VÚŽV
Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

Radko Loučka
a kolektiv

Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) u nativních krmiv, výkalů a mléka

2021

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

ISBN 978-80-7403-256-1

Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) u nativních krmiv, výkalů a mléka

Autoři:

[1]Ing. Loučka Radko, CSc., [1]Ing. Jančík Filip, Ph.D., [1]Ing. Kubelková Petra, Ph.D., [1]Ing. Koukolová Veronika, Ph.D., [1]Ing. Tyrolová Yvona, [1]Ing. Výborná Alena, [1]Ing. Marie Gaislerová, Ph.D., [1,2]doc. Ing. Homolka Petr, CSc., Ph.D., [3]Ing. Václav Jambor, CSc., [4]RNDr. Jan Nedělník, Ph.D., [4]Ing. Jaroslav Lang, Ph.D.

[1] Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.
[2]ČZU Praha, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky

[3]NutriVet, s.r.o.

[4]Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

Oponenti:

Ing. Jan Pozdíšek, CSc., Výzkumný ústav pro chov skotu, s.r.o.

Ing. Jan Vodička, MZe, Odbor zemědělských komodit

Dedikace: QK1810137
Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu

2021

Ministerstvo zemědělství
Těšnov 65/17
110 00 Praha 1

v y d á v á

O S V Ě D Č E N Í

č. MZE-24236/2021-18141

o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací, schválené usnesením vlády č. 107 ze dne 8. 2 2017 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády č. 837 ze dne 29. 11. 2017.

Název metodiky: **Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) u nativních krmiv, výkalů a mléka**

Autoři: **Ing. Loučka Radko, CSc., Ing. Jančík Filip, Ph.D., Ing. Kubelková Petra, Ph.D., Ing. Koukolová Veronika, Ph.D., Ing. Tyrolová Yvona, Ing. Výborná Alena, Ing. Marie Gaislerová, Ph.D., doc. Ing. Homolka Petr, CSc., Ph.D., Ing. Václav Jambor, CSc., RNDr. Jan Nedělník, Ph.D., Ing. Jaroslav Lang, Ph.D.**

Název organizace: **Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., Praha Uhříněves**

Místo vydání: **Praha**

Rok vydání: **2021**

ISBN **978-80-7403-256-1**

Metodika byla vypracována v rámci výzkumného projektu NAZV č. **QK1810137**

Využívá projekt „*Pravidla pro odvětví zemědělství, lesnictví, rybolov*“? **ANO**

V případě, že projekt využívá „Pravidla pro odvětví zemědělství, lesnictví a rybolovu“, je výsledek typu Nmet zdarma k dispozici všem zájemcům na webové stránce: https://vuzv.cz/projekty/aplikace-precizniho-zemedelstvi-v-celem-procesu-od-vyroby-silazi-az-po-krmeni-skotu

V Praze dne 20. 10. 2021

.....

Razítko a podpis zástupce odborného útvaru státní správy

Ministerstvo zemědělství České republiky

Jméno zástupce odborného útvaru státní správy Ing. Miroslava Czetmayer Ehrlichová

Funkce zástupce odborného útvaru státní správy: ředitelka Odboru zemědělských komodit

Souhlas ředitele Odboru vědy, výzkumu a vzdělávání MZe:

V Praze dne 8. 11. 2021 .....

Mgr. Jan Radoš

OBSAH

1. Cíl metodiky 6
2. Vlastní popis metodiky 6
   2.1. Úvod 6
   2.2. Principy spektroskopie v blízké infračervené oblasti 7
   2.3. Porovnání metod stanovení a hodnocení kvality krmiv 8
   2.4. Spektrometry NIR pro vzorky v původní sušině 9
   2.5. Současný stav řešené problematiky 11
      2.5.1. NIRS ve vědecké literatuře 11
      2.5.2. Možnosti technologie NIRS 12
      2.5.3. Porovnání technologií NIRS 12
      2.5.4. Skenování porostů bezpilotními prostředky 13
      2.5.5. Skenování řezanky při sklizni pícnin 14
      2.5.6. Skenování krmiv v procesu krmení zvířat 14
      2.5.7. Skenování obsahu škrobu ve výkalech 15
      2.5.8. On-line měření kvality mléka v dojírně 16
   2.6. Vlastní pokusy, zaměřené na metody NIRS pro vzorky v původní sušině 16
      2.6.1. Pokusy s řezankou vojtěšky 16
      2.6.2. Pokusy s řezankou kukuřice 17
      2.6.3. Pokusy se silážemi 18
      2.6.4. Pokusy s výkaly a pH v bachoru 20
      2.6.5. Pokusy s on-line kontrolou obsahu tuku a bílkovin v mléce 22
   2.7. Závěry 23
3. Srovnání „novosti postupů“ 23
4. Popis uplatnění metodiky 24
5. Ekonomické aspekty 25
6. Seznam použité související literatury 27
7. Seznam publikací, které předcházely metodice 28
8. Příloha 29
   8.1. Seznam zkratek 29
   8.2. Anotace 30

1. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnutí komplexních informací o využití vybraných metod tzv. precizního zemědělství, především spektrometrické metody **blízké infračervené spektroskopie (NIRS)** v zemědělské výrobě k hodnocení parametrů nutriční hodnoty krmiv, homogenity směsné krmné dávky (TMR), obsahu sušiny a škrobu ve výkalech a kvality mléka **v původní sušině,** resp. **u nativních vzorků** (nativní = přirozený, původní, čerstvý), resp. u vzorků **na daném místě v reálném čase** (*in situ,* on-line) **a její porovnání s** již klasickou spektrometrickou metodou NIRS u suchých, resp. předsušených vzorků **a také její porovnání s** referenční analytickou metodou „mokré chemie" (AOAC, 1990).

Dílčím cílem metodiky je informovat srozumitelně a **klást důraz na část návodnou**, resp. **doporučení pro praxi,** jaké spektrometry používat, jak a kde, a také o důležitosti použití správných kalibračních rovnic.

2. VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1. Úvod

Chov *dojnic* je stále **více ovlivňován digitální revolucí**. V reakci na současné výzvy –jako je environmentální, ekonomická a sociální udržitelnost – je třeba vzít na vědomí a více využívat nové technologie přesného chovu hospodářských zvířat, tzv. precizního farmaření, resp. precizního krmení. To je možné díky vývoji bezpočtu senzorů, které mohou být na farmě budoucnosti využity. Technologií, která může již nyní významně ovlivnit různé aspekty chovu mléčného skotu, je bezpochyby **NIRS pro vzorky v původní sušině, která je univerzální** a lze ji použít k on-line/in-line vyhodnocení a kontrole kritických bodů výrobního procesu, resp. **k automatickému vzorkování, umožňujícímu nepřetržitou kontrolu procesu**. NIRS pro vzorky v původní sušině může v současné době poskytnout informace o chemicko-fyzikálním složení nativních krmiv, celkové TMR, výkalech i mléku. To vše **v reálném čase, na místě a velmi levně**.

Mnoho studií potvrzuje použitelnost NIRS jako spolehlivé a **prediktivní technologie jako alternativy „mokré chemie"** (Evangelista a kol., 2021). Ani výsledky „mokré chemie" nemusí být stoprocentní. Zdrojem chyb se může stát vzorkování (odběr průměrného vzorku a následná homogenizace), sušení (ke kalibraci celého souboru vzorků se doporučuje používat pouze jednu metodu sušení), mletí (vzorek se při něm nesmí zahřívat), a velikost síta (měla by být normalizována, např. ≤ 1 mm), promíchání vzorku a plnění do kyvet (Míka, 1997).

Zejména ve vzorkování krmiv se v praxi nejčastěji dělají chyby. Mělo by plně probíhat podle Nařízení Komise (ES) č. 152/2009 ze dne 27. 1. 2009, kterým se stanoví metody odběru vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv, v platném znění. Poslední znění je ze dne 16. 11. 2020. Od roku 2009 v ČR platila vyhláška č. 415/2009 Sb., O stanovení požadavků na odběr vzorků a způsobu zveřejnění metod laboratorního zkoušení produktů ke krmení. Zákonem č. 209/2019 Sb., ze dne 24. 7. 2019, kterým se mění zákon č. 91/1996 Sb., o krmivech, ve znění pozdějších předpisů, byla zrušena s tím, že je nahrazena Zákonem o krmivech č. 91/1996 v jeho platném znění. Asi nejdůležitější informace z těchto dokumentů je, že provozovatel je povinen zajistit, aby provoz splňoval požadavky stanovené platnými předpisy Evropské unie a ČR, a aby byl technicky umožněn bezpečný přístup pro odběr vzorků za účelem ověření jakosti a zdravotní nezávadnosti krmiva. Tyto předpisy se týkají téměř výhradně vzorkování suchých granulovaných či sypkých krmiv, doplňkových látek nebo premixů. Podrobnější informace o vzorkování objemných krmiv (především siláží) lze najít v knize (Velebný a kol., 2016) nebo v certifikované metodice VÚŽV, v.v.i. (Loučka a kol., 2019).

NIRS metoda je v současné době **běžně používanou analytickou metodou** v celé řadě výzkumných i kontrolních laboratoří a stále častěji je používaná i v zemědělské praxi. NIRS metoda je **vhodná pro měření velkého souboru vzorků** z důvodu její významné rychlosti získání výsledku oproti laboratorním referenčním metodám „metody mokré chemie". **U NIRS metody ze suchého vzork**u lze i z jednoho měření simultánně predikovat nakalibrované parametry analyzovaného materiálu. U **NIRS metody** z krmiva v původní sušině, ať již z pícniny přímo na poli nebo fermentované silážováním, je významným výsledkem **variabilita**. Již po několika měřeních lze zjistit variabilitu u původně naměřené hodnoty. Při dobré kalibraci lze tuto metodu využít i pro zjištění absolutních hodnot. Metodika je vhodná do zemědělské praxe, kde si následně agronom nebo zootechnik na základě rychle získaných výsledků rozboru může operativně upravit např. dávkování silážního přípravku či krmnou dávku pro výživu skotu. V současné době lze již tyto úkony **operativně upravovat pomocí techniky precizního zemědělství**.

Vlastní metodika je rozdělena na několik částí. V té první jsou popsány základní principy fungování metody NIRS, doplněné o poznatky z literatury. Jsou zde i přehledně zpracované rozdíly mezi výše popsanými třemi metodami. Stručně jsou představeny i přístroje NIRS, které jsou v současné době pro zjišťování výživných hodnot krmiv používány.

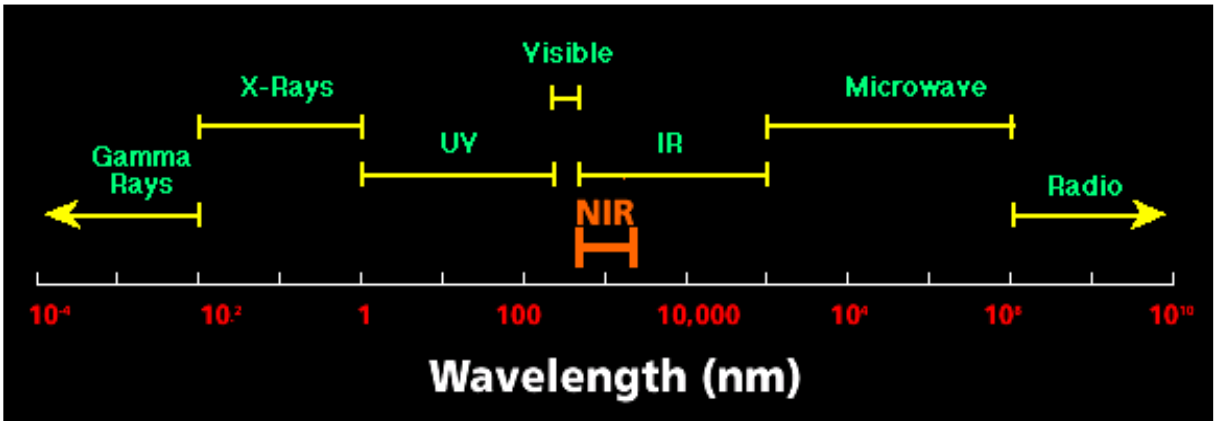
V experimentální části metodiky jsou představeny vybrané výsledky porovnání metody „mokré chemie" s NIRS metodou ze suchého vzorku a NIRS metody z původní sušiny vzorku postupně u nativních vzorků vojtěšky, nativních vzorků hybridů kukuřice a siláží kukuřice a vojtěšky. Experimentální část zahrnuje i vyhodnocení údajů z kontinuálního měření sušiny kukuřičné řezanky z přístroje HarvestLab, umístěného na výfukovém komíně řezačky. Experimentální část je ještě doplněna o pilotní studie skenování obsahu sušiny a škrobu ve výkalech a měření on-line tuku a bílkovin v mléce.

2.2. Principy spektroskopie v blízké infračervené oblasti

Infračervená spektroskopie je analytická metoda, určená zejména pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a také jako technika v omezené míře využitelná pro rychlé stanovení anorganických látek. Principem metody je pohlcování nebo reflexe různých vlnových délek dopadajícího záření, které závisí na chemickém složení analyzovaného vzorku. **Spektroskop** je přístroj pro rozkládání viditelného spektra na jednotlivé složky a jejich vizuální pozorování. **Spektrometr** je druh vědeckého přístroje, umožňující měřit spektrum světla či elektromagnetického záření mimo viditelnou oblast.

Infračervená spektroskopie (*InfraRed spectroscopy*) je spektroskopická metoda analytické chemie, patřící mezi metody elektromagnetické spektroskopie. Je to kvalitativní metoda, která poskytuje velice přesnou identifikaci izolované látky, a také kvantitativní metoda. **Infračervené záření** (z anglického *infrared*) je elektromagnetické záření s vlnovou délkou **větší než viditelné světlo, ale menší než mikrovlnné záření**. Název značí „pod červenou" (z latiny *infra* = „pod"). Infračervené záření zabírá ve spektru 3 dekády a má vlnovou délku mezi 760 nm a 1 mm, resp. energii fotonů mezi 0,0012 a 1,63 eV. **Blízká infračervená** *(Near InfraRed)* spektroskopie je analytická technika, která využívá zdroj emitujícího záření známé vlnové délky (obvykle 800–2 500 nm, tj. 12 500–4 000 cm^{-1}). Z praktických důvodů se podle vlnové délky do 200 cm^{-1} rozlišuje oblast vzdálená (FIR, far infrared), 4 000–200 cm^{-1} oblast střední (MIR, midle infrared) a 12 500–4 000 cm^{-1} oblast blízká (NIR, near infrared). Následující schéma (č. 1) ukazuje NIR v celém spektru vlnových délek.

Schéma 1: NIR v celém spektru vlnových délek (převzato z prezentace Dinamica Generale)



Protože spektrometr umožňuje měřit pouze spektrum světla, je třeba přístroj patřičně **kalibrovat**, aby výsledek odpovídal hodnotám, používaným v běžné krmivářské praxi pro sestavení krmných dávek hospodářských zvířat. Protože kalibrace NIRS vycházejí z výsledků tzv. mokré chemie (jako referenční hodnoty), je chyba odhadu měření NIRS součtem chyb mokré chemie a samotné NIRS. Chyba měření metodou NIRS proto musí být vyšší než chyba mokrých chemických analýz, která je často mezi 1 a 5 %. Nižší přesnost technologie NIRS lze ale kompenzovat „množením" vzorků „stejného" krmiva. **Větší množství měření snižuje velikost chyby**, ale zvyšuje náklady. Náklady u „mokré chemie" však stoupají s množstvím analýz podstatně rychleji než počet měření u vzorků NIRS.

2.3. Porovnání metod stanovení a hodnocení kvality krmiv

Následující schéma (č. 2) obsahuje porovnání výhod a nevýhod metod stanovenía hodnocení krmiv s využitím klasické analýzy „mokrou chemií“, NIRS ze sušiny a NIRS pro vzorky v původní sušině (resp. z nativního materiálu bez nutnosti úpravy, resp. přímo na místě odběru v reálném čase, tj. *in situ*). Záměrně není uvedeno, co je výhodou a co nevýhodou každé z uvedených tří metod. Pro někoho může být výhodou vyšší přesnost, pro jiného rychlost stanovení nebo nižší cena.

Schéma 2: Porovnání metod „mokré chemie“, NIRS ze sušiny a NIRS pro vzorky v původní sušině

„Mokrá chemie“:

- výsledky jsou nejpřesnější, používají se jako referenční, resp. „standard“ pro vývoj NIRS kalibrací,
- doba stanovení je delší (3–10 dní),
- analýza vzorků je nákladnější (jeden kompletní vzorek siláže stojí více než 2000 Kč),
- neobejde se bez sušení vzorků, postup sušení je časově náročný a může způsobit ztrátu těkavých látek (McDonald a kol., 1991),
- jde o metodu méně šetrnou k životnímu prostředí (potřeba chemikálií),
- je využívaná pouze v laboratořích s patřičným vybavením.

NIRS ze suchého vzorku:

- metoda poměrně přesná, záleží ale na použití správné kalibrační rovnice,
- stanovení přístrojem NIRS je rychlejší než „mokrá chemie“, ale pomalejší než NIRS pro vzorky v původní sušině,
- stanovení je levné (jeden kompletní vzorek siláže stojí cca 200 Kč),
- před měřením je nutné vzorek usušit a umlít, přitom mohou nastat změny nutriční hodnoty, a to i v důsledku vysoké teploty při zpracování nebo nedostatečné homogenizace vzorku,
- u siláží dochází ke ztrátě těkavých látek, kterou je potřebné korigovat podle zjištěného obsahu těkavých látek (TMK , alkohol) a pH,
- metoda je šetrná k životnímu prostředí (bez chemikálií),
- přístroj může být přenosný, ale většinou zůstává stabilně v laboratoři,
- hodně záleží na kvalitě přístroje, z ní se často odvíjí i vyšší vstupní investice.

NIRS ze vzorků v původní sušině:

- měření hodnot s využitím metody NIRS pro vzorky v původní sušině, prováděné u čerstvého vzorku píce, je méně přesné ve srovnání s měřením suchých a mletých vzorků; zvýšení přesnosti lze ale dosáhnout vícenásobným skenováním daného vzorku a aktualizací kalibrace,
- absolutní hodnoty se někdy i významně liší od hodnot, naměřených referenční metodou „mokré chemie“ (AOAC, 1990); předností je však možnost rychle a levně zpracovat velké množství vzorků a porovnat je mezi sebou (vyhodnotit variabilitu),
- měření poskytuje výsledky v aktuálním (reálném) čase,
- odpadá sušení vzorku a tím i ztráta těkavých látek,
- přístroj je přenosný, resp. plně mobilní,
- nedostatek homogenity, ale na druhé straně s možností kontinuálního měření a tím dosažení ještě větší homogenity (i když matematickou cestou),
- obsah vody ve vzorku interferuje s většinou charakteristik spekter pro konkrétní živiny,
- hodně záleží na kvalitě (je dána i cenou) přístroje, je nutná dobrá kalibrace na analogických vzorcích,
- široké využití od skenování porostů, kontinuálního měření kvality řezanky, po měření kvality siláží a TMR v krmných vozech,
- pro praktickou formulaci TMR je stanovení výživné hodnoty u čerstvých vzorků stále žádanější (hlavně z důvodu možnosti téměř okamžité korekce diety).

2.4. Spektrometry NIR pro vzorky v původní sušině

Lídrem v nabídce spektrometrů NIR pro vzorky v původní sušině je italská firma **Dinamica Generale**. Zaměřuje se na inovativní řešení inteligentního zemědělství s využitím internetu věcí (IoT), což umožňuje zemědělcům využívat senzory, inteligentní brány a monitorovací systémy ke shromažďování a analýze informací a podle toho přijímání informovanějších rozhodnutí. Její hlavní nabízené přístroje jsou AgriNIR™, X-NIR a NIR On Board, pracující ve vlnových délkách 950–1 800 nm. Firma pracuje i na systému Visiomix, který by měl přispět ke zlepšení homogenity TMR.

Spektrometr AgriNIR™ je přenosný analyzátor objemných krmiv a koncentrátů, který určuje obsah sušiny, škrobu, N-látek, ADF, NDF, popele a tuku pícnin. Kompletní analýza je hotová cca za 60 vteřin. Vzorky krmiv k měření není třeba upravovat, pouze se vloží do přístroje. Výsledek je ihned k dispozici pro výpočet krmné dávky nebo kontroly kvality. Protože je měření levné a rychlé, lze ho několikrát opakovat s jiným vzorkem, což ve výsledku znamená větší přesnost. Přístroj je uložen v přenosné plastové skříňce. Všechny potřeby pro měření jsou na jednom místě. Jakmile se stabilizuje zdroj a lampa, můžete začít s měřením vzorků. Přístroj je vybaven kalibračními křivkami NIRS pro 7 druhů krmiv a celkem 44 kalibračními rovnicemi. Výsledek je možné vytisknout nebo přenést pomocí konektoru USB do počítače pro rychlý výpočet a úpravu TMR.

Alternativou přístroje AgriNIR je „ruční“ spektrometr **X-NIR**. Má velikost i tvar, blížící se ruční vrtačce. Výsledek se zobrazuje na digitálním displeji nebo je ho možné přenést na „flesh“ nosiči do PC.

Foto 1 a 2: Přístroj AgriNIR (vlevo) a přístroj XNIR (vpravo)

Souprava **NIR On Board**, která je také alternativou „kufříkového“ přístroje AgriNIR, provádí během sklizně v reálném čase měření sušiny, případně i vybraných živin na sklízecí řezačce, kombajnu, či sklízecím voze. Analyzátor NIRS je na řezačce, či jiném stroji, instalován na trubici, ve které proudí neustále řezanka sklízené píce. Data jsou v reálném čase načítána na displeji instalovaném v kabině a přenášena do softwaru Field Trace v 3G cloudu. Technologie NIRS spolu s technologií GPS umožňuje přesněji charakterizovat vybranou část pole v aktuální dobu, čímž je umožněna cílená aplikace přípravků či nastavení stroje. Měření obsahu škrobu ve sklízeném materiálu umožňuje např. pro bioplynové stanice predikovat produkci plynu.

Foto 3 a 4: Přístroj NIR On Board (vlevo) a řídící jednotka k přístroji NIR On Board (vpravo)

Firmě Dinamica Generale sekunduje firma STROM John Deere s přístrojem **HarvestLab**. Tento přístroj je možné namontovat na řezačku, vybírač siláže nebo nakladač. Může se používat i jako stolní, či přenosný analyzátor.

Foto 5 a 6: HarvestLab na řezačce John Deere (vlevo) a NIR On Board na řezačce Claas (vpravo)

RCI AuroraNir italské společnosti GRAINIT je inovativní NIRS přístroj, používaný profesionály k měření kvality krmiv a potravin. Pracuje ve vlnových délkách 950–1 650 nm. Přístroj je dodáván předem kalibrovaný pro měření kukuřičné siláže, vojtěškové senáže, případně i pro TMR. Poskytuje přesné a rychlé hodnocení posekané píce přímo na poli během sklizně.

Foto 6 a 7: Detail přístroje RCI AuroraNir (vlevo) a práce s ním (vpravo)

Italská firma **ITPhotonics** se specializuje na NIR analyzátory **PoliSPEC NIR,** pracující ve vlnových délkách 900–1700 nm. Spolupracuje především se společností Faresin Industries, která je montuje na krmné vozy. Vyvíjí systém **Precision feed measurement (PFM)**, díky němuž bude možné mít aktuální informace o obsahu živin v TMR. Umožňují to patentované indexy homogenity a řezání, což významně zjednodušuje a zpřesňuje řízení procesu výroby krmných dávek, zpřesňují se časy míchání. Zařízení lze použít na krmném voze i jako přenosnou laboratoř.

Foto 8 a 9: Detail přístroje ITPhotonics (vlevo) a jeho umístění na krmném voze (vpravo)

Kromě výše uvedených přístrojů z Itálie se ve světě již objevují další přístroje, např. izraelská firmy VeriFood LTD dává na trh přístroj SCiO, pracující s vlnovou délkou 740–1070 nm, nebo anglická firma AuNIR/AB Vista, která dává na trh přístroj NIR4, pracující s vlnovou délkou 950–1750 nm (Evangelista a kol., 2021).

2.5. Současný stav řešené problematiky

2.5.1. NIRS ve vědecké literatuře

Současný stav řešené problematiky **je popsán v certifikované metodice** Nerušil a kol. (2016). V této publikaci je uvedeno mnoho citací ze světové literatury v posledních 15 letech. Je v ní podrobně popsán vývoj kalibračních rovnic pro predikci parametrů výživné hodnoty konzervované kukuřičné siláže pomocí NIRS technologie, postup kalibrací, regresní modelování a externí validace. Tuto teoretickou část proto nemusíme znovu rozebírat, a tak se budeme v popisu současné situace soustředit na **příklady citací vybraných vědeckých publikací z posledních let**, ve kterých je řešena aplikace vědeckých poznatků do praxe. Zásadní je přesnost predikce sledovaných hodnot u vybraných pícnin a jejich zpracování a způsoby jejich získávání pomocí různých typů přístrojů. Zde je nutná kalibrace z většího množství vzorků. Tomu se například věnovali Míka a kol. (2003), kteří použili pro predikční rovnice parametrů výživové hodnoty píce, odvozené nejprve výhradně z českých vzorků a následně i náhodně vybraných rakouských vzorků, standardní chyba predikce pak významně poklesla. Potvrdili tak, že pro zvýšení přesnosti lze použít vzorky ze srovnatelné půdní a klimatické oblasti.

2.5.2. Možnosti technologie NIRS

V současné době existuje již velké množství kalibrací na základní ukazatele výživné hodnoty krmiv, obsah sušiny, škrobu, N-látek, ADF, NDF, popela a tuku. Existují i kalibrace přístrojů NIRS pro stravitelnost NDF a organické hmoty. **Stanovit již lze i ukazatele kvality fermentace**: nejčastěji obsah kyseliny mléčné a kyseliny octové, etanolu a amoniakálního dusíku. Kvalita kalibrací NIRS je aktuální problematikou. Mnoho kalibrací je nových a může zahrnovat relativně málo vzorků. Obdobně velkým nedostatkem může být je špatný standard referenčních metod „mokré chemie“ (Kowalski a Kanski, 2019).

Přestože technologie NIRS umožňuje stanovení hlavních parametrů, používaných při hodnocení kvašení siláže, **kvantifikace složitějších parametrů, souvisejících se silážní fermentací je stále prakticky nemožná**. K těmto parametrům bohužel patří, pro zdraví zvířat důležité, obsahy mykotoxinů, specifických alkoholů (metanol, propanol) a esterů (např. etyllaktát) a řada dusíkatých sloučenin (jako jsou aminy, např. putrescin, kadaverin, tyramin a histamin) v krmivech. Některé z nich mohou nepříznivě ovlivnit produktivitu a zdraví zvířat. Technologie NIRS bohužel také neumožňuje stanovení počtu mikrobů, včetně kvasinek a plísní, což může být užitečné při hodnocení kvašení siláže. Technologie NIRS dále není schopna určit např. kvalitu zpracování zrna (Kowalski a Kanski, 2019).

2.5.3. Porovnání technologií NIRS

Ve vědecké literatuře se lze nejčastěji setkat s **porovnáním referenční „mokré chemie“ s měřením na různých NIR přístrojích**. Např. studie Atalay a kol. (2020) si kladla za cíl určit u **30 krmiv**, běžně užívaných ke krmení přežvýkavců, obsah sušiny, dusíkatých látek a škrobu, na základě měření provedených u dvou různých spektrometrů NIR (stolního a přenosného) a referenčních hodnot (REF), stanovených metodou „mokré chemie“ (AOAC, 1990). Ačkoli rozdíly mezi průměrnými hodnotami byly významné, výsledky REF analýz a měření NIRS byly v některých ohledech podobné. Podle korelačních koeficientů, vypočítaných mezi měřením ze stolním NIR a přenosným NIR, došlo **k slabé korelaci v obsahu sušiny, zatímco u dusíkatých látek a obsahu škrobu existovala silná pozitivní korelace** s referenčními hodnotami (r = 0,72 pro přenosný, r = 0,93 pro stolní NIR spektrometr).

V jiné studii Atalay a Kahrıman (2020) porovnávali u dalších **52 krmiv** práci dvou různých spektrometrů NIR (stolního a přenosného) s referenční metodou „mokré chemie“ (REF). Regresní koeficienty (R^2) mezi NIRS a REF byly poměrně nízké (od R^2 = 0,37 po R^2 = 0,50). Nejvyšší podobnost mezi výsledky NIRS a REF byly u vzorků vojtěšky. Berzaghi a kol. (2005) hodnotili 388 kukuřičných siláží. Regresní koeficienty mezi NIRS a REF byly pro sušinu R^2 = 0,87, pro NDF R^2 = 0,88 a pro protein R^2 = 0,76. Mertens a Berzaghi (2009) porovnávali prediktivní schopnosti laboratorního spektrofotometru s přenosným. **Celková chyba u sušiny byla nižší než 2 %.** Vzhledem k tomu, že odchylka u sušiny siláže může být ze dne na den větší než 10 %, dospěli k závěru, že přenosný přístroj umožňoval korigování krmných dávek se značným vylepšením přesnosti podávaného množství krmiva.

Foto 10 a 11: Příprava vzorků k analýzám (vlevo) a separace TMR ve vodní lázni (vpravo)

2.5.4. Skenování porostů bezpilotními prostředky

Další studie jsou zaměřeny na stanovení obsahu sušiny či jiných ukazatelů u pícnin, **sklízených přímo na poli**, s využitím technologie Global Positioning Systému GPS (nejčastěji umístěném na dronu) k zápisu výskytu měřených hodnot na určitém místě skenované plochy pole či louky.

Např. Hart a kol. (2020) hodnotili 18 více druhových travních porostů na šesti farmách ve Švýcarsku s využitím multispektrálních snímků (MSI), získaných bezpilotními prostředky, a porovnávali je s výsledky, získanými přenosným přístrojem NIR (HarvestLab™ 3000). Zjistili, že MSI skenování porostů se lépe hodí pro odhad výnosu a kvality travních porostů s „nízkou biomasou“, tedy pro řízení pastvy, než u travních porostů s „vysokou biomasou“; o výkonu modelu tak bude pravděpodobně spolurozhodovat stav (resp. hustota) porostu. U hustého porostu s vysokým výnosem je metoda schopná analyzovat jen jeho horní patro. Zjistili také, že chyba pro přístroje NIRS pro vzorky v původní sušině byla hlavně systematická, a proto předvídatelná a opravitelná.

Bezpilotní prostředky (UAV) s plně automatickou segmentací plotového pole pro vysoce výkonnou fenotypizaci použili Tang a kol. (2021) **u dvou polí vojtěšky.** Predikční model vysvětlil 50–70 % variace biomasy. Z prvního a druhého pole hodnotili 808 a 1025 grafů. Ke snímkování použili multispektrální kameru, která dokáže zachytit 5 spektrálních pásem pro modrou, zelenou, oranžovou, červenou a NIR s vlnovými délkami 446 nm, 548 nm, 650 nm, 720 nm a 840 nm. Jejich výsledek naznačil, že vysoce výkonnou fenotypizaci lze takto použít ke zlepšení efektivity procesu výběru biomasy v šlechtitelských programech vojtěšky.

Ve své nejnovější publikaci on-line se dos Santos a kol. (2021) zabývali prediktivními **modely biofyzikálních parametrů kukuřice**. Po kalibraci snímače RG–NIR na palubě UAV byly vypočítány tzv. normalizované diferenční vegetační indexy (NDVI) a kumulativní NDVI (cNDVI), které slouží jako nezávislá proměnná v modelech pro odhad parametrů plodin. NDVI, vypočítaný senzorem RG-NIR, umožnil vizualizaci prostorové a časové diferenciace v průběhu růstu plodiny, zejména pokud jde o napadení plevely v oblasti. Toto se ukázalo jako důležitý nástroj k ověření možných problémů při vývoji a ochraně plodin. NDVI byl citlivý na management používaný v plodině, zejména pokud jde o účinky herbicidu a hnojení dusíkem. Z NDVI a terénních dat byly generovány použitelné modely pro predikci biofyzikálních parametrů. Model vyvinutý k odhadu celkové biomasy ukázal pro NDVI a cNDVI statistickou významnost.

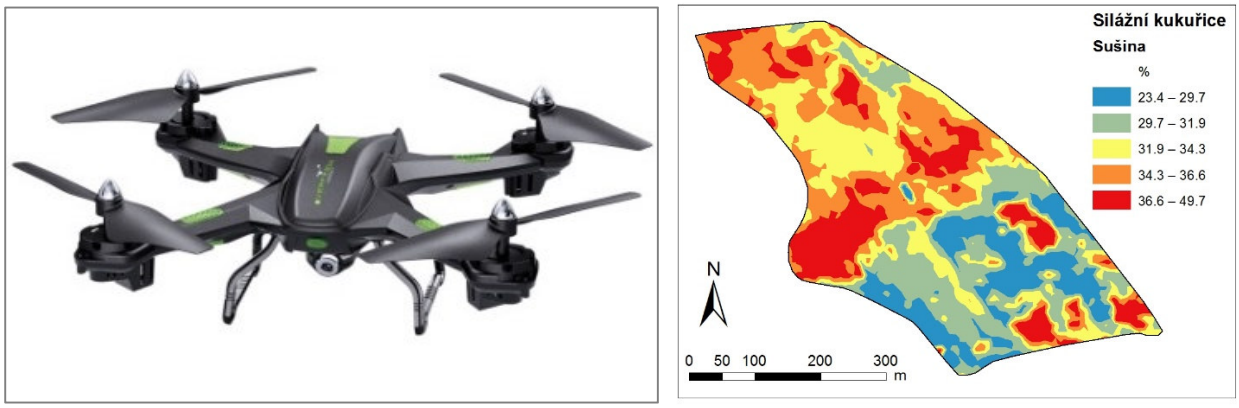


Foto 12 a 13: Dron (vlevo). Zápis výskytu sušiny na skenovaném pozemku (vpravo)

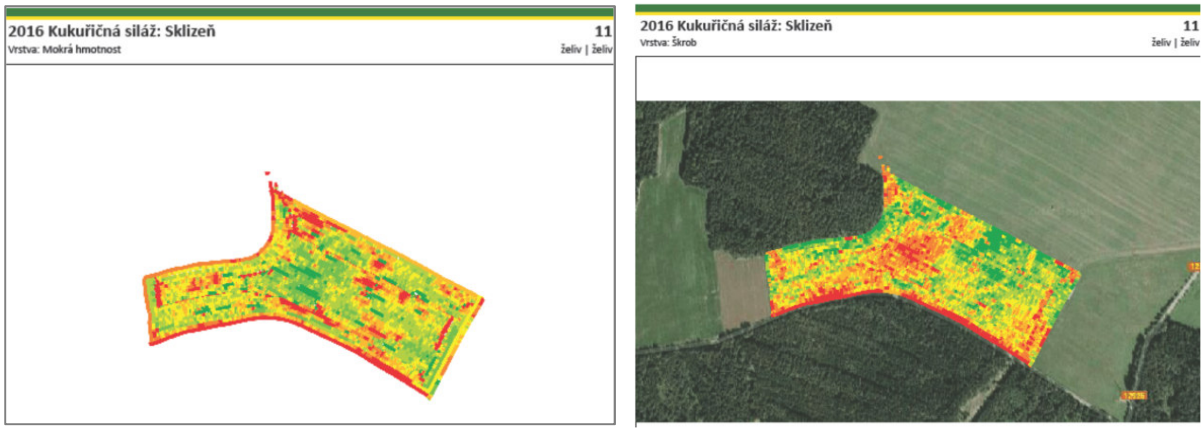


Foto 14 a 15: Zápis výnosové mapy (vlevo). Zápis obsahu škrobu (vpravo)

Pro přesnější predikci optimální doby sklizně zvolili Janoušek a kol. (2021) nové přístupy, **založené na hledání korelací** mezi chemickou analýzou odebraných vzorků kukuřice a snímků získaných multispektrální kamerou při UAV photogrametry. Z pořízených multispektrálních snímků získaných pomocí multispektrální kamery na UAV byly vytvořeny mapy odrazivostí, ze kterých byly dále počítány vegetační indexy. V publikaci je popsána metodologie získávání spektrálních dat, výpočet vegetačních indexů, odběr a laboratorní analýza nutričních hodnot vzorků. Je prezentována statistická analýza dat z nutričních rozborů a z multispektrální snímků. Podrobněji je rozebrán výpočet korelačních koeficientů a vyhodnocení statisticky významných lineárních závislostí mezi vegetačními indexy a nutričními hodnotami. Závěrem jejich studie je tvrzení, že dobu sklizně lze poměrně přesně určit dálkovým snímáním multispektrální kamerou na UAV a využitím prezentovaných rovnic. Lze tak predikovat nejen obsah sušiny, ale i obsah škrobu a dusíkatých látek v rostlinách.

2.5.5. Skenování řezanky při sklizni pícnin

Při sklizni píce, ať již kukuřice, vojtěšky nebo jiné plodiny, řezačkou se s využitím **NIRS sledují parametry řezanky**, především a zatím téměř výhradně, sušiny. Systém palubního terminálu sbírá v nastavených intervalech data ze senzorů stroje. Závisí hlavně na nastavení palubního počítačového systému, který je zodpovědný za sběr informací o pracovních podmínkách stroje na sklizeň píce, standardizované zpracování dat, přenos dat a v reálném čase jejich vyhodnocení. Signály ze senzorů slouží k třídění, analýze, ověření, uchování a poté přes sériový port k systému přenosu dat. Systém má v kabině řezačky vlastní **displej, který umožňuje zobrazit informace v reálném čase** i ve formě grafů a tabulek, aby řidič mohl zkontrolovat pracovní podmínky stroje. Jedinečný inteligentní systém řízení HarvestLab™ 3000 používá firma John Deere. S využitím technologie NIRS lze pro maximalizaci kvality krmiva podle obsahu sušiny sklízené píce **v reálném čase automaticky nastavit délku řezu a aplikaci silážního přípravku**. Pomocí GPS, umělé inteligence a dalších snímacích technologií může systém provádět v reálném čase úsudky o tom, jak, kdy a kde zahájit sklizeň (Han a kol., 2020).

2.5.6. Skenování krmiv v procesu krmení zvířat

Kolísání vlhkosti (sušiny) krmiva (zejména siláže), i na krátkou dobu, může způsobit rozdíly ve složení TMR. Tyto odchylky mohou ovlivnit produkci i zdraví dojnic (subklinické acidózy či zvýšený výskyt distorze slezu). K negativnímu ovlivnění dojivosti a mléčných složek stačí již 3% rozdíl v obsahu sušiny v TMR. **Náhlé změny sušiny TMR** snižují denní příjem krmiva, ovlivňují chutnost a tím i zvyšující se přebírání TMR zvířaty, což **vede ke konzumaci nevyvážené krmné dávky**. Mírné denní odchylky ve složení TMR jsou sice přijatelné, ale když je kolísání v denním příjmu krmiva příliš vysoké, obvykle se to projeví na vysokém kolísání denního nádoje mléka.

Krmná dávka dojnic je většinou formulována odborníkem na výživu na základě sušiny jednotlivých krmiv a poté je připravena a distribuována na základě hmotnosti TMR. To znamená, že **při stejné hmotnosti TMR se příjem živin bude lišit podle obsahu sušiny v jednotlivých krmivech**, což vede k riziku překrmování nebo „nedokrmování“ zvířat, zejména pokud je TMR do značné míry založena na silážích (Sova a kol., 2014).

Aby se zlepšila konzistence TMR, byly navrženy různé strategie, nejnovější je systém založený na **použití NIR analyzátoru**, namontovaném na čelním frézovém vybírači, přímo na vaně nebo nad podávacím pásem krmného vozu. Namontovaný na čelním frézovém vybírači **v reálném čase analyzuje sušinu** z každého komponentu krmné dávky a přizpůsobuje jejich dávkování do krmného vozu podle předepsané hmotnosti sušiny. TMR je tak co nejblíže stanovené hodnotě. Sníží se tím riziko metabolických poruch, což je zásadní aspekt zdraví dojnic především v časné laktaci, tedy její nejkritičtější fázi. Výsledkem pokusů (Piccioli-Cappelli a kol., 2019) bylo potvrzení, že technologie NIRS může být s výhodou použita v systému přesného krmení pro dojnice, přičemž využití technologie NIRS na úrovni farmy je díky přínosům ekonomicky výhodné. Systém umožňoval trvalejší vyrovnaný denní přísun živin, snížení metabolických poruch a vyšší účinnost využití krmných bílkovin. Na farmách, kde byl aktivní přístroj NIR, byla navržena korekce množství siláže, která má být naložena podle skutečného naměřeného obsahu sušiny. Na těchto farmách při použití přístroje NIRS se množství sušiny blížilo cílové (vypočítané) sušině s 6% rozdílem. Na farmách, kde přístroj NIRS nebyl aktivní, se sušina skutečné TMR pohybovala s 12,8% rozdílem k cílové sušině TMR, tedy s více než dvojnásobně vyšší variabilitou.

Mertens a Berzaghi (2009) hodnotili účinky denních výkyvů sušiny siláží a pozorovali, že **snížení sušiny TMR o 8 až 16 % vedlo k průměrnému snížení příjmu o 2 kg sušiny v TMR**, což se projevilo ve snížení produkce mléka. Tyto výsledky jsou velmi inspirativní vzhledem k tomu, že kukuřičná siláž je obvykle hlavní složkou TMR u dojnic.

Kononoff a kol. (2003) zavedli metodiku pro kontrolu velikosti částic v TMR pomocí Penn State Particle Separatoru (PSPS). Ačkoli použití sít bylo velkou pomocí, mohly by se dnes k získání tohoto typu informací využívat rychlejší technologie. Serva a kol. (2016) na konferenci ke spektroskopii NIR v Miláně představili první **přístup k hodnocení fyzikálního složení TMR pomocí NIRS**. Regresní koeficienty (R^2) kalibrací na zbytky na sítech byly přijatelné, pro síto s oky 19 mm bylo $R^2 = 0,39$, s oky 8 mm $R^2 = 0,74$, s oky 4 mm $R^2 = 0, 87$ a pro dno $R^2 = 0,94$ mm. Jejich studie ukazuje, jak přímo a rychle je možné získat informace o fyzikálním složení TMR v krmném míchacím voze. Firma Dinamica Generale ihned začala pracovat na uvedení této informace do praxe a navrhla **systém Visiomix**. Zájem o tento druh stanovení fyzikálního složení TMR je však v praxi prozatím nízký.

Foto 16 a 17: Nir On Board na fréze krmného vozu (vlevo) a na krmném voze (vpravo)

2.5.7. Skenování obsahu škrobu ve výkalech

Použití NIRS ke **zkoumání stravitelnosti krmiv** je relativně nedávné téma. Stravitelnost je důležitým faktorem, ovlivňujícím účinnost krmiva. Je však ovlivňována nejen složením TMR, ale i genetickým a fyziologickým založením zvířete a některými faktory prostředí. Úspěšnost použití NIRS k předpovědi stravitelnosti krmiv je založena na principu, že výkaly obsahují dobré spektrální informace, které umožňují popsat využití použitých krmiv, přestože jsou ovlivněny procesem trávení.

Zlepšení stravitelnosti škrobu a ztrát z důvodu nestráveného zrna je v poslední době zásadním tématem z důvodu vysokých nákladů na koncentráty. Z tohoto důvodu se proto zvýšil zájem o potenciální schopnost NIRS předpovídat obsah škrobu ve výkalech. **Koncentrace fekálního škrobu ve výkalech je totiž zároveň vynikajícím indikátorem stravitelnosti škrobu** v celém zažívacím traktu u skotu. Fredin a kol. (2014) uvádějí, že koncentrace fekálního škrobu a stravitelnost celkového škrobu u dojnic byla v jejich pokusech předpovězena s vysokými regresními koeficienty (R^2 >0,83). Problém byl jen s tím, že když obsah fekálního škrobu byl vyšší než 5 %, hodnocení NIRS bylo sníženo. Obsah škrobu ve výkalech 5 % je přesně ta hranice, kterou na universitě ve Wisconsinu určili jako **limitující pro hodnocení struktury krmiva** s využitím Corn Silage Procesing Score (CSPS) po protřepání krmiva ve vertikální třepačce s několika síty. Jestliže je narušení zrna nízké, sítem s oky 4,75 mm projde méně než 50 % částic krmiva (tab. 1 a 2).

Tab. 1: Hodnocení obsahu škrobu ve výkalech stanovené chemicky

Obsah škrobu ve výkalech	Hodnocení
≤ 3 %	optimální využití
3 až 5 %	zvýšený obsah
nad 5 %	vysoký obsah

Tab. 2: Doporučené limity podílu narušeného zrna v kukuřičných silážích metodou CSPS

Sítem s oky 4,75 mm projde částic:	Hodnocení narušení zrn
více než 70 %	optimální
50 až 70 %	normální
méně než 50 %	nízký

2.5.8. On-line měření kvality mléka v dojírně

U mléka byla analytická spektroskopie **zpočátku používána ve střední infračervené oblasti (MIRS), nyní se již rozšířilo i použití NIRS.** U technologie NIRS je difúze světla větší než u MIRS; proto jsou spektra NIR mnohem více ovlivněna faktory, které interagují s difúzí světla, jako je přítomnost vody. **Složitost hodnocení kvality syrového mléka spočívá v heterogenitě vzorku a vysokém obsahu vody**. Zatím se pro měření kvality mléka používá hlavně metoda MIRS, se kterou lze změřit až 500 vzorků za hodinu. Je to však metoda asi dvacetkrát dražší než metoda NIRS, i když její analytický potenciál je přibližně jen asi 200 měření za den. Metoda NIRS se stále častěji používá proto, že je vhodnější pro použití mimo laboratoř, a tedy přímo na mléčné farmě (Evangelista a kol., 2021).

Mnoho studií ukazuje, že NIRS poskytuje přesné výsledky v **predikci mnoha parametrů mléka**, jako jsou tuk, bílkoviny, kasein, močovina, laktóza, somatické buňky a mastné kyseliny. Znalost složek mléka poskytuje užitečnou zpětnou vazbu k monitorování výživy zvířat. Mléčný tuk a proteiny byly přímo spojeny s příjmem energie a fyzikální strukturou a hrubou vlákninou; dále je poměr mezi tukem a bílkovinami obecně citlivějším indikátorem metabolického stavu zvířat než tuk nebo bílkoviny, používané samostatně. Poměr tuk-protein mezi 1,2 až 1,4 je optimální a znamená pozitivní energetickou bilanci. Poměr tuk-protein větší než 1,4 byl popsán jako index negativní energetické bilance nebo subklinické ketózy. Znalost obsahu bílkovin a močoviny poskytuje informace o rovnováze mezi dodávkou energie a koncentrací bílkovin v krmné dávce.

Močovina se jeví jako významný indikátor, sloužící ke kontrole výživy, ve skutečnosti ji pravidelně používají odborníci na výživu ke sledování a optimalizaci výživy zvířat. Znalost chemického složení mléka v reálném čase umožňuje **na úrovni stáda nebo u jednotlivých zvířat sledovat nejen** technologickou kvalitu mléka, ale i **zdravotní a fyziologický stav** zvířat (např. měřením ketolátek. **V oblasti bezpečnosti potravin** je velký zájem o použití techniky NIRS k identifikaci podvodů a/nebo znečišťování, jako nadměrné přidání vody nebo syrovátky do mléka, podvodnému přidání melaninu, močoviny a glukózy (Evangelista a kol., 2021).

2.6. Vlastní pokusy, zaměřené na metody NIRS pro vzorky v původní sušině

V roce 2018 jsme získali projekt MZe QK1810137 s názvem „Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu". Jeho ukončení je plánováno v roce 2022. Koordinátorem je RNDr. Jan Nedělník, Ph.D., v současné době ředitel Výzkumného ústavu pícninářského v Troubsku a zároveň předseda předsednictva České akademie zemědělských věd. Na řešení se kromě vědeckých pracovníků VÚŽV, v.v.i. Praha Uhříněves podílí i Ing. Jambor, CSc. z firmy NutriVet, s.r.o. se sídlem v Pohořelicích. Našim hlavním cílem výzkumu je porovnání přesnosti spektrometrických přístrojů NIR ve srovnání s chemickým rozborem. Ke statistickému vyhodnocení byl použit program STATISTICA 10.1 (StatSoft, Inc. 2011, Tulsa, OK, USA), ANOVA, Tukey's HSD test pro signifikanci $\alpha = 0.05$.

2.6.1. Pokusy s řezankou vojtěšky

V letech 2018 až 2020 byly u vojtěšky seté odebírány ve čtyřech sečích vzorky čerstvé (bezprostředně před sečí) a zavadlé píce ve dvou lokalitách a to: v Troubsku odrůda Holyna a v Hrušovanech nad Jevišovkou odrůda Morava. Souhrnné výsledky pro jednotlivé roky bez ohledu na lokalitu a pořadí seče (i když i tyto ukazatele byly také vyhodnocovány v dílčích zprávách) jsou uvedeny v tab. 3 pro zelený porost a v tab. 4 pro řezanku z vojtěšky po zavadání 24 hodin na poli.

Tab. 3: Porovnání výsledků AgriNIR a chemických analýz u zeleného porostu vojtěšky

Ukazatel	2018		2019		2020	
Jednotky	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie
Sušina %	19,8	21,1	20,1^{a}	26,5^{b}	19,8	22,2
N-látky % v suš.	39,9^{b}	20,9^{a}	35,3^{b}	20,5^{a}	31,8^{b}	22,3^{a}
NDF % v suš.	20,7^{a}	42,5^{b}	27,5^{a}	44,6^{b}	35,2^{a}	42,1^{b}
ADF % v suš.	25,1^{a}	34,1^{b}	24,4^{a}	34,2^{b}	29,4	31,6
Popel. % v suš.	10,6	10,4	9,5	10,3	12,3^{b}	10,3^{a}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05) v daném roce

Tab. 4: Porovnání výsledků AgriNIR a chemických analýz u zavadlého porostu vojtěšky

Ukazatel	2018		2019		2020	
Jednotky	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie
Sušina %	33,2	35,9	31,7	35,5	34,1	36,0
N-látky % v suš.	$24,3^{b}$	$20,7^{a}$	$26,0^{b}$	$21,8^{a}$	$22,6^{b}$	$21,0^{a}$
NDF % v suš.	$34,7^{a}$	$38,3^{b}$	$31,3^{a}$	$42,5^{b}$	42,4	44,6
ADF % v suš.	$28,4^{a}$	$31,2^{b}$	$27,5^{a}$	$31,7^{b}$	33,9	33,7
Popel. % v suš.	$11,8^{b}$	$10,3^{a}$	10,5	10,2	10,7	10,9

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05) v daném roce

U zeleného porostu byly při chemické analýze ve srovnání s AgriNIR zjištěny v roce 2019 významně vyšší hodnoty sušiny a v roce 2020 nižší hodnoty popelovin, ve všech třech letech pak nižší hodnoty N-látek a vyšší hodnoty NDF a ADF. U zavadlého porostu byly při chemické analýze ve srovnání s AgriNIR zjištěny ve všech letech významně nižší hodnoty N-látek, a v letech 2018 a 2019 významně vyšší hodnoty NDF a ADF. Na základě těchto výsledků byly upraveny kalibrační rovnice pro N-látky a NDF pro zelenou vojtěšku a N-látky i pro zavadlou vojtěšku.

2.6.2. Pokusy s řezankou kukuřice

Pokusy s hybridy kukuřice proběhl ve VÚŽV, v.v.i. Uhříněves na Účelovém hospodářství v Netlukách a trvaly 3 roky (2018 až 2020). Agrotechnika byla všechny 3 roky stejná. Na podzim byl pokusný pozemek (předplodina pšenice ozimá) vyhnojen chlévskou mrvou (40 t/ha) a byla provedena orba. Na jaře proběhla předseťová příprava (kompaktor), hnojení močovinou (2 q/ha) a hnojení tzv. pod patu při setí (Amofos 0,9 q/ha), preemergentní ošetření herbicidy (Adengo 0,44 l/ha), postemergentní ošetření herbicidy (MaisTer power 1,0 l/ha), ošetření insekticidem proti zavíječi kukuřičnému (Coragen 20 SC 0,1 l/ha).

Hybridy kukuřice byly zasety v polovině dubna přesným šestiřádkovým secím strojem Monosem. Byly testovány 4 hybridy DEKALB (tab. 5). Všechny 4 testované hybridy patří do skupiny raných hybridů (2 lze označit i jako středně rané) s typem zrna mezityp (2 inklinují k typu flint). Tvrdý (sklovitý) typ endospermu „flint“ potřebuje delší dobu na změknutí (bobtnání). Má tedy nižší degradovatelnost škrobu v bachoru, zbývající škrob se tráví ve střevě. U testovaných hybridů je jejich FAO (číslo, které vyjadřuje ranost) odstupňované od 240 do 270. Do pokusu byly hybridy vybrány na základě konzultace s osiváři, kteří hybridy firmy DEKALB prodávají, a tudíž mají zkušenosti s jejich uplatněním. Výsledky jsou uvedeny v tab. 5–7.

Tab. 5: Rozdíly mezi hybridy podle způsobu stanovení v letech 2018–2020

Hybrid	DKC 3450		DKC 3568		DKC 3575		DKC 3872	
Ukazatel	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie
Sušina (%)	$33,3^{ab}$	$33,2^{ab}$	$33,5^{ab}$	$35,1^{ab}$	$34,0^{ab}$	$34,2^{ab}$	$35,5^{b}$	$33,1^{a}$
Škrob (% s)	$36,5^{b}$	$29,9^{a}$	$35,9^{b}$	$31,0^{a}$	$36,9^{b}$	$32,4^{a}$	$37,2^{b}$	$30,6^{a}$
NDF (% s)	$37,8^{a}$	$43,5^{b}$	$38,7^{a}$	$42,9^{b}$	$36,6^{a}$	$42,7^{b}$	$36,8^{a}$	$44,9^{b}$
N-látky (% s)	$7,1^{a}$	$8,2^{c}$	$7,0^{a}$	$7,8^{b}$	$7,0^{a}$	$7,9^{bc}$	$7,1^{a}$	$7,4^{ab}$
Popel (% s)	$3,5^{a}$	$3,7^{a}$	$3,8^{a}$	$3,8^{ab}$	$4,1^{bc}$	$4,2^{c}$	$4,3^{c}$	$4,3^{c}$

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 6: Rozdíly v obsahu živin u řezanky kukuřice podle druhu stanovení

Ukazatel (jednotky)	AgriNIR	chemie	2018	2019	2020
Sušina (%)	$34,9^{a}$	$36,4^{b}$	$37,1^{b}$	$35,1^{a}$	$34,9^{a}$
Škrob (% sušiny)	$35,6^{b}$	$29,1^{a}$	$30,3^{a}$	$32,9^{b}$	$33,8^{b}$
NDF (% sušiny)	$39,0^{a}$	$45,7^{b}$	$44,3^{c}$	$43,1^{b}$	$39,6^{a}$
N-látky (% sušiny)	$6,70^{a}$	$8,36^{b}$	$7,66^{b}$	$7,74^{b}$	$7,19^{a}$
Popel (% sušiny)	$3,90^{b}$	$3,45^{a}$	$3,61^{a}$	$3,68^{ab}$	$3,74^{b}$

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 7: Rozdíly hodnot podle způsobu stanovení v jednotlivých letech

Rok	2018		2019		2020	
Ukazatel	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie	AgriNIR	chemie
Sušina (%)	35,7^{ab}	38,5^{c}	33,8^{a}	36,4^{b}	35,4^{ab}	34,4^{a}
Škrob (% s)	35,4^{de}	25,3^{a}	33,9^{cd}	31,8^{bc}	37,4^{e}	30,1^{b}
NDF (% s)	40,5^{b}	48,1^{d}	41,3^{b}	44,9^{c}	35,2^{a}	44,0^{c}
N-látky (% s)	6,07^{a}	9,25^{d}	7,01^{b}	8,47^{c}	7,02^{b}	7,36^{b}
Popel (% s)	3,53^{bc}	3,69^{c}	3,91^{d}	3,45^{b}	4,26^{e}	3,22^{a}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Mezi analýzami chemickými a měřením přístroji AgriNIR byly zjištěny rozdíly u všech sledovaných ukazatelů (tab. 7). V roce 2018 byla nejvyšší sušina a NDF, a zároveň nejnižší obsah škrobu a popelovin. Rozdíly mezi hybridy (tab. 5) podle způsobu měření byly u sušiny u hybridu DKC 3872. Zatímco obsah škrobu v sušině byl u všech hybridů u chemické analýzy menší než u měření NIRS, tak u obsahu NDF a N-látek tomu bylo obráceně. Hybridy DKC 3540 a DKC 3568 měly méně popelovin než hybridy DKC 3575 a DKC 3872. Rozdíly mezi hodnotami z přístroje AgriNIR a chemickými analýzami v jednotlivých letech (tab. 7) byly u všech ukazatelů. Metodicky obdobný pokus s podobnými výsledky proběhl na hospodářství VÚP v Troubsku s tím rozdílem, že hybridy byly ve VÚŽV v Praze sklízeny s vyšší sušinou než ve VÚP Troubsko, a měly vyšší obsah NDF a N-látek.

Z výše uvedených výsledků v tab. 5 až 7 vyplývá, že u kukuřice má vliv nejen způsob stanovení (AgriNIR vs. chemie), ale ve velké míře také sledovaný hybrid, lokalita i klimatické podmínky v daném roce.

2.6.3. Pokusy se silážemi

Spektrometry NIRS pro vzorky v původní sušině se stále častěji používají také v zemědělské praxi při hodnocení hotových siláží. Chemická laboratoř společnosti NutriVet, s.r.o. disponuje přístrojem AgriNIR (A1), který používají také zástupci dalších tří společností, OSEVA, a.s. (A2), VVS, s.r.o. Verměřovice (A3) a NOACK ČR, spol. s r.o. (A4). Od těchto přístrojů se mírně liší přístroj HarvestLab (HL) společnosti STROM Praha a.s., prodávající mimo jiné i sklízecí stroje značky John Deere.

Za účelem srovnání práce uvedených zařízení byli zástupci výše uvedených společností v roce 2020 pozváni se svými přístroji do Pohořelic, aby porovnali výsledky u několika kukuřičných (n = 12) a vojtěškových (n = 5) silážích. Cílem bylo vzájemné srovnání práce těchto přístrojů, jakož i porovnání jejich práce s chemickou analýzou a s naměřenými hodnotami spektrometrickým přístrojem Foss NIRSystems 6500 instrument (Company NIRSystems, Inc., Silver Spring, USA). Přístroj Foss NIR měří výživné parametry ze sušiny krmiv. Měření přístrojem Foss NIR probíhalo ve výzkumné stanici Jevíčko, odštěpného pracoviště VÚRV, v.v.i. Praha Ruzyně. V tab. 8 nejsou uvedeny popeloviny, protože přístroj HarvestLAB pro ně ještě nebyl kalibrován.

Tab. 8: Rozdíly mezi chemickým rozborem kukuřičných siláží, stanovením živin přístroji AgriNIR, HarvestLab a přístrojem Foss NIR Jevíčko

Index	Chemie	AgriNIR	HarvestLab	Foss NIR
Sušina (%)	34,7	35,5	36,1	38,3
Škrob (% s)	30,1^{a}	29,4^{a}	36,2^{b}	30,9^{ab}
N-látky (% s)	8,6^{c}	8,5^{c}	7,5^{a}	8,1^{b}
ADF (% s)	23,3	23,8	25,0	23,0
NDF (% s)	44,9	45,3	41,8	42,2

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 9: Rozdíly mezi výsledky měření AgriNIR přístroji (A1 až A4) u kukuřičných siláží

Index	A1	A2	A3	A4
Sušina (%)	35,5	35,5	36,6	35,3
Škrob (% s)	29,4^{ab}	27,2^{a}	26,8^{a}	33,6^{b}
N-látky (% s)	8,49^{b}	8,88^{b}	8,49^{b}	7,97^{a}
ADF (% s)	23,8^{ab}	22,6^{a}	26,3^{b}	23,1^{a}
NDF (% s)	45,3^{ab}	44,4^{ab}	51,6^{b}	40,2^{a}
Popel (% s)	4,43^{a}	4,58^{ab}	4,76^{b}	4,45^{a}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 10: Rozdíly mezi výsledky měření AgriNIR přístroji u vojtěškových siláží

Index	Chemie	A1	A2	A3	A4
Sušina (%)	37,9	36,3	38,5	38,3	39,5
N-látky (% s)	20,4^{ab}	17,4^{a}	23,7^{b}	17,7^{a}	21,1^{b}
ADF (% s)	35,4^{b}	36,7^{b}	26,0^{a}	33,2^{ab}	30,7^{ab}
NDF (% s)	45,7^{b}	44,8^{b}	34,4^{a}	46,6^{b}	38,1^{ab}
Popel (% s)	12,0^{ab}	10,4^{a}	12,0^{ab}	10,7^{a}	13,4^{b}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Nejlepší výsledky (tab. 8) byly získány u sušiny, významné rozdíly nebyly naměřeny ani mezi chemickou analýzou, stanovením hodnot na přístroji Foss NIR (u sušiny siláže), ani mezi jednotlivými přístroji systému měření NIRS u čerstvé siláže. Mezi chemickou analýzou a měřením na přístroji Foss NIR nebyly rozdíly ani u dalších sledovaných ukazatelů. Přístrojem HarvesLab byly naměřeny vyšší hodnoty u škrobu a nižší u N-látek. Rozdíly mezi čtyřmi přístroji AgriNIR (tab. 9) byly významné pouze u škrobu (přístroj č. 4 naměřil vyšší hodnoty), u N-látek (přístroj č. 4 naměřil nižší hodnoty), ADF, NDF a popelovin (přístroj firmy č. 3 naměřil vyšší hodnoty).

Porovnání mezi chemickou analýzou a měřením na přístrojích AgriNIR proběhlo také u vojtěškových siláží, kterých ale bylo pouze 5. Oproti chemické analýze byly naměřeny nižší hodnoty u N-látek s přístroji AgriNIR firmy č. 1 a č. 3, u ADF a NDF u přístroje č. 2.

V roce 2021 byl pokus opakován u siláží s několika rozdíly: (a) měření probíhalo u 21 kukuřičných siláží, (b) nedostavil se s přístrojem AgriNIR (A4) zástupce firmy NOACK ČR, spol. s r.o., (c) svoje přístroje X-NIR (X1 a X2) přinesli dva zástupci firmy Chr. Hansen, (d) přístroje X-NIR nebyly kalibrovány na N-látky a popeloviny, (e) přístroj HarvestLab byl již kalibrován i na popeloviny. Výsledky jsou uvedeny v tab. č. 11 až 13.

Chemické analýzy a měření u sušiny kukuřičné siláže přístrojem Foss NIR Jevíčko se shodují v N-látkách a popelovinách. U ostatních hodnot nejsou významně rozdílné (tab. 11 a 12). Přístroje NIRS pro vzorky v původní sušině, které měří hodnoty u nativních siláží, měly hodnoty sušiny nejnižší, a naopak hodnoty N-látek a popelovin nejvyšší (tab. 12). Výsledky měření AgriNIR přístroji (tab. 13) ukázaly na nutnost sjednotit kalibraci. Hodnoty, naměřené jedním přístrojem, byly vždy statisticky rozdílné od dalších dvou přístrojů.

Tab. 11: Rozdíly mezi chemickým rozborem kukuřičných siláží, stanovením NIRS přístroji AgriNIR (A1, A2, A3), HarvestLab (HL), X-NIR (X1, X2) a přístrojem Foss NIR Jevíčko

Index	Chemie	A1	A2	A3	HL	X1	X2	Foss NIR
Sušina (%)	33,2^{bcd}	31,4^{b}	34,3^{cd}	31,9^{bc}	27,7^{a}	33,9^{bcd}	32,3^{bc}	35,3^{d}
Škrob (% s)	30,9^{bc}	29,7^{ab}	27,5^{a}	31,0^{bc}	32,3^{c}	31,5^{bc}	32,3^{c}	31,1^{bc}
N-látky (% s)	7,51^{a}	9,09^{c}	8,70^{b}	8,89^{bc}	8,69^{b}	N	N	7,66^{a}
ADF (% s)	23,4^{a}	24,2^{ab}	22,3^{ab}	24,6^{ab}	24,8^{ab}	23,7^{b}	23,4^{b}	24,1^{b}
NDF (% s)	43,9^{bc}	42,2^{ab}	43,8^{bc}	45,8^{c}	40,8^{a}	41,6^{ab}	41,7^{ab}	44,0^{bc}
Popel (% s)	3,50^{a}	4,04^{b}	4,43^{b}	4,48^{b}	5,70^{c}	N	N	3,46^{a}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 12: Rozdíly mezi chemickými analýzami s průměrnými hodnotami měření přístroji NIRS u vzorků v původní sušině a Foss NIR Jevíčko u suchých vzorků

Index	Chemie	NIR z původní sušiny	Foss NIR
Sušina (%)	33,2^{ab}	31,9^{a}	35,3^{b}
Škrob (% s)	30,9	30,7	31,1
N-látky (% s)	7,51^{a}	8,84^{b}	7,66^{a}
ADF (% s)	23,4	24,0	24,1
NDF (% s)	43,9	42,7	44,0
Popel (% s)	3,50^{a}	4,62^{b}	3,46^{a}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 13: Rozdíly mezi výsledky měření AgriNIR přístroji (A1, A2, A3) u kukuřičných siláží

Index	A1	A2	A3
Sušina (%)	31,4^{a}	34,3^{b}	31,9^{a}
Škrob (% s)	29,7^{b}	27,5^{a}	31,0^{b}
N-látky (% s)	9,09^{c}	8,70^{a}	8,89^{b}
ADF (% s)	24,2^{b}	22,3^{a}	24,6^{b}
NDF (% s)	42,2^{a}	43,8^{a}	45,8^{b}
Popel (% s)	4,04^{a}	4,43^{b}	4,48^{b}

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

2.6.4. Pokusy s výkaly a pH v bachoru

Pokusy s výkaly a pH v bachoru jsou charakteru pilotní studie s cílem zjistit především variabilitu hodnot a jak se vzájemně ovlivňují jednak v čase a také složením TMR.

První pokus byl zaměřen na vliv změny ve složení TMR z pohledu fyzikální struktury (fyzikálně efektivní vlákniny) a vliv nahrazení fyzikální struktury krmiva umělým předmětem (třemi RF kartáči) na vybrané ukazatele v bachoru a ve výkalech. Pokus proběhl na účelovém hospodářství VÚŽV v.v.i. v Netlukách.

K podrobnějšímu sledování bylo v každé skupině vybráno 8 vysokoprodukčních dojnic holštýnského plemene. V přípravném období byly dojnicím ve skupině pokusné (RF) perorálně aplikovány 3 kusy RF (umělohmotné kartáče, patent EP0609045A2) za účelem stimulace bachorových kontrakcí. Dojnice v kontrolní skupině (K) v bachoru RF neměly. V každém období (O1, O2, O3) byla jiná TMR z pohledu fyzikální struktury. V období O1 byla TMR s nejnižší fyzikálně efektivní vlákninou, v každém dalším období byla vyšší.

Výsledky jsou uvedeny v tab. 14 a 15. Obsah škrobu ve výkalech se s dobou pokusu snižoval, ale nebylo to jen vlivem RF bolusů v bachoru. Hodnoty pH ve výkalech byly vždy nižší než v bachoru. Hodnoty pH ve výkalech i v bachoru byly vyšší u dojnic, které měly v bachoru RF kartáče. Rozdíl ale nebyl významný. Rozdíly mezi skupinami nebyly významné ani při hodnocení ukazatelů v každé periodě zvlášť. Obsah škrobu ve výkalech v prvním třítýdenním období pokusu byl vyšší než 5 %, což je podle Fredina a kol. (2014) již zvýšený obsah, a proto je nutné lépe seřídit drtič zrna (corncracker) na řezačce.

Tab. 14: Hodnoty v bachoru a ve výkalech dojnic podle období (O1 až O3) a vlivu aplikace RF bolusů do bachoru (RF = pokusná skupina s RF kartáči, K = kontrolní skupina bez RF)

	Období			Skupiny	
Ukazatel	O1	O2	O3	RF	K
pH ve výkalech	6,32	6,57	6,43	6,50	6,38
Sušina (%)	17,3	16,4	17,6	17,0	17,2
Škrob (% s)	5,18^{b}	4,45^{ab}	3,37^{a}	4,02	4,64
pH v bachoru	5,75	5,81	5,84	5,84	5,75

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 15: Hodnoty v bachoru a ve výkalech podle období (O) a zároveň i skupin (RF a K)

	O1		O2		O3	
Ukazatel	RF	K	RF	K	RF	K
pH ve výkalech	6,30	6,35	6,66	6,48	6,53	6,32
Sušina (%)	16,9	17,7	16,4	16,4	17,7	17,5
Škrob (% s)	5,39	4,97	3,75	5,15	2,91	3,82
pH v bachoru	5,75	5,76	5,83	5,78	5,95	5,72

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Druhý pokus byl zaměřen na vliv přídavku pufru do TMR na vybrané ukazatele v bachoru a ve výkalech. Pokus proběhl na účelovém hospodářství VÚŽV v.v.i. v Netlukách. Vysokoprodukční dojnice holštýnského plemene byly rozděleny na 2 stejné skupiny po 8 kusech, u kterých byly jednou za 3 týdny odebrány výkaly a bachorová tekutina. Period (období) bylo celkem 5. V každé následující periodě došlo k výměně TMR. To znamená, že v první periodě (O1) dostávaly dojnice ve skupině A kontrolní TMR a ve skupině B pokusnou TMR. V každé další periodě (O2 až O5) tomu bylo opačně. TMR byla po celou dobu pokusu stejná v zastoupení krmiv, rozdíly byly pouze v přídavku pufru: ke kontrolní TMR byl přidán hydrogenuhličitan sodný ($NaHCO_3$), k pokusné TMR byl v prvních dvou periodách jako pufr použit oxid hořečnatý (MgO) a v dalších třech periodách přípravek DeBaas (sypký premix na bázi vápenatých mořských korálů *Lithotamium calcareum* a prášku z Yucca Schidigery). V bachorové tekutině bylo stanoveno mimo jiné také pH, ve výkalech bylo stanoveno pH, sušina a obsah škrobu.

Tab. 16: Hodnoty v bachoru a ve výkalech podle termínu (O) a náhrady za $NaHCO_3$ do TMR

	Pokusné TMR s MgO pufrem		Pokusné TMR s DeBaas		
Ukazatel	O1	O2	O3	O4	O5
pH ve výkalech	$6,48^{a}$	$6,78^{b}$	$6,63^{ab}$	$6,59^{ab}$	$6,63^{ab}$
Sušina (%)	14,2	14,6	14,2	14,6	14,5
Škrob (% s)	3,52	3,53	3,58	3,65	3,62
pH v bachoru	$6,00^{a}$	$5,98^{a}$	$6,26^{ab}$	$6,36^{b}$	$6,36^{b}$

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 17: Hodnoty v bachoru a ve výkalech podle skupin dojnic a TMR

	Skupina		TMR	
Ukazatel	A	B	kontrolní	pokusné
pH ve výkalech	6,61	6,53	6,60	6,53
Sušina (%)	$13,6^{a}$	$15,2^{b}$	$13,5^{a}$	$15,2^{b}$
Škrob (% s)	3,56	3,56	3,52	3,60
pH v bachoru	6,14	6,10	6,15	6,09

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 18: Hodnoty v bachoru a ve výkalech ve skupinách

	Skupina A		Skupina B	
Ukazatel	TMR kontrolní	TMR pokusné	TMR kontrolní	TMR pokusné
pH ve výkalech	$6,56^{ab}$	$6,67^{b}$	$6,65^{b}$	$6,40^{a}$
Sušina (%)	$12,6^{a}$	$14,5^{b}$	$14,5^{b}$	$15,8^{b}$
Škrob (% s)	3,47	3,56	3,57	3,64
pH v bachoru	6,05	6,23	6,25	5,95

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Výsledky jsou uvedeny v tab. 16 až 18. Hodnoty pH v bachoru se s postupujícím termínem odběru (po 3 týdnech) neměnily. Hodnoty pH výkalů byly nejvyšší v druhé periodě pokusu s pufrem (O2). Obsahy sušiny a škrobu ve výkalech se s dobou pokusu neměnily (neměnilo se totiž ani TMR, změny byly pouze v použití pufrů). Mezi skupinami a zároveň i mezi TMR byly rozdíly u sušiny výkalů. Ve skupině A měly dojnice, krmené pokusnými TMR, výkaly s nižším obsahem sušiny než s kontrolní TMR. Ve skupině B měly dojnice krmené pokusnými TMR nižší pH

než s kontrolní TMR. Hodnoty pH ve výkalech byly vždy vyšší než hodnoty pH v bachoru. Obsah škrobu ve výkalech, který se pohyboval mezi 3 až 5 %, což je podle Fredina a kol. (2014) již zvýšený obsah (ne však vysoký).

2.6.5. Pokusy s on-line kontrolou obsahu tuku a bílkovin v mléce

I pokusy s on-line kontrolou kvality mléka měly charakter pilotní studie s cílem zjistit především variabilitu hodnot a jejich vzájemné ovlivňování. Novým prvkem studie bylo porovnání výsledků, získaných spektroskopií s výsledky chemické analýzy.

Během výše uvedených pokusů v kapitole 2.6.4. s účinky RF a pufrů v TMR na vybrané ukazatele v bachoru a ve výkalech, byly sledovány i ukazatele kvality mléka spektrometricky on-line na dojírně pomocí senzoru AfiLab, který automaticky zaznamenává dvakrát denně měřené hodnoty kvality mléka. Jedná se o integrovanou analýzu systému, který slouží k včasnému odhalení zdravotních problémů a výživových deficitů, lepší kontrole kvality mléka a zlepšení celého dojicího postupu pro přesné dojení. Dojnicím byly také odebrány každých 21 dnů vzorky mléka pro přesnější analýzy v chemické laboratoři.

Jako příklad je uvedeno měření tuku a bílkovin v mléce v pokuse s přípravkem DeBaas v TMR (P), kontrolní TMR obsahovala $NaHCO_3$ (K). Porovnávali jsme výsledky z chemické analýzy mléka z posledního dne periody s výsledky získanými zařízením AfiLab vždy za celou periodu 21 dnů, poslední týden, poslední den.

Výsledky jsou uvedeny v tab. 19 až 21. Mezi skupinami ani mezi TMR nebyly statisticky významné rozdíly ani u tuku, ani u bílkovin v mléce. V prvním třítýdenním období (O1) byly hodnoty tuku i bílkovin v mléce nejnižší, v posledním období (O3) nejvyšší. U tuku i bílkovin v mléce byly zařízením AfiLab naměřeny minimální rozdíly mezi hodnotami za celou periodu, za poslední týden i za poslední den. To ukazuje na stabilitu krmných dávek a jejich odezvy na kvalitu mléka. Významný rozdíl byl však mezi hodnotami ze zařízení AfiLab ve srovnání s hodnotami z chemických rozborů, které byly jak u tuku, tak u bílkovin vyšší. Z uvedeného vyplývá, že měření pomocí zařízení AfiLab je významné v tom, že ukazuje na hodnoty, z nichž lze u jednotlivých dojnic (případně u celé skupiny dojnic) v reálném čase učinit patřičná opatření pro zlepšení zjištěného stavu. Chemickou analýzou se sice získají přesné absolutní hodnoty, ale pokud jsou známy např. jednou za 21 dnů, může pozdní změna krmné dávky nebo pozdní veterinární zákrok znamenat velkou ztrátu v užitkovosti, kvalitě mléka nebo ve zdravotním stavu zvířat. Záznamy ze senzoru AfiLab ve srovnání s chemickou analýzou sice neposkytují absolutní hodnoty, ale lze je účinně využít k včasnému odhalení změn v kvalitě mléka jednotlivých dojnic i celých jejich skupin.

Tab. 19: Rozdíly v obsahu tuku a bílkovin v mléce podle skupiny dojnic (A, B) a TMR

	Skupiny		TMR	
Ukazatel	A	B	kontrolní	pokusné
Tuk %	3,69	3,74	3,71	3,71
Bílkoviny %	3,18	3,17	3,17	3,18

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 20: Rozdíly v obsahu tuku a bílkovin v mléce podle období (O1, O2, O3, každé 21 dnů)

Ukazatel	O1	O2	O3
Tuk %	$3,57^{a}$	$3,76^{b}$	$3,81^{b}$
Bílkoviny %	$3,14^{a}$	$3,19^{ab}$	$3,20^{b}$

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

Tab. 21: Rozdíly v obsahu tuku a bílkovin v mléce podle doby a způsobu odběru vzorku

Ukazatel	Průměr za 3 týdny	Poslední týden	Poslední den	Chemie
Tuk %	$3,56^{a}$	$3,57^{a}$	$3,61^{a}$	$4,11^{b}$
Bílkoviny %	$3,03^{a}$	$3,05^{a}$	$3,04^{a}$	$3,58^{b}$

Rozdílná písmena v indexu čísel v řádcích značí významný rozdíl (P<0,05)

2.7. Závěry

Z našeho výzkumu a po studiu odborné související literatury lze učinit následující závěry:

- technologii NIRS pro vzorky v původní sušině doporučujeme používat především pro poznání variability
- technologií NIRS pro vzorky v původní sušině lze analyzovat **jen ta krmiva, pro která je vytvořena kalibrační rovnice**,
- **kalibrační rovnice je nutné aktualizovat**, především ty, u kterých byly zjištěny významné rozdíly oproti chemické analýze,
- technologie NIRS pro vzorky v původní sušině se sice může „zatím" i významně lišit od referenčních vzorků „mokré chemie", **záleží na kvalitě kalibrace** (přesnost lze stále zvyšovat následnými kalibracemi u dokonaleji vymezených souborů vzorků),
- díky tomu, že metoda NIRS pro vzorky v původní sušině je levná a rychlá, doporučujeme ji využívat především **pro sadu většího množství měření** „stejných" vzorků, z nichž se pak vyberou ty výsledky, které jsou lepší (či horší, tj. podle potřeby) než základní vzorek; jinými slovy NIRS pro vzorky v původní sušině je proto určena především **pro porovnání vzorků z hlediska zachycení a vyhodnocení jejich variability**,
- **standardní chyby predikce** u vzorků v původní sušině jsou hlavně **systematické, a proto předvídatelné a opravitelné**, což naznačuje, že je zde pro zemědělce velký potenciál pro praktické použití v blízké budoucnosti,
- **velký potenciál ve využití** NIRS pro vzorky v původní sušině je také **v propojení se systémy „internetu věcí" IoT a s chytrými telefony**, tedy nejen on-line automatické ovládání přístrojů, ale i on-line operativní kontroly odpovědného pracovníka v jakoukoliv dobu a ať je kdekoliv („technologie po ruce"),
- NIRS pro vzorky v původní sušině se nyní využívá hlavně z následujících důvodů:
    - pro skenování pícnin na poli nebo louce pro zjištění **rozložení sledovaných hodnot na dané ploše**,
    - pro **skenování kvality řezanky pícniny při její sklizni** pro eventuální změnu práce řezačky či aplikaci silážního přípravku,
    - pro správný odhad sušiny, krmných hodnot a homogenity **při tvorbě TMR** a při jejím zakládání z míchacího vozu do krmného žlabu,
    - pro odhad **využití škrobu jeho měřením ve výkalech,**
    - pro operativní **odhad kvality mléka a zdravotního stavu zvířat**.
- pokud se technologie NIRS pro vzorky v původní sušině ještě z různých důvodů plně nevyužívá, doporučujeme alespoň **sbírat data pro budoucnost**; každý rok je jiný a každá situace může být jiná – informace z minulosti ze stejných či podobných podmínek se mohou využít při plánování a rozhodování o zakládání porostů, způsobu a době jejich sklizně, způsobu konzervace krmiv a sestavení TMR.

3. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ"

V předložené metodice jsou využity **vědecké poznatky z poslední doby,** jak z vlastních výsledků předchozích experimentů (viz kapitola č. 7, seznam publikací, které předcházely metodice), tak z nejnovější světové literatury, např. Piccioli-Cappelli a kol. (2019) a Evangelista a kol. (2021).

Nové je především **u řezanky** vojtěšky a kukuřice srovnání měření u přenosných NIRS přístrojů (resp. „mokré NIRS") s klasickým stolním NIRS (resp. „suché NIRS") a referenční analytické metody „mokré chemie". Měření s přístroji NIRS u vzorků v původní sušině probíhalo přímo na poli a také s využitím **kontinuálního měření** vzorků řezanky kukuřice, procházející metacím komínem řezačky.

Nové je také **u siláží** vojtěšky a kukuřice srovnání měření s přístroji NIR u vzorků v původní sušině s přístroji NIR u vzorků sušených, resp. s klasickým stolním Foss NIR přístrojem a s referenční metodou „mokré chemie",

přičemž u systému NIRS s přístroji NIR u vzorků v původní sušině bylo porovnáváno v reálném čase hned několik spektrometrů AgriNIR, X-NIR a HarvestLab při hodnocení identické siláže.

Předložená metodika navazuje na certifikované metodiky, zaměřené na praktické aplikace NIR spektroskopie v zemědělské praxi od autorů Míka a kol. (2008), Dvořáček a kol. (2014), Nerušil a kol. (2016) a Menšík a kol. (2018). Ve srovnání s uvedenými publikacemi je tato práce orientována na aplikace NIRS v oblasti hodnocení výživné hodnoty krmiv **v nativním stavu (čerstvé zelené píce a siláží) v reálném čase**. Zemědělské praxi (prvovýrobě) jsou prostřednictvím této metodiky předkládány nejnovější poznatky, zkušenosti a perspektivy využití přístrojové techniky NIRS při stanovení parametrů výživné hodnoty objemné píce. Jedná se o metodu na výrazném vzestupu, která **má reálné předpoklady se prosadit v precizním zemědělství** zejména s ohledem na rychlost stanovení, přesnost při porovnání většího množství „stejných" vzorků, ekologickou nezávadnost a nízkou cenu rozboru.

Agronom může při sklizní pícniny na základě výsledků **operativně** (on-line) upravit na řezačce druh a množství aplikovaného silážního přípravku (dokonce lze tuto akci nastavit tak, že probíhá automaticky). **Chovatel hospodářských zvířat si může** na základě dosažených výsledků rozboru siláží **operativně** (on-line) upravit krmnou dávku v návaznosti na aktuální dojivost, denní přírůstek apod.

Přínosem je podstatné **zvýšení efektivnosti** (lze stanovovat více živin a ukazatelů výživné hodnoty současně) a rychlosti (velmi rychlé stanovení < 1 minuta) prováděných exaktních rozborů ve smyslu **naplnění praktických potřeb** široké obce uživatelů (velice vhodné pro automatizaci – nepřetržitý provoz rozborů po dobu 24 hodin denně). Měření (stanovení) je **pracovně bezpečné** (žádné nebezpečí vážných úrazů, intoxikace apod.) a metoda je **příznivá k životnímu prostředí** (nevznikají a nevypouštějí se žádné chemické látky apod.).

4. POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika najde své uplatnění v zemědělské praxi **především u malých a středních**, ale i velkých zemědělců, kteří sklízejí a silážují pícniny **pro použití v chovech hospodářských zvířat a v bioplynových stanicích**. Metodiku mohou využívat také poradci zemědělských podniků či pracovníci služeb pro zemědělství. Metodika je určena také zemědělským svazům, kde bude k dispozici na jejich jednáních a seminářích. Stejně tak bude k dispozici na seminářích, které bude pořádat autorský kolektiv VÚŽV, v.v.i. Praha Uhříněves, VÚRV, v.v.i. Praha – Ruzyně, ČZU Praha, NutriVet, s.r.o., nebo na jiných akcích, kde bude někdo z autorského kolektivu přednášet poznatky z tohoto výzkumu. Metodika bude také poskytnuta pracovníkům univerzit a středních škol, aby mohla být využita pro výuku studentů. Předložená metodika **má ambice být zásadním dokumentem**, podle kterého se mohou pracovníci zemědělské praxe, výzkumu a školství řídit při své činnosti, a na který se mohou odkazovat.

Předložená metodika přináší pro zemědělkou praxi **nejnovější informace** o využití metody NIRS s přístroji NIR pro vzorky v původní sušině. Metodika stanovuje progresivní postupy hodnocení vybraných organických parametrů (obsah sušiny, N-látek, hrubé vlákniny, škrobu, popelovin, neutrálně detergentní vlákniny (NDF), stravitelnost NDF, stravitelnost organické hmoty aj.), **stanovených v reálném čase v nativních krmivech (čerstvé píce, resp. siláže), ve výkalech a v mléce**.

V současné době se přístroje NIR používají především pro on-line měření:

- chemického složení píce na poli,
- chemického složení krmiv (ve fázi nakládání do míchacího vozu),
- indexů hodnocení TMR z pohledu homogenity (při míchání TMR v míchacím voze),
- chemických a fyzikálních složek TMR (při vykládání z míchacího vozu),
- chemického složení výkalů, kejdy a hnoje (ve stádiu pilotní studie),
- živinové složení mléka (celkové a individuální) v dojírně.

Metodika je významným příspěvkem v propagaci a využití precizního zemědělství. Právě propojením metod precizního farmaření, resp. **precizního krmení,** lze dosáhnout významného posunu v produkci pícnin, jejich kvalitě a také v živočišné produkci zlepšením účinnosti, resp. využitím TMR skotu, případně i jiných hospodářských zvířat. Výhody nejsou jen v přímých benefitech, jako jsou stabilnější a konzistentnější poměry komponentů TMR, ale i v možnostech ekonomického využití krmiv na farmě, snížení požadavků na koncentráty a přísunu dalších živin do TMR, zdravějšího stáda s menším počtem veterinárních zásahů, zlepšení životní pohody, tělesné kondice zvířat a kvality a také zpeněžení mléka. Nepochybné výhody jsou spojené s dopady na životní prostředí. Jsou to ale faktory, které lze jen těžko ekonomicky vyjádřit.

Metodika poukazuje na to, že pokroku v této oblasti lze dosáhnout především **komplexností**, tedy využitím všech možných propojení poznatků vědy a jejich rychlé aplikaci do zemědělské praxe.

Bohužel, větší uplatnění technologií NIRS s přístroji NIR pro vzorky v původní sušině na farmách **naráží na mnoho problémů**. Nejde jen o **počáteční investice** (do strojů, přístrojů a lidí), které jsou zejména pro malé a středně velké farmy příliš vysoké. Dalším omezením je **potřeba kalibračních postupů, správy a interpretace dat.** Je třeba vzít v úvahu pokročilý věk mnoha chovatelů, spojených s nízkou míru jejich znalosti ve využívání digitálních technologií a ochoty učit se něco nového. V tomto směru je perspektivní větší využívání specializovaných služeb. **Pro správné použití nových technologií je pomoc chovatelům nezbytná.** Je potřebné více se zaměřit nejen na středoškolské a vysokoškolské vzdělávání budoucích zemědělců v tomto směru, ale i na průběžné vzdělávání již hospodařících chovatelů. Také je potřeba pamatovat na další výzkum k prohloubení současných znalostí, ale i k otevření dalších oblastí aplikace NIRS, které nejsou v současné době brány v úvahu.

Velký potenciál ve využití technologie NIRS je evidentní, jen je třeba si to uvědomit a udělat vše pro to, aby byl skutečně využit!

5. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Precizní krmení umožňuje a předpokládá úpravu krmné dávky skotu v reálném čase. **Ušetří se tak na ztrátách**, kterým se v běžném provozu nestačí zamezit z důvodu prodlevy nezbytných opatření po zjištění nedostatku, která bývá běžně v praxi delší než dva týdny.

Předností systému je tak ekonomická efektivnost, která jde ruku v ruce se zvýšením užitkovosti zvířat, jejich zdraví a welfare, ale bez větší počáteční investice se systém neobejde. Právě tak se neobejde bez podpory výzkumu v upřesňování požadavků na vstupní hodnoty, v našem případě obsahu sušiny a živin vhodných pro sklizeň a konzervaci, dávkování a výběr vhodných silážních přípravků, správného stanovení míchání a rozmělnění jednotlivých komponentů krmné dávky, aby u zvířat nedocházelo k metabolickým problémům. Součástí systému je operativní a relativně přesná diagnostika stanovených parametrů a jejich vyhodnocování, sběr a uchovávání dat.

K hodnocení ekonomických aspektů **jsme vycházeli** z certifikované metodiky Menšík a kol. (2018), ve které je porovnávána NIRS ze suchého vzorku s referenční chemickou analýzou tzv. mokrou cestou („mokrou chemií“). Podle této metodiky je z ekonomického pohledu přínosem NIR spektroskopie v porovnání s referenčními metodami podstatné zvýšení efektivnosti a rychlosti prováděných exaktních rozborů a současně výrazné snížení ceny hodnocení jednoho vzorku (není potřeba téměř žádného spotřebního materiálu, stanovení je levné a dostatečně přesné). Míra rentability metody NIRS je pak tím vyšší, čím náročnější a dražší je referenční metoda laboratorního stanovení a současně pokud budou měřeny větší série vzorků.

Pro porovnání celkové ceny rozboru vzorků fermentované silážní kukuřice pomocí referenčních metod v rozsahu výše uvedených parametrů, byly v práci Menšík a kol. (2018) použity **údaje z ceníku rozborů v laboratoři Nutrivet**, s.r.o., platné v roce 2018. Cena jednoho takového stanovení v rozsahu šesti parametrů výživné hodnoty píce (obsah sušiny, NL, vlákniny, škrobu, popel, ADF, NDF a SOH), včetně přípravy vzorku mletím, činila s DPH (21 %) přibližně 2,8–3,2 tis. Kč. Při kalkulaci ceny stanovení shodného počtu parametrů metodou NIRS, provedeného ve VÚRV, v.v.i., resp. ve výzkumné stanici Jevíčko, zahrnující rovněž úpravu dodaného vzorku mletím, byla zjištěna cena s DPH cca 0,3–0,4 tis. To v porovnání s referenční laboratorní metodou představuje výrazné snížení nákladů na provedení rozboru ve výši cca 80–90 %.

Ve srovnání s těmito dvěma metodami je na jeden rozbor krmiva v laboratoři Nutrivet, s.r.o. účtována **cena 300 Kč**. Tato **cena se může dále i podstatně snižovat** v návaznosti na počtu provedených měření. Poradenské a dodavatelské firmy používají přístroj Dinamica Generale pro komerční účely a rozbory dělají pro své klienty zadarmo.

Podle prospektu firmy Dinamica Generale (výrobce AgriNIR) se s využitím AgriNIR spektrometru **ušetří na farmě dojnic až 2 % celkových nákladů na krmiva**. Ekonomickou kalkulaci pro holštýnské dojnice v ČR uveřejnili Syrůček a kol. (2019). U holštýnských dojnic s průměrnou užitkovostí 9 209 litrů zjistili, že v roce 2017 byly náklady na krmiva cca 100 Kč na krmný den, tj. 43 % všech nákladů. Jestliže tuto částku násobíme počtem dnů v roce, tak při úspoře 2 % nákladů denně, **uspoříme u 100 ks dojnic za jeden rok 73 000 Kč** (365 x 0,02 x 10 000).

To potvrzují i jiné výpočty, např. dle Evangelista a kol. (2021) tvoří náklady na krmiva u holštýnských dojnic v USA 45 % všech nákladů. Cabrera (2018) upozornil, že podle podporu rozhodování s využitím kalkulátoru University of Wisconsin Dairy Extension „UW-Dairy Management“ činí náklady na krmiva na dojnici a rok 1 522 EUR, což je při

ceně za EURO 26,50 Kč pro 100 ks dojnic a té výše uvedené 2% úspory celkem cca 80 tisíc Kč za rok. V USA jsou tedy náklady na krmiva sice procenticky podobné, ale v absolutní výši zhruba o 10 % vyšší.

Další přínosy jsou **odhadem 1 % ze zvýšené užitkovosti** (9 000 litrů v ceně 8,50 Kč/l). U 100 dojnic by byly tržby za 1 rok **potenciálně vyšší o 76 500 Kč** (9 000 x 8 x 100 x 0,01).

Kdyby typový podnik v přepočtu na 100 dojnic za rok nechal v chemické laboratoři analyzovat 15 vzorků siláží, každý za cca 3 000 Kč, celkový náklad by byl 45 000 Kč. Kdyby místo toho uskutečnil 50 měření spektrometrem NIR, každé za 300 Kč by náklad byl celkem 15 000 Kč. **Úspora za rozbory by byla 30 000 Kč.**

Celkový přínos pro podnik u 100 dojnic a rok by tedy byl potenciálně **179 500 Kč** (73 000 + 76 500 + 30 000).

Cena přístroje AgriNIR je 22 000 EUR, tedy při 26,50 Kč za EURO je to **583 tisíc Kč**. K tomu je nutné přičíst náklad za pořízení kalibračních rovnic (cca 45 000 Kč). **Návratnost investice** do přístroje by teoreticky měla být zhruba do jednoho roku pro 350 dojnic. Záleží ovšem na druhu a počtu měření a na jejich smysluplném využití.

Možností, jak **spočítat návratnost a přínos investice je několik**. Časté a rychlé měření jsou klíčové pro určení variability a rozdíl lze rychle napravit. Jak ukazuje schéma 3, při frekvenci chemických analýz TMR jednou za 14 dnů (je nutné upozornit, že v praxi je tak častá úprava krmné dávky spíše výjimkou) je dle prospektu firmy Dinamica Generale průměrné časové prodlení ve výši 2,4 % (v grafu rozdíl mezi červenou a bílou čárou). Při frekvenci jednou za týden (schéma 4) je časové prodlení 1,2 %, a při frekvenci 2x za týden (schéma 5) je časové prodlení 0,7 %, což ale znamená podstatné **zpřesnění v dávkování krmiv**. S přístrojem AgriNIR se za stejnou cenu udělá mnohem více měření, než klasickou „mokrou chemií“. Stanovení výživných hodnot TMR tak je mnohem levnější. Čím častěji se měření dělá, tím více se mohou skutečné požadavky zvířat na příjem sušiny TMR blížit těm vypočítaným. To v praxi znamená, že se zlepší užitkovost a zdraví zvířat.

Schéma 3: Časové prodlení v reakci na změnu sušiny TMR při vzorkování jednou za 14 dnů (weeks = týdny, true value = skutečné hodnota)

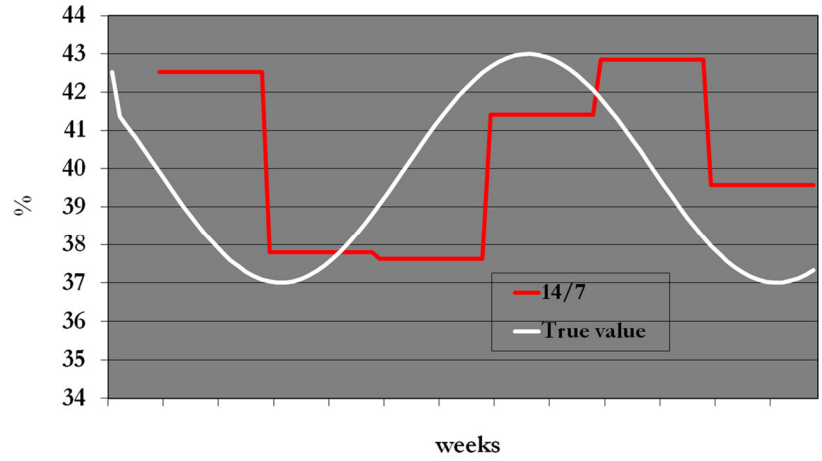


Schéma 4: Časové prodlení v reakci na změnu sušiny TMR při vzorkování jednou za týden

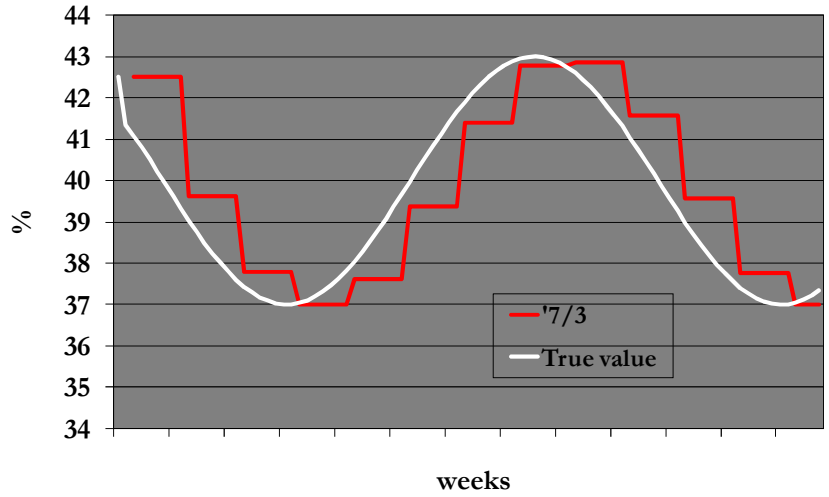
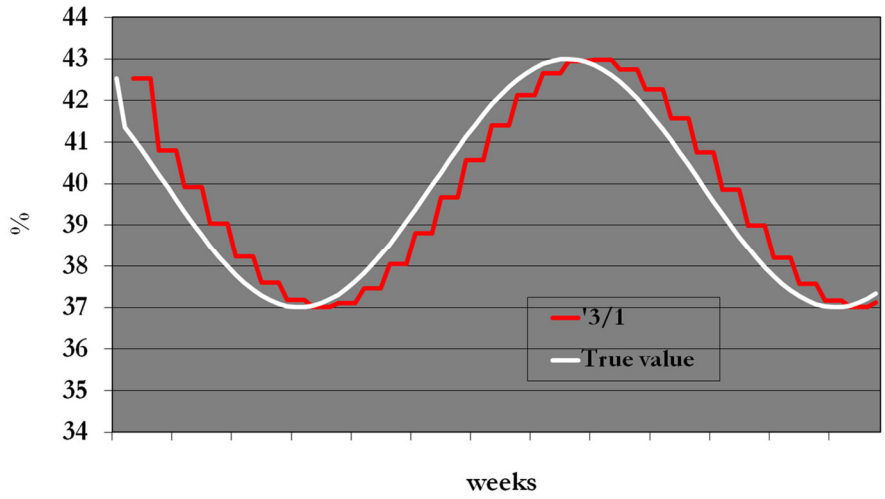


Schéma 5: Časové prodlení v reakci na změnu sušiny TMR při vzorkování 2x za týden



Přístroje NIR pro vzorky v původní sušině lze ale využít i jinak, a tak získat další úspory. Jde např. o **možnost mapovat výnos a kvalitu sklízené píce** na celém pozemku krátce před sklizní pro přednostní výběr plochy pro sklizeň a při sklizni k dávkování silážního přípravku. Bonusem je opět informace o variabilitě kvalitativních ukazatelů. Sníží-li se na základě mapování a následného kontinuálního skenování variabilita vstupního materiálu, **lze operativně udělat potřebné opatření**, které v konečném důsledku sníží náklady a zlepší kvalitu vyrobeného krmiva.

6. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

AOAC (1990): Association of Official Analytical Chemists, 16th ed. Washington, D.C., USA.

Atalay, H., Kahrıman, F. (2020): Estimation of relative feed value, relative forage quality and net energy lactation values of some roughage samples by using near infrared reflectance spectroscopy. Journal of Istanbul Veterinary Sciences, 4(3), 109–118.

Atalay, H., Kahriman, F., Alatürk, F. (2020): Estimation of dry matter, crude protein and starch values in mixed feeds by near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy. Journal of Istanbul Veterinary Sciences, 4(3), 125–130.

Berzaghi, P., Serva, L., Piombino, M., Mirisola, M., Benozzo, F. (2005): Prediction performances of portable near infrared instruments for at farm forage analysis. Italian Journal Animal Science, 4, 145–147.

Cabrera, V.E. (2018): Invited review: Helping dairy farmers to improve economic performance utilizing data-driving decision support tools. Animal, 12, 1, 134-144.

dos Santos, R.A., Filgueiras, R., Mantovani, E.C., Fernandes-Filho, E.I. (2021): Surface reflectance calculation and predictive models of biophysical parameters of maize crop from RG-NIR sensor on board a UAV. Precision agriculture, on-line.

Dvořáček, V., Prohasková, A., Štočková L. (2014): Efektivní využití blízké infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací pro hodnocení technologických vlastností pšenice. Metodika pro praxi. VÚRV, v.v.i., 38 s.

Evangelista, C., Basiricò, L., Bernabucci, U. (2021): An overview on the use of near infrared spectroscopy (NIRS) on farms for the management of dairy cows. Agriculture 2021, 11, 296.

Fredin, S.M., Ferraretto, L.F., Akins, M.S., Hoffman, P.C., Shaver, R.D. (2014): Fecal starch as an indicator of total-tract starch digestion by lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 97, 1862–1871.

Han, S., Pang, Z., Wang, L., Wang, F., Li, Y., Mao, W. (2020): Research and application of Netty based condition monitoring system for forage harvesting machine IOP Conf. Ser.: Mater. China Sci. Eng. 782 052041, on-line.

Hart, L., Huguenin-Elie, O., Latsch, R., Simmler, M., Dubois, S., Umstatter, CH. (2020): Comparison of Spectral Reflectance-Based Smart Farming Tools and a Conventional Approach to Determine Herbage Mass and Grass Quality on Farm. Remote Sens. 2020, 12, 3256.

Janoušek, J., Jambor, V., Marcoň, P., Dohnal, P., Synková, H., Fiala, P. (2021) Using UAV-Based Photogrammetry to Obtain Correlation between the Vegetation Indices and Chemical Analysis of Agricultural Crops. Remote Sens. 13, 1878.

Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J. Buckmaster, D.R. (2003): Modification of the Penn State Forage and Total Mixed Ration Particle Separator and the Effects of Moisture Content on its Measurements. J. Dairy Sci. 86, 1858–1863.

Kowalski, Z.M., Kanski, J. (2019): Nutritive value of silages (NIRS technology) and their effect on health of productive animals. In: 18th International Symposium Forage Conservation, Brno, 32-40.

McDonald, P., Henderson, A.R., Heron, S.J.E. (1991): The Biochemistry of Silage. Marlow: Chalcombe Publications, Bucks, UK.

Menšík, L., Nerušil, P., Jambor, V. (2018):Vývoj kalibračních rovnic k predikci parametrů výživné hodnoty konzervované kukuřičné siláže pomocí techniky NIRS. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha – Ruzyně, 21 s.

Mertens, D.R., Berzaghi, P. (2009): Adjusting for forage variability via on-farm analysis. In Proceedings of the getting more from forages. Conference, Madison, WI, USA, 27–29 July 2009.

Míka, V. (1997): Využití infračervené spektrometrie (NIRS) pro hodnocení kvality rostlinných výrobků. UZPI Praha, 28 s.

Míka, V., Nerušil, P., Kohoutek, A. (2008): Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR) Výběr praktických aplikací v zemědělství. Metodika pro praxi, VÚRV, v.v.i., 44 s.

Míka, V., Pozdíšek, J., Tillmann, P., Nerušil, P., Buchgraber, K., Gruber, L. (2003): Development of NIR calibration valid for two different grass sample collections. Czech Journal of Animal Science, 48 (10): 419–424.

Nařízení Komise (ES) č. 152/2009 ze dne 27. ledna 2009, kterým se stanoví metody odběru vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv. In: Úřední věstník Evropské unie.

Nerušil, P., Menšík, L., Jambor, V. (2016): Využití blízké infračervené spektroskopie ke stanovení výživné hodnoty hybridů kukuřice, určených k výrobě kukuřičné siláže. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 28 s.

Piccioli-Cappelli, F., Calegari, F., Calamari, L., Bani, P., Minuti, A. (2019): Application of a NIR device for precision feeding in dairy farms: effect on metabolic conditions and milk production, Italian Journal of Animal Science, 18:1, 754-765.

Serva, L., Marchesini, G., Garbin, E., Tenti, S., Mirisola, M., Segato, S., Gerardi, G., Andrighetto, I. (2016): Uso di uno strumento NIR portatile per la valutazione dell'omogeneità dell'unifeed distribuito in mangiatoia. In AttidelSimposioSISNIR,Proceedingsofthe7 Simposio Italiano di Spettroscopia NIR, Milano, Italy, 12–14 October 2016; SISNIR: Lodi, Italy, pp. 138–142.

Sova, A.D., LeBlanc, S.J., McBride, B.W., DeVries, T.J. (2014): Accuracy and precision of total mixed rations fed on commercial dairy farms. J. Dairy Sci. 97, 562–571.

Syrůček, J., Bartoň, L., Řehák, D., Kvapilík, J., Burdych, J. (2019): Evaluation of economic indicators for Czech dairy farms. Agriculture economics, 65, 499-508. ISSN 0139-570X.

Tang, Z., Parajuli, A., Chen, C.J. (2021): Validation of UAV-based alfalfa biomass predictability using photogrammetry with fully automatic plot segmentation. Sci Rep 11, 3336.

Vyhláška č. 415/2009 Sb., o stanovení požadavků na odběr vzorků a způsobu zveřejnění metod laboratorního zkoušení produktů ke krmení. In: Sbírka zákonů 134/2009.

7. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Loučka, R. (2013): Hodnocení fermentačního procesu siláží. In.: Hodnocení krmiv pro dojnice. Pohořelice: AgroDigest s.r.o., s. 80–105.

Loučka, R., Jambor, V., Tyrolová, Y. (2014): The variability of the results of the nutritional value of maize silage obtained by the apparatus AgriNIR. In: Jambor, V. et al. (eds.). Forage Conservation. Proc. of the 16th Int. Symp., Brno, pp. 157–158.

Loučka, R., Hakl, J., Jirmanová, J., Tyrolová, Y. (2015): Yearly variation in maize silage fermentation and nutritive quality. Grass and Forage Science, 70, 674–681.

Loučka, R., Nedělník, J., Lang, J., Jambor, V., Třináctý, J., Tyrolová, Y. (2015): Evaluation of maize hybrids types harvested at the similar stage of maturity. Plant, Soil and Environment, 61, 560–565.

Loučka, R. (2017): Využití vlákniny a separace krmiv k hodnocení krmných dávek skotu. Krmivářství, 21(5), 37–40.

Loučka, R., Homolka, P., Jančík, F., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A. (2017): Metody zajišťování pokusů pro stanovení kvality siláží. Úroda, LXV(12, vědecká příloha), 563–566.

Loučka, R., Tyrolová, Y., Jambor, V. (2017): Vliv zmrazení siláže na NIR analýzy výživných hodnot. Náš chov, 77(3), 66–69.

Loučka, R., Tyrolová, Y., Jančík, F., Kubelková, P., Homolka, P. (2017): Vliv délky řezanky zavadlé vojtěšky na kvalitu fermentačního procesu a aerobní stabilitu siláže. Krmivářství. 21, 2, 8–12.

Loučka, R., Homolka, P., Jančík, F., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A. (2018): Utilization of the continuous measurement technology to control the feeding of dairy cows. In Book of Abstracts of the 69th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, s. 482.

Loučka, R. (2019): Precizní farmaření charakterizuje individuální přístup. Náš chov. 79(12 (příloha)), 4-7.

Loučka, R., Jančík, F., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A., Koukolová, V., Homolka, P. (2019): Hodnocení směsné krmné dávky podle fyzikální struktury. Krmivářství, 23(3), 20–23.

Loučka, R., Výborná, A., Tyrolová Y., Řehák, D., Koukolová, V., Kubelková, P., Jančík, F., Homolka, P. (2020): Krmné dávky pro dojnice s využitím precizního zemědělství. Náš chov, 80(3), 68–72.

Loučka, R., Výborná, A., Tyrolová Y., Jančík, F., Kubelková, P., Koukolová, V., Homolka, P. (2020): Silážování vojtěšky s různou délkou řezanky. Krmivářství., 24(2), 32–36.

Loučka, R., Výborná, A., Jančík, F., Kubelková, P., Tyrolová Y., Koukolová, V., Homolka, P. (2020): Vliv oxidu hořečnatého na neutralizaci krmné dávky dojnic. Náš chov. 80(11), 60–63.

Loučka, R., Výborná, A., Tyrolová Y., Jančík, F., Kubelková, P., Koukolová, V., Homolka, P., Knížková, I., Knížek, J., Kunc, P. (2020): Vliv struktury krmné dávky dojnic na produkci skleníkových plynů. Krmivářství. 24(6), 33–36.

Loučka, R., Homolka, P., Jančík, F., Koukolová, V., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A. (2020): Jak zajistit vhodnou fermentaci v silážích a v bachoru dojnic. Praha: Agrární komora České republiky,78 s.

Tyrolová, Y., Bartoň, L., Loučka, R. (2017): Effects of biological and chemical additives on fermentation progress in maize silage. Czech Journal of Animal Science, 62, 306-312.

Velebný, L., Loučka, R. a kol. (2016): Vzorkování krmiv. In Vzorkování III, potraviny, zemědělství, předměty běžného užívání, Český Těšín: 2 THETA, 240–253.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV ŽIVOČIŠNÉ VÝROBY, v.v.i. v Uhříněvsi. Měření ztrát silážováním. Původci: Loučka, R., Jančík, F., Homolka, P., Koukolová, V., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A. (2019): Česká republika. Certifikovaná metodika. 16 s., ISBN 978-80-7403-224-0. 2019-12-12

VÝZKUMNÝ ÚSTAV ŽIVOČIŠNÉ VÝROBY, v.v.i. v Uhříněvsi. Odběry vzorků siláže. Autoři: Loučka, R., Jančík, F., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A., Homolka, P., Koukolová, V. (2019): Česká republika. Certifikovaná metodika, ISBN 978-80-7403-223-3

8. JMÉNA OPONENTŮ

Ing. Jan Pozdíšek, CSc., Výzkumný ústav pro chov skotu, s.r.o.

Ing. Jan Vodička, MZe, Odbor zemědělských komodit, MZe

9. DEDIKACE

Metodika je výsledkem řešení projektu QK1810137 Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu.

10. PŘÍLOHA

10.1. Seznam zkratek

ADF – acidodetergentní vláknina
ADIN – nerozpustný dusík v kyselém detergentu
cNDVI – kumulativní NDVI
FIR – vzdálená infračervená oblast
GPS – Global Positioning Systém
IoT – „internet věcí“ (internet of things)
LFU – plnicí jednotky v INRA systému hodnocení krmiv
MIR – střední infračervená oblast
MIRS – střední infračervená spektroskopie
MSI – multispektrální optický senzor (Multi Spectral Instrument)
MZe – Ministerstvo zemědělství
NDF – neutrálně detergentní vláknina

NDVI – normalizované diferenční vegetační indexy
NEL – netto energie laktace
NEV – netto energie výkrmu
NIR – blízká infračervená oblast
NIRS – blízká infračervená spektroskopie
PSPS – Penn State Particle Separator
REF – referenční metoda („mokrá chemie“)
TMR – směsná krmná dávka (total mixed ration)
UAV – bezpilotními prostředky (Unmanned Aerial Vehicle)
VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
VÚŽV – Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

10.2. Anotace

Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) nativních krmiv, výkalů a mléka

Cílem uplatnění metodiky je poskytnutí komplexních informací využití moderní spektrometrické metody blízké infračervené spektroskopie (NIRS) v zemědělské výrobě k hodnocení vybraných parametrů nutriční hodnoty krmiv, homogenity směsné krmné dávky (TMR), obsahu sušiny a škrobu ve výkalech a kvality mléka stanovení vybraných hodnot u nativních vzorků v původní sušině v reálném čase (*in situ*) a její porovnání s již klasickou metodou NIRS u suchých vzorků a s referenční analytickou metodou „mokré chemie“. Technologií NIRS pro vzorky v původní sušině lze měřit výživné hodnoty jen u těch krmiv, pro která je vytvořena kalibrační rovnice, tu je nutné průběžně aktualizovat. Výsledek analýzy hodně záleží na kvalitě kalibrace. Protože metoda technologie NIRS pro vzorky v původní sušině je levná a rychlá, doporučujeme ji využívat především pro sadu většího množství měření především pro porovnání vzorků z hlediska jejich variability.

Klíčová slova: variabilita; kalibrace; nutriční hodnota krmiv; sušina; škrob

Annotation

Near infrared spectroscopy (NIRS) of native feed, feces and milk

The aim of the methodology is to provide comprehensive information on the use of modern spectrometric methods of near infrared spectroscopy (NIRS) in agricultural production to evaluate selected parameters of feed nutritional value, total mixed ration (TMR) homogeneity, dry matter and starch content in feces and milk quality by native samples in the original dry matter in real time (*in situ*) and its comparison with the already classical NIRS method for dry samples and with the reference analytical method “wet chemistry”. The NIRS technology for samples in the original dry matter can only be used to analyze feeds for which a calibration equation has been created, which needs to be updated continuously. The result of the analysis depends a lot on the quality of the calibration. Because the method of NIRS technology for samples in the original dry matter is cheap and fast, we recommend using it mainly for a set of a larger number of measurements, especially for comparing samples in terms of their variability.

Keywords: variability; calibration; nutritional value of feed; dry matter; starch

Vydal: Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Přátelství 815, 104 00 Praha Uhříněves

Název: **Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) u nativních krmiv, výkalů a mléka**

Autoři a jejich podíly práce:

[1]Ing. Loučka Radko, CSc. (52 %), [1]Ing. Jančík Filip, Ph.D. (5 %), [1]Ing. Kubelková Petra, Ph.D. (5 %), [1]Ing. Koukolová Veronika, Ph.D. (5 %), [1]Ing. Tyrolová Yvona (5 %), [1]Ing. Výborná Alena (5 %), [1]Ing. Marie Gaislerová, Ph.D. (3 %), [1,2]doc. Ing. Homolka Petr, CSc., Ph.D. (5 %), [3]Ing. Václav Jambor, CSc. (5 %), [4]RNDr. Jan Nedělník, Ph.D. (5 %), [4]Ing. Jaroslav Lang, Ph.D. (5 %)

Pracoviště autorů:

[1]Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. Praha Uhříněves
[2]ČZU Praha, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky
[3]NutriVet, s.r.o.
[4]Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

Oponenti:

Ing. Jan Pozdíšek, CSc.
Výzkumný ústav pro chov skotu, s.r.o.

Ing. Jan Vodička,
MZe, Odbor zemědělských komodit

Dedikace: Metodika je výsledkem řešení projektu QK1810137 Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu.

ISBN: 978-80-7403-256-1

Vydáno bez jazykové úpravy.

© Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Praha Uhříněves

Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i.
Přátelství 815
104 00 Praha Uhříněves

www.vuzv.cz