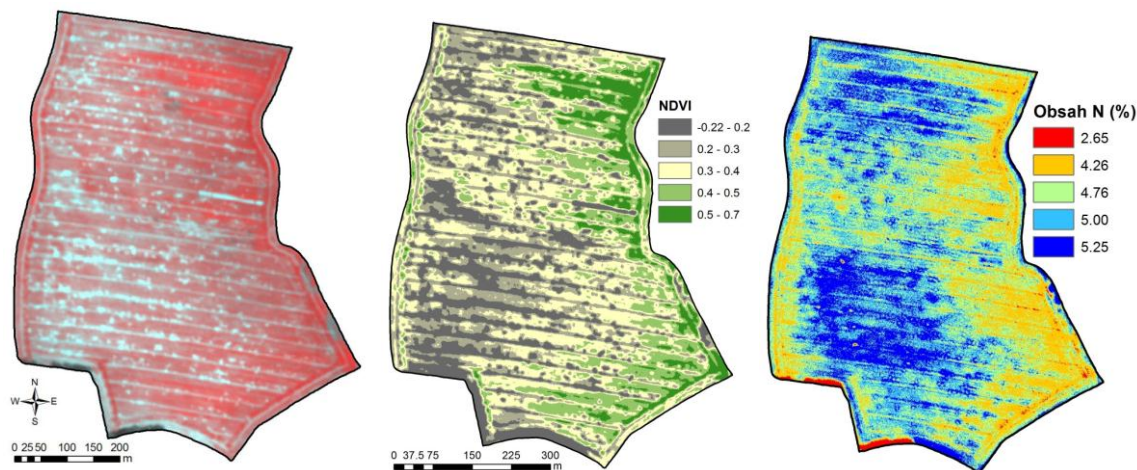
Rovnice pro výpočet NDVI ze širokopásmových senzorů:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (R_{NIR}, R_{Red} - \text{odrazivost v blízké infračerveném a červeném pásmu})$$

Při snímání vyspělejšími úzkopásmovými senzory je NDVI vypočteno jen z vybraných pásem určitých vlnových délek. Výpočet může být proveden následujícím způsobem:

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}} \quad (R_{800} - \text{odrazivost v oblasti 800 nm})$$

Výsledek výpočtu NDVI indexu je bezrozměrná veličina nabývající hodnot od -1 do 1. Jeho výše koreluje s obsahem zelené hmoty v ploše pixelu a umožňuje její kvantifikaci. Vyšší kladné hodnoty značí vyšší množství biomasy, hodnoty kolem nuly až mírně kladné odpovídají holé půdě a záporné hodnoty pak zpravidla představují zastavěná území a vodní plochy.



Obr. 38 Multispektrální snímek porostu pšenice ozimé (DC 37) na 38 ha pozemku v nepravých barvách (vlevo), klasifikovaný NDVI snímek (uprostřed) a predikce obsahu N v rostlinách na základě NDVI a NIR (vpravo) (Lukas et al., 2011a).

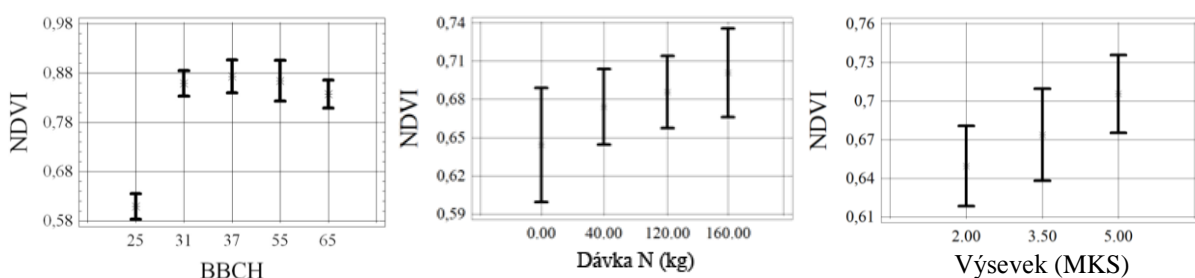
Výsledky řady odborných prací poukazují na nalezení vysokých korelací biomasy, LAI, obsahu vody a chlorofylu v rostlinách s NDVI. Podle Křena et al. (2009) vyšší hodnoty NDVI indikují větší množství biomasy, hmotnost rostlin, vyšší počet rostlin na m<sup>2</sup>, počet odnoží na rostlinu a lepší výživný stav

(vyšší obsah chlorofylu). Lukas et al. (2011c) porovnávali multispektrální snímky s výsledky anorganických analýz obsahu živin a pozemního optického měření LAI (Tab. 10). Z výsledků vyplývá nalezení vztahu s většinou sledovaných parametrů.

Tab. 10 Výsledky statistického porovnání multispektrálních snímků a pozemního měření (obsah živin, LAI) pomocí vícenásobné lineární regrese (Lukas et al., 2011c)

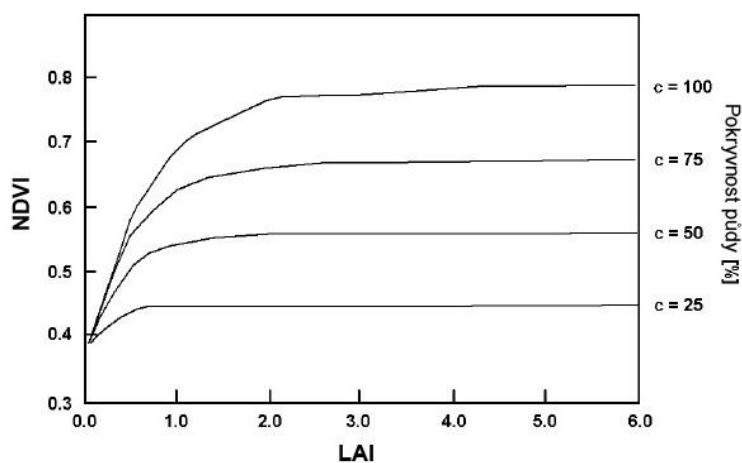
	N	P	K	Ca	Mg	S	LAI
MS	0,79**	0,70**	0,11	0,80**	0,11	0,82**	0,45**

- MS – obrazová data z multispektrálního snímkování v zeleném, červeném a blíže infračerveném spektru a vegetačního indexu NDVI
- Statistická hladina průkaznosti: \*  $\alpha = 0,05$ ; \*\*  $\alpha = 0,01$



Obr. 39 Změna NDVI v průběhu vegetace porostu pšenice (vlevo), s rozdílnou úrovní hnojení N (Křen et al., 2009)

Vztah mezi hustotou porostu a NDVI ale není zcela ideální, neboť NDVI vykazuje negativní vlastnost tzv. nasycení při vysoké hustotě porostu. Hustota porostu je obvykle hodnocena indexem listové plochy - **listovou pokrývností (LAI – Leaf Area Index)**. LAI udává plochu horní strany všech listů rostlin v m<sup>2</sup> na jednom čtverečním metru půdy. Index LAI se mění (zvyšuje) v průběhu vegetačního období. U dobře vyvinutého porostu obilnin může být dosaženo hodnot LAI = 5-9. Při dosažení určitého stupně LAI se již NDVI nemění, dochází k již zmiňovanému nasycení, kdy zvyšující se hustota porostu již není pomocí NDVI indikována. Tento jev nastává při hodnotě LAI mezi 1 až 3, příp. 2 až 6, podle typu a pokrývnosti vegetace (viz Obr. 40).

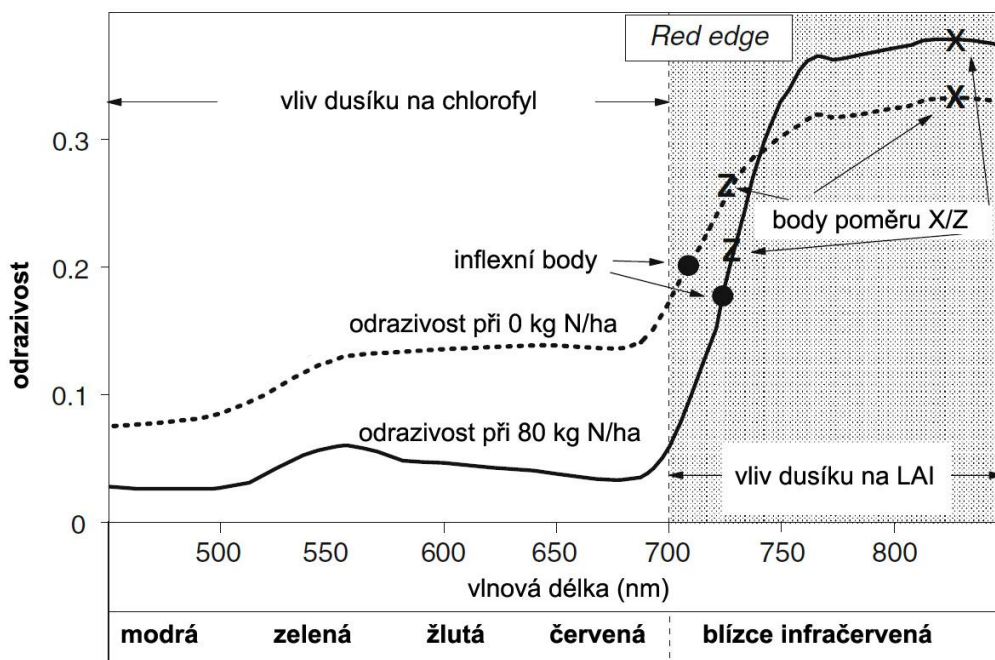


Obr. 40 Závislost NDVI na LAI a pokrývnosti porostu (Lilienthal, 2003)

Příčinou je nedostatečná citlivost NDVI na změny v obsahu chlorofylu, zejména na střední a vyšší koncentrace. Nárůst biomasy sebou přináší zvýšení množství chlorofylu na jednotce plochy; absorpce červeného záření chlorofylem je tak vysoká, že k saturaci dochází již při poměrně nízkých koncentracích chlorofylu. Klem et al. (2011) poukazují na nedostatečnou citlivost NDVI pro vyhodnocení středního a vysokého obsahu dusíku a navrhují modifikaci NDVI v podobě **green NDVI** indexu. Ten využívá namísto červeného pásma zelené (kolem 550 nm) a oblast NIR záření 750 nm. Využitím zeleného pásma je eliminován výše popsany saturační efekt.

### Red edge index

Perspektivním indexem pro vyhodnocení výživy dusíkem je red edge index (také jako **REIP** – red edge inflection point nebo **REP** – red edge position), který udává vlnovou délku inflexního bodu spektrální křivky v tzv. „red edge“ oblasti. Pozice tohoto bodu se zpravidla pohybuje v oblasti 680 – 750 nm, přičemž vlnová délka REIP souvisí s parametry porostu. Zvýšení koncentrace chlorofylu v rostlinách nebo zvýšení biomasy způsobuje jeho posun do vyšších vlnových délek.



Obr. 41 Závislost odrazivosti ozimého žita a pozice REIP v období produkčního hnojení uplynutí sedmi týdnů od předchozí aplikace N (Heege et al., 2008)

Positivní vlastností REIP je nižší citlivost k rušivým faktorům, jako jsou odražené záření od půdního pozadí a atmosférické vlivy, a zároveň vysoká citlivost k požadovaným porostním charakteristikám (obsah chlorofylu a hustota porostu). Na rozdíl od NDVI nedochází k nasycení při vyšších hodnotách LAI. Nevýhodou je nutnost použití speciální sensorové techniky pro zachycení odrazivosti v přesně definovaných oblastech elektromagnetického záření (snímání v úzkých pásmech).

Výpočet hodnoty REIP, jejímž výsledkem je vlnová délka pozice inflexního bodu, může být proveden dvěma způsoby:

1. numerickým výpočtem druhé derivace křivky odrazivosti porostu (někteří autoři uvádějí výpočet pomocí první derivace) a určením vlnové délky s výsledkem rovným nule dle vzorce:

$$\frac{d^2R}{d\lambda^2} = 0 \text{ [nm]} \text{ (R = reflektance dané vlnové délky } \lambda \text{)}$$

2. lineární interpolací podle přibližné empirické rovnice navržené Guyotem (1988) ze čtyř spektrálních pásem (670, 700, 740 a 780 nm):

$$REIP = 700 + 40 \frac{(R_{670}+R_{780})/2 - R_{700}}{R_{740} - R_{700}} \text{ [nm]}$$

První způsob vyžaduje podrobné stanovení spektrální křivky ve sledované oblasti s dostatečným spektrálním rozlišením. To je možné pomocí spektrometru, který poskytuje jeden výsledek (křivku) ze sledované oblasti, nebo hyperspektrálním skenerem, jehož výsledkem je obraz se záznamem spektrální křivky v každém pixelu. Druhá metoda v podobě lineární interpolace je početně jednodušší a méně náročná na technické vybavení, neboť se sleduje odrazivost jen v úzkých pásmech vybraných vlnových délek.

Tab. 11 Koeficient determinace mezi vegetačními indexy a úrovní výživy dusíkem (Heege et al., 2008)

	Rovnice pro odrazivost R ve vlnových délkách (nm)	Koeficient determinace
Odrazivost v zeleném pásmu (R)	$R_{550}$	0.910
Odrazivost v červeném pásmu (G)	$R_{670}$	0.884
Odrazivost v NIR	$R_{800}$	0.569
Poměr NIR a R	$\frac{R_{800}}{R_{670}}$	0.911
Poměr NIR a G	$\frac{R_{800}}{R_{550}}$	0.943
NDVI	$\frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$	0.914
SAVI	$\frac{1.5(R_{800} - R_{670})}{R_{800} + R_{670} + 0.5}$	0.907
REIP (diferenciální výpočet)	$\frac{d^2R}{d\lambda^2} = 0$	0.932
REIP (numerický výpočet)	$700 + 40 \frac{(R_{670} + R_{780})/2 - R_{700}}{R_{740} - R_{700}}$	0.970

Citlivost vegetačních indexů na rozdíly v N hnojení byla sledována v řadě odborných studií. Z výsledků Heege et al. (2008) vyplývá, že nejvyššího koeficientu determinace dosáhl REIP vypočtený lineární interpolací. Vztah mezi REIP a úrovní výživy N je ve většině případů lineární, změna REIP o 1 nm indikovala rozdíl 15 kg N dodaných hnojením 6 týdnů před vlastním měřením. Pro určení výchozí dávky v porostu na základě optických metod je ale nutné provést kalibraci. Ta se provádí výběrem dvou kontrastních oblastí v porostu a zjištěním jejich výživného stavu tradičními postupy se současným zaznamenáním hodnoty vegetačního indexu. Kalibraci je nutné provádět pro jednotlivé plodiny, odrůdy, vegetační fázi a půdní podmínky.

Jak již bylo zmíněno v kap. 3.4., interpretace hodnocení porostů pomocí vegetačních indexů se v případě obilnin liší dle vývojové fáze porostu. Pro produkční hnojení se dávka N snižuje se zvyšující se hodnotou NDVI či REIP. Naopak u kvalitativního hnojení se zvyšující se hodnotou NDVI a REIP je aplikační dávka N vyšší.



### **III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ**

Předkládaná metodika poskytuje informace o možnostech optimalizace hnojení plodin formou variabilní aplikace dusíkatých hnojiv. Pro tento účel je zde uveden souhrn postupů stanovení dávky N s ohledem na produktivitu stanoviště a jsou popsány současné metody diagnostiky výživného stavu rostlin, včetně nejnovějších metod senzorového mapování stavu porostů na základě měření spektrálních charakteristik vegetace. Výsledkem těchto postupů je lokálně cílená aplikace dusíkatých hnojiv, která představuje efektivní využívání těchto látek s ohledem na agroenvironmentální podmínky daného místa, optimalizace kvality produkce a snížení kontaminace životního prostředí.

### **IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY**

Metodika zahrnuje komplexní pohled na uváděnou problematiku a obsahuje nejnovější údaje z výzkumu, které mohou sloužit nejen zemědělské praxi při pěstování plodin, ale také může posloužit jako vhodný materiál pro výuku na středních školách nebo univerzitách se zemědělským zaměřením nebo jako podklad pro zemědělské poradce.

## V. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Baier, J., Baierová, V., Bartošová, Z., Ledvinková, D. (2002): Výsledky anorganických rozborů rostlin. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 140 s.
- Baier, J., Smetánková, M. a Baierová, V. (1988): Diagnostika výživy rostlin. 1. vyd. Praha: IVV MZVŽ ČSR, 284 s.
- Balík, J., Štípek, K., Černý, J. (2006): Výživa rostlin a hnojení v systému precizního hospodaření In Hamouz, P. et al. Precizní zemědělství [on line], [cit. 1. 7. 2010]. Dostupné z: [http://www.phytopsanitary.org/projekty/2005/VVF\\_08\\_2005.pdf](http://www.phytopsanitary.org/projekty/2005/VVF_08_2005.pdf).
- Barracough, P. B. (1997): N requirement of winter wheat and diagnosis of deficiency. *Aspects of Applied Biology*, 50, p. 117-123.
- Benada, J., Flašarová, M., Hubík, K., Kryštof, Z., Krofta, S., Křen, J., Machaň, F., Milotová, J., Míša, P., Onderka, M., Pokorný, E., Střalková, R., Tichý, F., Váňová, M. (2001): Metodika pěstování jarních obilnin. Kroměříž: Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, 143 s., ISBN 8090254543
- Bezděk, V. (1964): Obsah NPK v nadzemní části některých odrůd čs. sortimentu ozimých pšenic v různých etapách vývinu ve vztahu k výnosu. *Rostlinná výroba*, 10 (37), č. 1, s. 17-28.
- Bill, R., Grenzdörferr, G., Foy, T. (2004): Luftbilder. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro, Abschlussbericht, Kap. 3. ZALF, [on line], dostupné z: [http://www.preagro.de/Veroeff/preagro\\_Endbericht\\_Luftbilder.pdf](http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_Luftbilder.pdf).
- Boese, L. (1994): Testing and comparison of different nitrogen status indicators of winter wheat crops. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 157 (1), p. 53-60.
- Brodský, L., Vaněk, V. (2000): Získávání podkladů pro precizní hospodaření. In Sborník Racionální použití průmyslových hnojiv. Praha: ČZU Praha, KAVR, s. 23-29.
- Dampney, P. M. R., Froment, M. A., Dawson, C. J. (1997): The variability of pH and available phosphorus, potassium and magnesium in soils within arable fields in England. *Precision Agriculture 1997*, BIOS Scientific Publishers Ltd, pp. 79-86.
- Ewans, E. J., Shiel, R. S., Mohamed, S. B. (1997): Optimisation of lime application to take account of within field variation in pH and soil texture. In *Proceedings of the first European Conference on Precision Agriculture*, Warwick University Conference Centre, UK, pp. 95-103.
- Franzen, D. W., Luk, J. (2007): Fertilizing canola and mustard [on line]. North Dakota State University, Fargo [cit. 2008-10-18]. Dostupné z: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/sf1122.pdf>.
- Gotway, C. A., Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Peterson, T. A. (1996): Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters, nutrient management and soil and plant analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 1237-1247.
- Heege, H. J., Reusch, S., Thiessen, E. (2008): Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. *Precision Agriculture*, 9(3), pp. 115-131.
- Hergert, G. W. (2008): Sulfur [on line], [cit. 2008-11-27]. Dostupné z: <http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/ec155/build/ec155-5.pdf>.
- Justes, E., Meynard, J. M., Mary, B., et al. (1994): JUBIL: a new method of conducting the nitrogen fertilization in winter wheat crops. In *Proceedings of 3rd ESA Congress*. Abano-Padova, pp. 490-491.
- Klem, K., Hřivna, L., Ryant, P., Míša, P. (2011): Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene. Kroměříž: Agrotest fyto, s.r.o., Kroměříž, 88 s. ISBN 978-80-904597-0-3
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. (2007): Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. v Praze, 40 s.
- Klír, J., Wollnerová, J., Růžek, P., Haberle, J., Kunzová, E. (2008): Zásady správné zemědělské praxe pro ochranu vod před znečištěním dusičnany. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. v Praze. ISBN 978-80-87011-64-5
- Koch, H. J., Baumgärtel, G., Claassen, N., Hege, U., Heyn, J., Link, A., Orlovius, K., Pasda, G., Suntheim, L. (2000): Schwefelversorgung von Kulturpflanzen - Bedarfsprognose und Düngung - (Standpunkt). Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) Darmstadt, [on line], poslední revize 10. 12. 2000 [citováno 5. 9. 2001]. Dostupné na:

- [http://www.vdlufa.de/vd\\_00.htm?4](http://www.vdlufa.de/vd_00.htm?4).
- Kolářík, J. (1959): Rozbor rostlin jako metoda výzkumu výživy rostlin. *Rostlinná výroba*, 5(32):9, s. 1189-1238.
- Křen, J., Lukas, V., Svobodová, I., Dryšlová, T., Míša, P., Neudert, L. (2009): Possibilities of cereal canopy assessment by using the NDVI. In van Henten, E. J. et al. *Precision agriculture '09*, Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 151-158. ISBN 978-90-8686-113-2
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J. (2011a): Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství. *Metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 36 s. ISBN 978-80-7375-562-1
- Lukas, V., Ryant, P., Neudert, L., Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V. (2011b): Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 36 s. ISBN 978-80-7375-561-4
- Lukas, V., Moreno Rodriguez, F., Neudert, L., Dryšlová, T. (2011c): Determination of nutritional status of winter wheat using multispectral imaging. In Stafford, J. V. *8th European Conference on Precision Agriculture 2011*, Prague, Czech Republic: Czech Centre for Science and Society, p. 648-654. ISBN 978-80-904830-5-7
- Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. v Praze, 52 s.
- Matula, J., Markytán, P. (2008): Výživa a hnojení sírou [on line]. In *Výživa a hnojení řepky*. Listy olejin. [Cit. 16. 1. 2009]. Dostupné z: <http://www.spzo.cz>.
- Michalík, I. a Ložek, O. (1989): Metodika diagnostické potreby hnojenia ozimnej pšenice. *Inform. MPVŽ SSR* č. 6, roč. XVII. Bratislava: MPVŽ SSR, s. 10-13.
- Neuberg, J., Jedlička, J., Červená, H. (1995): Výživa a hnojení plodin. *Metodika*. Praha: ÚZPI, 64 s.
- Neukirchen, D., Lammel, J. (2002): The chlorophyll content as an indicator for nutrient and quality management. *Nawozy i Nawozenie—Fertilizers and Fertilization* 11: 89–109.
- Reckleben, Y., Schneider, M., Wagner, P., Schwarz, J., Hütter, J. (2007): Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. *KTBL-Heft 75*. KTBL, Darmstadt, 52 str., ISBN 978-3-939371-51-9
- Reckleben, Y. (2011): N-Sensoren seit zwölf Jahren im praktischen Einsatz: Optimierung der Stickstoffdüngung auf gutem Weg. *Baurenblatt*, pp. 46-49.
- Richter, R., Hřivna, L. (2000): Regenerační hnojení ozimé pšenice a ozimé řepky. *Agromagazín* 1(3): 19-21.
- Richter, R., Hřivna, L., Cerkal, R. (2001): Výživa a hnojení ozimé řepky. Brno: MZLU v Brně a SPZO Praha, 44 s.
- Stagakis, S., Markos, N., Sykioti, O., Kyparissis, A. (2010): Monitoring canopy biophysical and biochemical parameters in ecosystem scale using satellite hyperspectral imagery: An application on a *Phlomis fruticosa* Mediterranean ecosystem using multiangular CHRIS/PROBA observations. *Remote Sensing of Environment* 114: 977-994.
- Škopík, P. (1974): Výpočet ekonomiky odůvodněné dávky dusíkatých hnojiv pro jarní přihnojení pšenice ozimé. In Repka, F. *Metodiky pre prihnojovanie pšenice ozimnej dusíkom na základe anorganických rozborov rastlín*. Metodika. Bratislava: ÚKSÚP, 1976, s. 7-11.
- Štípek, K., Brodský, L., Vaněk, V., Száková, J., Bazalová, M., Prchalová, G. (2000): Prostorová variabilita agrochemických vlastností půdy. In *Sborník Racionální použití hnojiv*. Praha: ČZU v Praze, KAVR, s. 125-132.
- Tan, K. H. (1995): *Soil Sampling, Preparation and Analysis*. Marcel Dekker Inc., USA.
- Tan, Z., McLaren, R. G., Cameron, K. C. (1994): Forms of sulfur extracted from soils after different methods of sample preparation. *Australian Journal of Soil Research*, 32(4): 823–834.
- Zbírál, J., Němec, P. (1999): Porovnání extrakčních postupů podle Mehlicha II a Mehlicha III pro stanovení přístupného fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku v půdách ČR. *Rostlinná výroba* 45(1), 1-7.
- Zbírál, J. (2002): *Analýza půd I (Jednotné pracovní postupy)*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 197 s.

## VI. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Lukas, V. Mapování variability pozemků. *Zemědělec*, č. 33, s. 11-13, 2010. ISSN 1211-3816
- Lukas, V., Moreno Rodriguez, F., Neudert, L., Dryšlova, T. Determination of nutritional status of winter wheat using multispectral imaging. In Stafford, J. V. 8th European Conference on Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic: Czech Centre for Science and Society, 2011, p. 648-654. ISBN 978-80-904830-5-7
- Lukas, V., Neudert, L. Optimization of soil sampling in sustainable agricultural systems. *Növénytermelés (Crop Production)*, 2010, vol. 59, no. Supplement 1, pp. 89-92. ISSN 0546-8191 (online 2060-8543)
- Lukas, V., Neudert, L., Kren, J. Mapping the spatial variability of soil using indirect methods. In Badalíková, B. Proceedings of 6th International Conference "Crop management practices adaptable to soil conditions and climate change", Pruhonice near Prague: Research Institute for Fodder Crops Ltd., Troubsko, Czech Republic, 2011, p. 227 - 231. ISBN 978-80-86908-27-4
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J., Dryšlová, T., Ryant, P. Význam mapování prostorové variability půdy v precizním zemědělství. In Cerkal, R. et al. MZLU pěstitelům 2009 - sborník odborných příspěvků a sdělení, Žabčice: MZLU v Brně, 2009, p. 978-80-7375-304-7
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J.: Precizní zemědělství a jeho přínosy. *Zemědělec*, č. 33, s. 9-10, 2010. ISSN 1211-3816

Poznámky:

Autoři: Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.  
doc. Ing. Pavel Ryant., Ph.D.  
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.  
Ing. Tamara Dryšlová, Ph.D.  
Ing. Pavel Gnip  
Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.

Název:

Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství

Vydal: Mendelova univerzita v Brně  
Zemědělská 1, 613 00 BRNO

Sazba, tisk: Mendelova univerzita v Brně  
Zemědělská 1, 613 00 BRNO

Náklad: 250 ks

1. vydání, 2012

Vydáno bez jazykové úpravy.

Metodika je poskytována bezplatně.

Kontakt na autora: [vojtech.lukas@mendelu.cz](mailto:vojtech.lukas@mendelu.cz)





© Mendelova univerzita v Brně, 2012

ISBN 978-80-7375-686-4