

PODPORA APLIKACE NOVÝCH METOD  
PRECIZNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ  
V OBLASTI PRODUKCE KRMIV A KRMENÍ SKOTU



ISBN: 978-80-7403-274-5



Ministerstvo zemědělství  
Těšnov 65/17  
110 00 Praha 1

v y d á v á

## OSVĚDČENÍ

č. MZE-55321/2022-13141

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

Název metodiky: **Podpora aplikace nových metod precizního zemědělství v oblasti produkce krmiv a krmení skotu**

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

Názvy organizací: **Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Praha Uhřetěves  
NutriVet, s.r.o.  
Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko  
Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, KMVD**

Místo vydání: **Praha**


Rok vydání: **2022**

ISBN: **978-80-7403-274-5**

Metodika byla vypracována: **v rámci výzkumného projektu NAZV č. QK1810137 a podpory na DKRVO č. MZe-RO-0718.**

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

V Praze dne 20-09-2022


  
.....  
Razítko a podpis zástupce odborného útvaru státní správy



Jméno a funkce zástupce odborného útvaru státní správy: **Ing. Pavel Hakl  
ředitel Odboru živočišných komodit  
a ochrany zvířat MZe**

Souhlas ředitele Odboru precizního zemědělství, výzkumu a vzdělávání MZe:

V Praze dne 22. 9. 2022

  
.....  
Mgr. Jan Radoš

## CERTIFIKOVANÁ METODIKA

### Podpora aplikace nových metod precizního zemědělství v oblasti produkce krmiv a krmení skotu

#### Autoři:

<sup>1</sup>Ing. Radko Loučka, CSc.,  
<sup>1</sup>Ing. Filip Jančík, Ph.D., <sup>1</sup>Ing. Petra Kubelková, Ph.D.,  
<sup>1</sup>Ing. Marie Gaislerová, Ph.D., <sup>1</sup>Ing. Yvona Tyrolová, <sup>1</sup>Ing. Alena Výborná,  
<sup>1</sup>Ing. Veronika Koukolová, Ph.D., <sup>1,4</sup>doc. Ing. Petr Homolka, CSc., Ph.D.,  
<sup>2</sup>Ing. Václav Jambor, CSc., <sup>2</sup>Ing. Soňa Malá, <sup>2</sup>Ing. Hana Synková  
<sup>3</sup>RNDr. Jan Nedělník, Ph.D., <sup>3</sup>Ing. Jaroslav Lang, Ph.D.

<sup>1</sup> Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. (VÚŽV)

<sup>2</sup>NutriVet, s.r.o.

<sup>3</sup>Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

<sup>4</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů,  
Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky (ČZU)

#### Oponenti:

Ing. Jan Pozdíšek, CSc., Agrovýzkum Rapotín 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 a MZe-RO-0718 Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace (DKRVO)

## OBSAH

1. Cíl metodiky .....	6
2. Vlastní popis metodiky .....	6
2.1. Úvod .....	6
2.2. Výhody PLF .....	7
2.3. Nevýhody PLF.....	8
2.4. Současný stav řešení problematiky .....	9
2.5. Experimentální část s popisem ověřování v rámci projektů.....	11
2.5.1. Zpracování obrazu .....	11
2.5.2. Kontrola teploty krmiva pomocí teplotních čidel .....	14
2.5.3. Detekce pH bachorového obsahu .....	21
2.5.4. Sledování pohybových aktivit zvířat.....	26
2.6. Podpůrné technologie .....	33
2.6.1. Bezpilotní prostředky a satelitní snímky.....	33
2.6.2. Globální poziční a autonomní systémy .....	33
2.6.3. Komunikační pomůcky.....	33
3. Srovnání novosti postupů.....	34
4. Popis uplatnění metodiky.....	35
5. Ekonomické aspekty.....	35
6. Seznam použité související literatury.....	37
7. Seznam publikací, které předcházely metodice .....	38
8. Jména oponentů.....	39
9. Dedikace .....	39
10. Přílohy .....	40
10.1. Seznam zkratk.....	40
10.2. Seznam obrázků.....	40
10.3. Seznam grafů.....	40
10.4. Anotace .....	42

## 1. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je usnadnit farmářům v ČR rozhodování o přijetí nových technologií v precizním chovu hospodářských zvířat (PLF, Precision Livestock Farming) tím, že poskytne základní informace o možnostech jejich využití v praxi. Dále pak popíše jejich výhody i nevýhody a ukáže, jak může zavedení PLF metod změnit roli pracovníků v zemědělství. Metody PLF, a především ty z oblasti výživy a krmení zvířat, by se tak mohly implementovat do českého zemědělství ve větším měřítku, než tomu bylo doposud v chovu hospodářských zvířat v ČR.

## 2. VLASTNÍ POPIS METODIKY

### 2.1. Úvod

Zatímco předchozí certifikovaná metodika (Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. v Uhřetěvsi, 2021), zaměřená na využití PLF v českém zemědělství, se zabývala téměř výhradně využitím spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR), tak tato nová metodika je zaměřena na představení dalších vybraných metod PLF, a to:

- **zpracování obrazu**; např. multispektrální kamerou, kterou lze použít pro odhad vhodnosti pícniny pro sklizeň, odhad složení a výnosu porostu, nebo s využitím 3D projekce změření skladových zásob krmiv či momentální rozmístění strojů po farmě, nebo s využitím termovize k ochraně volně žijící zvěře v průběhu sklizně pícnin či k rozhodnutí jak odebírat siláž nebo senáž ze silážního žlabu,
- **vyhodnocování teploty z teplotních senzorů**; např. pro kontrolu průběhu procesu fermentace a skladování siláží, či senáží,
- **měření pH v bachoru pomocí bolusů**; pro sledování stavu bachorového obsahu, k zamezení vzniku a rozvoji acidózy,
- **monitorování a vyhodnocování pohybových aktivit zvířat**; především které souvisí s příjmem a zpracováním krmiva, tedy měření doby příjmu krmiva a doby přežvykování.

První dvě metody se týkají hlavně kvality krmiv, další dvě zažívacích poruch a krmení dojnic. Jedná se o metody, které jsme prověřovali v rámci výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum (NAZV) QK1810137 (Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu) a Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace (DKRVO).

Je třeba si ale uvědomit, že kromě toho existují další používané metody PLF, které jsme v rámci výše uvedených projektů neřešili, jako je např. využití získaných dat k:

- automatickému řízení mikroklimatu ve stáji (např. teploty, vlhkosti, osvětlení, větrání, rosení, koncentrace plynů),
- automatickému řízení krmení zvířat a/nebo přihrnování krmiva v krmném žlabu,
- identifikaci, lokalizaci a sledování pohybu zvířat ve stáji i mimo ni,
- monitoringu onemocnění paznehtů nebo mléčné žlázy pomocí termokamery,
- analýze obrazu stavu, rozmístění a chování zvířat individuálně i skupinově, především z hlediska jejich zdraví (např. metabolické poruchy, kulhání) a pohodu chovu (např. doba a místo ležení, stání, příjmu krmiva),
- zpracování obrazu stavu stájového vybavení (např. stupeň zamíchání směsné krmné dávky v krmném voze, stav krmiva v krmném žlabu, množství výkalů ve hnojné chodbě, kontrola skóre tělesného stavu (BCS)),
- zpracování dat ke sledování a hodnocení vývoje jedince a stáda (např. živá hmotnost, kondice, užitkovost),
- uplatnění robotizace, která pomáhá ošetřovatelům zvířat precizněji zvládat jejich práci.

Metody PLF, zaměřené na podporu chovu hospodářských zvířat, jsou součástí širších pojmů jako „precizní farmaření“, resp. „chytré farmaření“ (smart farming), resp. „Zemědělství 4.0“. Modernímu pojetí farmaření se nyní dává nejčastěji přívlastek „chytré“. Principem precizního (chytrého) farmaření je sbírat informace, které mají velkou variabilitu danou např. rozličnou skladbou přístrojů a měřících zařízení, a následně velké množství získaných dat využít pro přizpůsobení se těmto rozdílům např. v podobě cílené vybrané aplikace v reálném čase (bez zbytečného prodlení), v pravý čas, na pravém místě a s pravou intenzitou účinku. Zemědělství 4.0 je hlavně termín pro nové trendy, zahrnující větší zájem o precizní zemědělství, internet věcí (IoT) a používání třídění velkých dat pro větší efektivnost výživy rostoucí populace lidí a změny klimatu, včetně ekonomických a sociálních podmínek.

Rozdíl mezi „Zemědělstvím 4.0“ a „Průmyslem 4.0“ je v tom, že v zemědělství se pracuje s živými organismy (zvířaty a rostlinami) a je závislé na klimatických podmínkách. V průmyslu jde spíše o robotizaci, která pracuje za stejných podmínek, provádí stejné úkony a montuje stejnou součástku. I v zemědělství ale funguje robotizace. Roboti nahrazují lidskou práci v zemědělství např. tím, že zajišťují kompletně dojení krav, přihrnování krmiv, vyhrnování výkalů, nahánění krav do dojírny a podobně. Mnohé z úkonů se dějí automaticky podle předem nastavených podmínek.

Vyšší úroveň je pak „umělá inteligence“ (AI, artificial intelligence), jejíž princip je již ve schopnosti strojů napodobovat lidské uvažování, učení nebo kreativitu. Podle Bao a Xie (2022) většina vědeckých výzkumů v oblasti chovu zvířat zkoumající senzory a modely umělé inteligence se soustředila na sběr, zpracování, hodnocení a analýzu dat v oblastech detekce chování zvířat, monitorování chorob a odhadu růstu a monitorování prostředí v experimentální fázi. Umělá inteligence má schopnost na základě velkého množství existujících dat předpovídat výsledky na nových datech, resp. sama se poučit ze získaných výsledků. Tím se systém stále zdokonaluje. Dále se zlepšuje i přenos a sdílení dat. Již nyní lze farmu řídit třeba i v době nepřítomnosti chovatele a jakoukoliv denní dobu z mobilního telefonu. Ukazuje se, že se brzy rozšíří tzv. „internet věcí“ (IoT). Různé aplikace pak budou moci sdílet a používat stejná data. Pro chovatele to bude znamenat, že už nebudou muset vícekrát zadávat stejná data do různých systémů, protože IoT je dokáže všechny propojit.

Obor zemědělství je často vnímán jako poměrně „zaostalý“ z hlediska využívání moderních technologií, ale o to větší potenciál v něm proto tkví, a to i vzhledem ke globálním společenským a klimatickým změnám. Na některých farmách v zahraničí i v ČR jsou již běžně používány senzory k monitorování stavu rostlin a půdy, senzory pro ovládání mikroklimatu ve stáji a senzory monitorující a vyhodnocující užitkovost, pohodu a zdraví zvířat. Je to však zvláště v ČR stále jen u velmi malého počtu farem. Dá se říci, že jde teprve o začátky implementace technologií PLF do českého farmaření. Tato metodika by měla přispět k implementaci metod PLF do farmaření v ČR ve větším měřítku, a především do oblasti produkce krmiv, výživy a krmení zvířat. Využití moderních technologií v zemědělství se stává nezbytností.

Vlastní metodika je rozdělena na několik částí. V té první jsou popsány výhody a nevýhody PLF metod. V přehledu literatury je popsán současný stav řešené problematiky. V experimentální části této metodiky jsou pak popsány výše uvedené metody PLF, včetně doplnění o některé důležité a perspektivní podpůrné technologie jako jsou bezpilotní prostředky a satelitní snímky, globální poziční a autonomní systémy a systémy pro lepší komunikaci. Na příkladech jsou představeny ukázky výsledků z vybraných pokusů. Podrobněji jsou výsledky pokusů uvedeny v publikacích, které předcházejí metodice.

## 2.2. Výhody PLF

PLF technologie jsou výhodné zejména proto, že:

- umožňují lépe, než klasické zemědělství využít potenciál půdy, rostlin i zvířat; digitalizace poskytuje možnost učinit zemědělství konkurenceschopnějším,
- jsou perspektivní pro monitoring a rychlé reakce na chování zvířat, zlepšuje se tak jejich užitkovost, zdraví a pohodu chovu,
- pozoruje se úspora času, protože roboti a senzory při tom přebírají opakující se fyzické úkoly a zjednodušují sledování zvířat (např. reprodukční a zdravotní hlediska),

- zemědělci oceňují flexibilitu při organizaci jejich práce a schopnost snížit psychickou zátěž v důsledku očekávání událostí,
- farmář se lépe a rychleji rozhoduje, když ho podporují technologické inovace,
- podporují environmentální, ekonomickou a sociální udržitelnost živočišné produkce,
- jsou šetrné z pohledu hospodaření i ekologie – šetří se na aplikaci přípravků, tj. aplikují se pouze tam, kde je to potřeba a v množství, které je vhodné a účelné. Díky zapojování digitální technologie do zemědělských postupů jsou zemědělci schopni zvýšit výnosy, snížit náklady, snížit poškození plodin a minimalizovat spotřebu vody, pohonných hmot (PHM) i hnojiv. Pro spotřebitele by to mělo znamenat dostupné a kvalitní potraviny,
- činnosti v živočišné výrobě mají zpravidla rutinní charakter a jsou realizovány ve vnitřním prostředí, maximálně v rámci areálu. Odpadají tím pádem problémy s provozem (např. na pozemních komunikacích, ve venkovním prostředí),
- technologie přeného stanovení polohy pracovního stroje a návazně i přesné aplikace šetří nejen čas, ale významně i finanční náklady při setí, aplikaci postřiků, hnojiv a při plném využívání pracovního záběru stroje; systémy lze použít nejen na nových traktorech, které mají připravenou instalaci již přímo z výroby, ale i na starších strojích, kde zajišťují bezchybný a plně kontrolovaný pohyb strojů,
- boom nových technologií je nebývalý; nové technologie nám dávají nebývalé možnosti,
- potřeba technologické podpory na farmách je stále důležitější a usnadňuje její zavádění v chovu hospodářských zvířat,
- může být atraktivní zejména pro mladé lidi, mnohé to může do zemědělství přilákat,
- v literatuře je k dispozici obrovské množství výzkumných projektů a vědeckých studií o přijetí technologie, senzorů a počítačových nástrojů pro téměř všechny chované druhy hospodářských zvířat, a tudíž se lze rychle a kvalitně vzdělávat a přebírat nápady a zkušenosti.

### 2.3. Nevýhody PLF

Analýza PLF technologií (Krampe a kol., 2021) odhalila tři společné obavy spotřebitelů:

- integraci technologií PLF se zvýší industrializace v živočišné výrobě;
- hrozí zneužívání a počítačová kriminalita; technologie a data PLF jsou zranitelné,
- informace o PLF nemusí být dostatečně a pravdivě sdělovány, hrozí nesprávná manažerská rozhodnutí.

Analýza PLF technologií (Morrone a kol., 2022) odhalila několik etických problémů:

- hrozí ztráta pracovních míst v zemědělství a nutná rekvalifikace zbývajících zemědělců, protože sledování hospodářských zvířat a péče o ně se zautomatizuje; na farmách tak bude potřeba méně manuálních pracovníků a mnohé ze současných dovedností zastarají,
- pouto upřednostňující vztah mezi lidmi a zvířaty bude slábnout, což by mohlo způsobit, že zemědělci ztratí zájem o profesi a o vztah se zvířaty; to by ale mělo významné dlouhodobé dopady na ekonomiku a objektivní názor na PLF,
- obavy z negativního ovlivnění chovu (např. z týrání zvířat, pokud dojde k havárii),
- na významu nabývají obavy z kybernetické bezpečnosti, týkající se vlastnictví dat, jak jsou data používána a ukládána, a kdo k nim má přístup; to může přispět k nedostatku důvěry v technologii mezi zemědělci a poradci,
- pocity zranitelnosti; zejména v situacích, kdy jsou neustále zapnuty kamery, ze kterých lze zpětně pořídit záznam,
- zvýšení mentální zátěže pracovníků; důvodem může být složitost informací, kterých se týká správa více alarmů nebo výstrah, porucha či selhání zařízení, chybná rozhodnutí velkého významu,
- důležitý je i názor spotřebitelů potravin; v konečném důsledku je rozhodnutí spotřebitelů o nákupu produktů určeno jejich názorem na způsobu získání těchto produktů.



PLF technologie jsou kromě etických problémů nevýhodné také proto, že:

- se začaly přijímat praxí teprve nedávno, je proto třeba nejprve tzv. „vychytat mouchy“,
- počáteční investice do PLF technologií jsou pro farmáře poměrně vysoké, zejména dle počtu chovaných zvířat, resp. aplikace nových technologií,
- pracovníků (zejména manuálních) v zemědělství ubývá, navíc jejich gramotnost (hlavně těch námezdních ze zahraničí) v ovládnutí PLF systémů je téměř nulová,
- ve venkovských oblastech často chybí dostatečné internetové připojení, nebo přístup k němu je obtížný (ne-li nemožný), problémy mohou nastat i s okamžitou dostupností servisu či dodávky náhradních dílů v případě poruch.
- v zemědělství, které má velmi dlouhý cyklus, než se projeví přínos (typicky jeden hospodářský rok), je rychlé ověřování PLF technologií poměrně problematické,
- vývoj nových metod PLF a senzorů je tak překotný, že velmi brzy mohou být do praxe již zavedené metody a zakoupené senzory (resp. pořízení „moderní“ technologie) zastaralé,
- senzory musí mít baterie s dlouhou výdrží, aby bylo umožněno nepřetržité monitorování v reálném čase; u některých senzorů sice baterie vydrží, ale po dosažení určité kapacity ukládaných dat se data smažou a obnoví se zaznamenávání nových dat,
- farmáři jsou jen zřídka odborníci na biologické vědy a technologie, proto často využívají pro údržbu technologických komponent a interpretaci dat specializovaný sektor služeb, který však většinou nemusí být levný a dostupný zrovna v potřebnou dobu,
- nedostatek spolupráce mezi vědci, inženýry v praxi a dodavateli technologií vede k nízké míře přijetí technologií PLF na farmách.

#### 2.4. Současný stav řešené problematiky

Současný trend úbytku pracovních sil v zemědělství má za následek vyšší poptávku po zvyšování podílu mechanizace a automatizace. Zároveň se zvyšováním počtu strojů roste i tlak na jejich zdokonalování tak, aby dokázaly některé lidské činnosti zcela nahradit. Obdobný tlak je na snižování nákladů, zvyšování efektivity a rentability výroby a zároveň i na řešení globálních klimatických změn. Mnoho vědeckých studií ale potvrzuje, že výhody a nevýhody PLF technologií nejsou tak jednoznačné, jak se na první pohled zdá. Dokladují to i zkušenosti z praxe. Skutečnost je mnohem složitější zejména v tom, že záleží na úrovni společnosti a jejím každém jedinci, na historii, prostředí, zvířatech a mnoha dalších faktorech.

Obecný úvod do precizního chovu hospodářských zvířat příkladně charakterizoval Berckmans (2006, 2017): „PLF je multidisciplinární věda, která vyžaduje spolupráci přinejmenším mezi odborníky a vědci z oboru chovu zvířat, fyziology, veterináři, etology, inženýry, a odborníky na informační a komunikační technologie. PLF si klade za cíl nabídnout farmářům systém monitorování a řízení v reálném čase. To se zásadně liší od jiných přístupů, které se pokoušely monitorovat dobré životní podmínky zvířat pomocí expertů, kteří hodnotili ukazatele založené na pozorování a měření zvířat. Tyto metody ale nezlepšují život chovaných zvířat okamžitě. Je snadné odhalit problém poté, co zvíře dorazilo na jatka, ale mnohem lepší je odhalit problém během chovu zvířete a okamžitě zasáhnout. Myšlenkou PLF je poskytovat varování v reálném čase, když se něco pokazí, tak farmář může okamžitě podniknout kroky k vyřešení problému. Aby byla technologie PLF dále uvedena do praxe, je pro implementaci spolehlivých řešení vyžadován intenzivní vývoj a testování technologií PLF na skutečných farmách. Pro další rozvoj a zavádění takových podpůrných systémů řízení PLF je třeba respektovat některé základní principy“.

Berckmans (2017) k tomu dodává: „Nedávno realizovaný největší evropský výzkumný projekt na PLF, "Projekt EU-PLF", ukázal, že je skutečně realistické přenést technologii PLF do komerčních chovů hospodářských zvířat. Bylo prokázáno, že technologie PLF může fungovat na úrovni farmy. Nová technologie dnes nabízí vzrušující příležitosti k vývoji produktů pro automatické monitorování a řízení, které pomáhají zemědělcům zůstat konkurenceschopnými a zároveň splňují mnoho požadavků a otázek, které jim společnost ukládá. Technologie je však jen nástrojem, který podporuje mnoho zemědělců, kteří přijímají rozhodnutí. Biologický proces je příliš složitý na to, aby nahradil zemědělce

technologií. Tato technologie nabídne více možností, jak ušetřit peníze, změnit životy zemědělců tím, že uspoří čas věnovaný práci, a získat monitorovací a řídicí systém, aby bylo možné lépe přistupovat ke genetickému potenciálu dnešních druhů hospodářských zvířat.“

Podle Hostiou a kol. (2017) mohou mít technologie PLF pozitivní dopad na práci chovatelů dojníc a jsou atraktivní hlavně pro mladé lidi. Nejde ale jen o věk, podstatné je zapálení zemědělců a ochota se inovacím věnovat. Pokud však nástroje nejsou přizpůsobeny potřebám a dovednostem zemědělců, může PLF také vést k negativním dopadům na zemědělce a zvířata. Je proto zásadní zvážit různé dimenze práce zemědělců, aby se usnadnilo rozhodnutí k přijetí nových technologií.

Podle Lovarelli a kol. (2020) PLF se šíří po celém světě pro své výhodné aplikace na farmách s chovem hospodářských zvířat, a to v intenzivních i méně intenzivních systémech. Potřeba technologické podpory na farmách je stále důležitější a usnadňuje její zavádění na farmách. Při hodnocení přínosů PLF je nutné zohlednit i aspekty zdraví, dobrých životních podmínek zvířat, výši produkce, chování zvířat, podmínkami stájí a vlivem všech těchto aspektů na tři pilíře udržitelnosti: environmentální, ekonomický a sociální.

Z hlavních zjištění lze podtrhnout, že PLF přináší farmářům přínosy z hlediska environmentální, ekonomické a sociální udržitelnosti, ale tyto přínosy dosud nebyly kvantifikovány pomocí konkrétních metod hodnocení udržitelnosti. Proto je důležité, aby se výzkumy v blízké budoucnosti zaměřily nejen na technologická vylepšení nástrojů a senzorů, ale také na aspekty environmentální, ekonomické a sociální udržitelnosti živočišné výroby, které mají dopad jak na zemědělce, tak na komunitu a spotřebitele. Role PLF je stále důležitější a podpoří proces rozhodování zemědělců, změní jejich roli na farmě a jejich pohled na řízení a umožní sledovatelnost produktů a kontrolu kvality produktů a zvířat.

Tullo a kol. (2019) studovali zejména vliv PLF na životní prostředí. Zdůrazňují, že primárním cílem PLF je učinit chov hospodářských zvířat environmentálně, ekonomicky a sociálně udržitelnějším, a toho lze dosáhnout pozorováním, interpretací chování a pokud možno individuální kontrolou zvířat. Přijetí PLF na podporu strategií řízení může navíc vést ke snížení negativního dopadu farmaření na životní prostředí. V současné době již několik studií uvádí účinnost PLF při snižování dopadu na životní prostředí, nicméně k lepší analýze skutečného potenciálu PLF jako strategie zmírňování jsou nutné další studie. Literatura ukazuje potenciál aplikace PLF, protože zavedení PLF na farmách může vést ke snížení emisí skleníkových plynů a amoniaku do ovzduší, dusičnanů a antibiotik do vodních zdrojů, fosforu, antibiotik a těžkých kovů do půdy.

Vlivem klimatu na živočišnou produkci se zabývali také Cheng a kol. (2022). Zjistili, že hospodářská zvířata jsou změnou klimatu významně ovlivňována a zároveň posilují změnu klimatu prostřednictvím emisí. Existují však adaptační a zmírňující opatření, která mohou omezit dopady změny klimatu. Kromě toho je zmírňování změn klimatu klíčem k omezení budoucího rozsahu změny klimatu. Jednou z řady možných strategií, jak toho dosáhnout, je právě využití vhodných technologií PLF.

Pro realizaci precizní živočišné výroby je podle Zhang a kol. (2021) nutné urychlit popularizaci inteligentních technologií, jako je kontrola životního prostředí, včasné varování před chorobami, přesné krmení a dálková diagnostika.

V současné době jsou k dispozici přesné, výkonné a někdy i levné nástroje – patří sem kamery, mikrofony, senzory, bezdrátové síťové systémy, připojení k internetu a cloudová úložiště. Tyto technologické nástroje nemají nahradit práci farmáře, ale spíše pomoci farmáři, který stále zůstává nejdůležitějším aspektem dobrého hospodaření se zvířaty. Velký potenciál PLF je zaměřen na včasné varování, které farmáři nabízí možnost jednat, jakmile se objeví první známky zhoršené pohody nebo zdraví hospodářských zvířat (Dominiak a kol., 2017).

Pro získání funkčního monitorovacího a řídicího systému u zvířat musí být podle Morrone a kol. (2022) splněny tři podmínky:

- neustálé sledování a analyzování proměnných,
- dostupnost a realistická prognóza (očekávání), jak se budou lišit proměnné zvířete nebo jak se bude zvíře lišit v reakci na změny prostředí,
- prognózy budou společně s digitálním měřením začleněny do analytického algoritmu pro automatizaci sledování nebo řízení zvířat a pro online sledování zdraví zvířat a pohodu chovu.

## 2.5. Experimentální část s popisem ověřování v rámci projektů

### 2.5.1. Zpracování obrazu

V našem výzkumu jsme se soustředili na použití multispektrální kamery umístěné na bezpilotním prostředku (UAV, Unmanned Aerial Vehicle). Bylo možné využít i satelitní snímky, ale vzhledem k tomu, že touto problematikou se intenzivně zabývají i jiné výzkumné týmy, k tomuto výzkumu jsme nepřistoupili.

Kameru jsme použili pro:

- a) odhad vhodnosti termínu pro sklizeň píceiny,
- b) změření skladových zásob krmiv,
- c) změření teploty čelního profilu siláže termovizí.

#### **Ad a) Odhad vhodnosti termínu pro sklizeň píceiny**

Na této problematice jsme spolupracovali s Ing. Jiřím Janouškem z Vysokého učení technického v Brně. Naše poznatky jsou shrnuty v práci Janoušek a kol. (2021). Pokusy probíhaly na pozemcích zemědělského podniku Bonagro Blažovice, a.s. v roce 2020. Pro přesnější predikci optimální doby sklizně byl zvolen přístup, založený na hledání korelací mezi chemickou analýzou odebraných vzorků kukuřice a snímků získaných multispektrální kamerou RedEdge od firmy MicaSense, upevněné na UAV letounu DJI Matrice 600 pro.

Kamera prováděla záznam celkem v 5 úzkých spektrálních pásmech s rozlišením každého snímače 1280 x 940 pixelů. Byly snímány úzké pásy vlnových délek v oblastech pro lidské oko citlivé, tedy v rozsahu 400 až 700 nm pro modrou, zelenou a červenou barvu, včetně okraje červené oblasti viditelného světla a pro lidský zrak neviditelné oblasti blízké infračervené. Pro snímání bylo nastaveno automatické porizování snímků na základě přesné polohy UAV letounu. Pro vytvoření letové trasy byla využita aplikace Pix4D Capture. Celková plocha sledovaného porostu měla tvar obdélníku o rozměrech 401 m x 331 m, tedy přibližně 13,2 ha. Celková dráha letu měla délku 4 477 m. Při snímání zkoumané plochy trval let 31 minut při překryvu jednotlivých snímků 70 %. Letoun UAV prováděl snímání rychlostí 8,6 km/h ve výšce 40 m nad povrchem země. V každém snímaném pásmu bylo pořízeno vždy 450 snímků s rozlišením 2,78 cm/pixel.

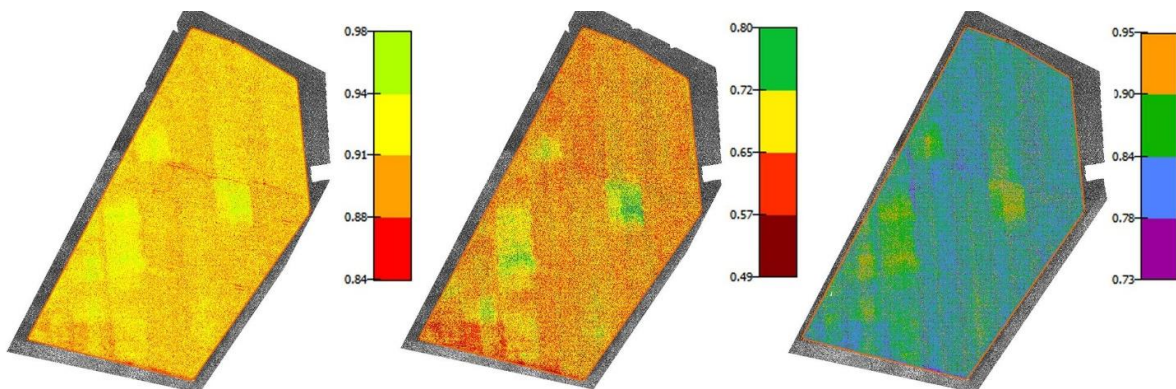
Z pořízených multispektrálních snímků získaných pomocí multispektrální kamery na UAV letounu byly vytvořeny mapy odrazivosti, ze kterých byly dále počítány 3 vegetační indexy: NDVI (Normalized difference vegetation index), NDRE (Normalized difference red-edge index) a GNDVI (Green normalized difference vegetation index). NDVI zobrazuje hrubý odhad zdravotního stavu, resp. stresu vegetace a umožňuje odhad změn v produkci biomasy v prostoru a čase.

Islam a Garcia (2014) také prokázali, že relativní data NDVI lze použít i k předpovědi výnosu sušiny v různé vegetační fázi rostlin kukuřice, pěstovaných na siláž. Také práce Herrmann a kol. (2020) potvrdila možnost použití NDVI pro predikci výnosu sušiny v různé vegetační fázi rostlin kukuřice, pěstovaných na siláž. Uvádějí také, že index NDRE umožňuje na polích s vysokou hustotou vegetace detailněji rozlišit úroveň jednotlivých produkčních zón. Index GNDVI je citlivý na změnu obsahu chlorofylu v plodině, a tudíž dobře signalizuje stárnutí rostlin, resp. porostu. Tyto indexy se vždy pohybují mezi hodnotami 0 a 1,0. S postupem vegetační doby mají jejich hodnoty klesající tendenci.

V publikaci Janoušek a kol. (2021) 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 multispektrálních snímků. Podrobněji je rozebrán výpočet korelačních koeficientů a vyhodnocení statisticky významných lineárních závislostí mezi vegetačními indexy a nutričními hodnotami. Na obr. 1 je několik typů UAV (vlevo letouny, vpravo drony). Na obr. 2 je ukázka map indexů NDVI, NDRE a GNDVI zkoumaného pole kukuřice v pátém týdnu snímání, kdy už byl porost připravený ke sklizni.



Obr. 1: Ukázka několika typů UAV, používaných k monitorování porostů na poli



Obr. 2: Ukázka získaných map zkoumaného pole v pátém týdnu snímání. Zleva mapa indexů NDVI, NDRE a GNDVI

Z obrázku 2 je patrné, že index NDVI označil na poli místa se zvýšenou hustotou vegetace, a tedy i s nejvyšším výnosem, index NDRE je označil ještě výrazněji, index GNDVI poskytl indicie, že porost již začíná stárnout, a proto bude brzy nutné začít sklízet. Studie potvrdila, že dobu sklizně i předpokládaný výnos a jeho rozložení na poli lze efektně a poměrně přesně určit dálkovým snímáním multispektrální kamerou na UAV.

#### Ad b) Změření skladových zásob krmiv

Obdobně v zemědělském podniku Bonagro Blažovice, a.s. bylo uskutečněno pomocí UAV dronu s multispektrální kamerou skenování plochy silážních žlabů a jejich naplněnosti, čímž vedení podniku mělo neustálý přehled o stavu krmivové základny (obr. 3). Záznamy obrazů může vedení podniku využít i pro upřesnění, kde se v areálu i mimo něj nacházejí např. stroje. Množství siláže se stanoví s použitím 3D programu a rovnice, do které se dosazuje stanovený nebo odhadnutý obsah sušiny

a odhadnutá objemová hmotnost siláže. Zjistí-li farmář při pravidelném monitoringu krmivové základny, že se zásoby krmiva rychle zmenšují, může včas učinit taková opatření, aby tomu tak nebylo, např. úpravou směsné krmné dávky (TMR), snížením stavu zvířat nebo nákupem některého krmiva.

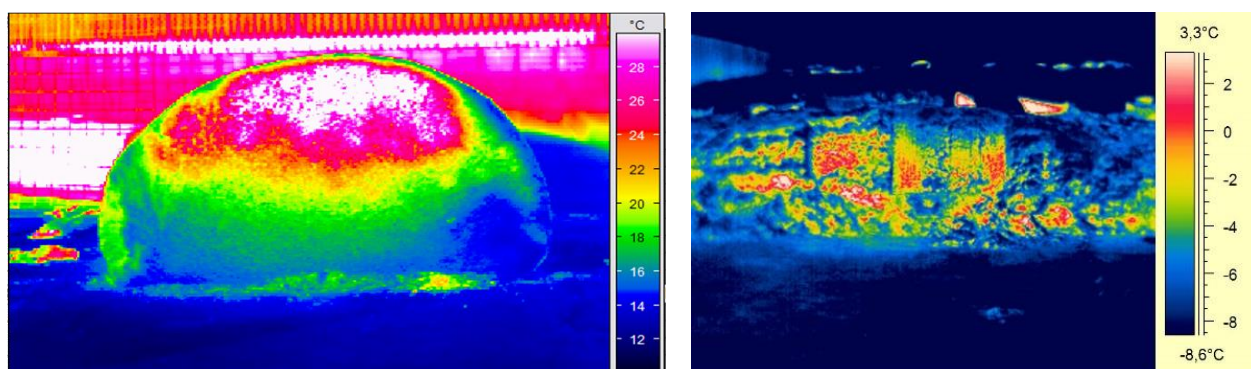


Obr. 3: Snímek areálu skladů krmiv (vlevo) a snímek z 3D projekce objemu krmiva (vpravo)

#### Ad c) Měření teploty čelního profilu siláže termovizí

Termokamery (termovize) měří teplotní pole povrchu měřeného objektu. Důležité je, že zobrazují infračervené záření objektu tak, aby jej bylo možné zaznamenat. Na rozdíl od nočního vidění (to umožňuje tzv. fotonásobič fotonů) termovize nepotřebují žádné světlo, aby mohly obraz zobrazit. Pomocí termovize lze sledovat pohyb zvíře za tmy, ale stejně tak dobře také ve dne, dokonce i v porostu. Tepelný kontrast lze velmi obtížně zamaskovat.

Využití termovize k záchraně volně žijící zvíře v průběhu sklizně pícnin, či ke zjištění zánětlivého onemocnění končetin nebo vemene je již v praxi celkem běžná záležitost. Mnohem méně se zatím termovize v praxi používá k měření teploty čelního profilu siláže. Přitom to je celkem jednoduchá záležitost, která vede k rychlému a správnému rozhodnutí, jak odebírat siláž ze silážních prostor, případně zda partii siláže se zvýšenou teplotou, která signalizuje kažení, raději zvířatům vůbec nedávat. Povrchová teplota se měří při odběru siláže ze silážního žlabu hlavně proto, že tam se ukazují největší problémy: siláž se totiž kazí nejvíce v horních a bočních partiích a také tam, kde byl její odběr v poslední době nízký. Teplota může také odhalit nedostatky, které vznikly již v době naskladňování řezanky do silážního žlabu (např. nedostatečně zavadnuté nebo příliš rychlé naskladňované řezanky, její nedostatečné dusání, její špatné zakrytí). Pro měření povrchové teploty se používají různé termokamery, od těch, které mohou být v součásti mobilního telefonu v ceně zhruba 12 tisíc Kč, tak velké termokamery s mimořádně vysokou kvalitou zobrazení, s pořizovacími náklady vyššími než 200 tisíc Kč.



Obr. 4: Ukázka snímků z termokamery: vlevo profil siláže ve vaku, vpravo v silážním žlabu

Vzhledem k tomu, že oxidační proces je doprovázen vývojem tepla, zvýšení teploty je vhodným indikátorem rozsahu a intenzity aerobního zhoršení kvality siláže, spojeného s narůstáním ztrát organické hmoty. Teplota siláže se proto často používá jako indikátor nebo alarm. Během odběru siláže ze sila mohou být současně přítomny různé stupně aerobního zhoršení, siláž se tedy může na různých místech kazit jinak (např. v místě, kde je stabilně stín, se siláž kazí podstatně méně, než v místě, kam svítí slunce po většinu dne). Přesné hodnocení mikrobiologické a chemické kvality celé odběrové plochy siláže na farmě je v současné době velmi problematické, ale přitom dost zásadní.

Měření teploty infračervenou termografií je bohužel výrazně ovlivněno povětrnostními podmínkami (slunečno, pod mrakem, déšť) a tím, že se tímto způsobem měří jen teplota na povrchu. K překonání problému by částečně pomohlo skenovat siláž vždy pravidelně krátce po odběru siláže ze silážního žlabu po odstranění asi 20 až 30 centimetrové vrstvy siláže z čelní strany siláže nebo použitím kontaktního teploměru, zasunutého do siláže do požadované hloubky (obvykle 20–30 cm).

## **Závěr**

Zpracování obrazu multispektrální kamerou je vhodnou metodou pro odhad termínu sklizně pícniny, metoda dává podstatně lepší přehled o celé ploše dané pícniny než klasická obhlídka agronoma, který vstoupí jen do části sklizeného porostu. S úspěchem bylo ověřeno i využití 3D projekce ke změření skladových zásob siláží na farmě, nebo použití termovize při skenování teploty siláží v silážních skladech.

### **2.5.2. Kontrola teploty krmiva pomocí teplotních čidel**

Teplota krmiva je velmi významným ukazatelem kvality siláže, senáže, sena i jadrných krmiv. Teplota krmiva se zvyšuje činností aerobních mikroorganismů a navíc i s přispěním působení vyšší vnější teploty. Důležité je znát především teplotu uvnitř masy krmiva. Možností měření teploty krmiva je několik. Pro rychlou orientaci stačí změřit teplotu jednorázově namátkou, většinou se ale nyní používají teplotní senzory, které měří teplotu téměř kontinuálně (v krátkých intervalech – délku intervalu lze většinou nastavit), a navíc ji zaznamenávají do datového úložiště; dokonce některá teplotní čidla naměřené teploty do datového úložiště dálkově přenášejí bezdrátově.

Měření teploty je velmi důležité zejména u siláže. Pokud se totiž její teplota zvýší nad 40 °C, může spustit neenzymatickou Maillardovu reakci, která snižuje výživnou hodnotu siláže tvorbou nestrávitelného komplexu redukujících sacharidů a dusíku z aminokyselin v ADF (acid detergent fiber), tzv. ADIN (nerozpustný dusík v kyselém detergentu). Jak ale uvádí Muck a kol. (2018), Maillardova reakce by se mohla projevit u siláže s nižším obsahem sušiny již při teplotě 35 °C. V praxi je třeba udělat vše pro to, aby teplota na tak vysokou hodnotu nestoupala. Aby se prokázalo, že se v siláži zvýšila teplota nad 40 °C, lze využít kontrolu teploty pomocí bateriových čidel Thermochron (předem umístěných dovnitř siláže) nebo tyčových teploměrů, které lze „zapíchnout“ do siláže dodatečně (mají většinou dosah tyče 0,5 nebo 1 metr). Oba typy čidel se používají pro kontrolu průběhu fermentace a skladování siláží, případně pro měření aerobní stability siláže.

## **Bateriová čidla Thermochron**

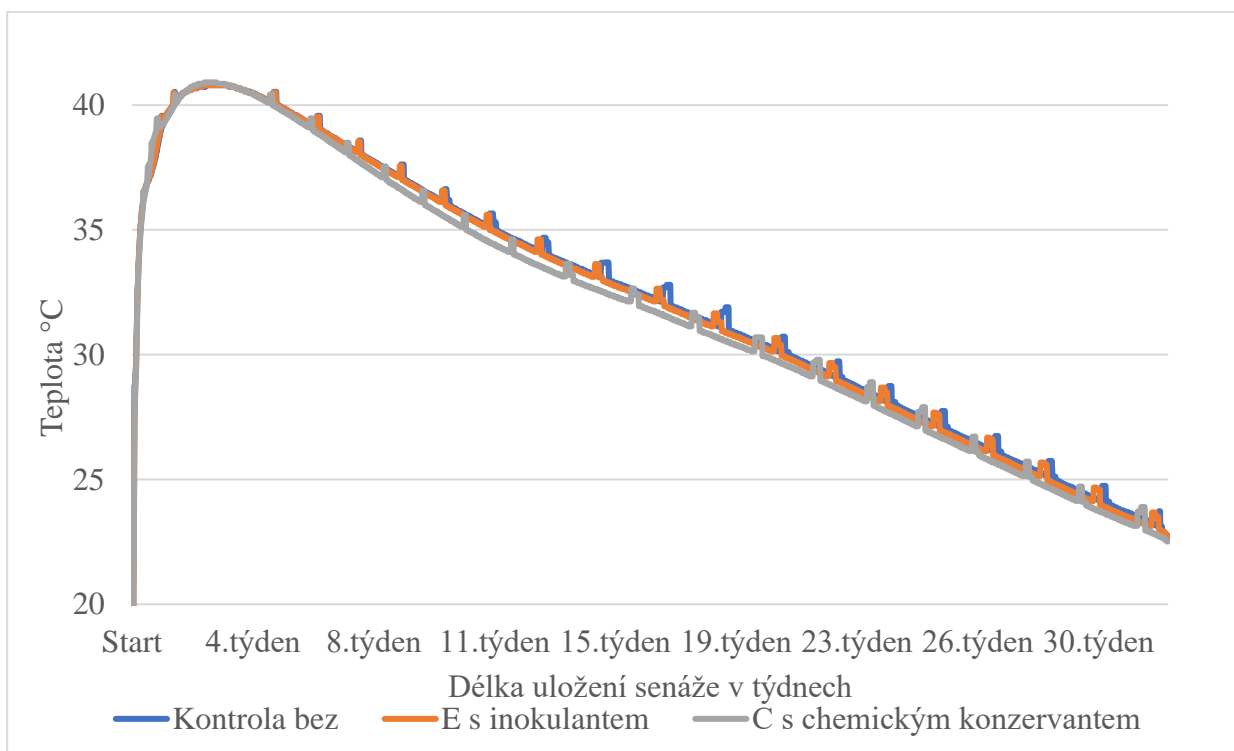
Bateriová čidla Thermochron (iButton Device DS 1921G-FS#, výrobce Maxim Integrated, USA) se používají k měření teploty siláží již od roku 2014. Každoročně v rámci předešlých výzkumných projektů VÚŽV se měří teplota pomocí těchto bateriových čidel pokusných siláží kukuřice i senáží vojtěšky. Speciální teplotní čidla Thermochron pracují s přesností 0,065 °C nebo 0,5 °C v rozpětí minus 20 do 85 °C. Teplotní čidla jsou velikosti baterie do hodinek, mohou zaznamenávat teplotu i několik let v pravidelných intervalech (celkem až tisíc záznamů). Interval měření záleží na nastavení, které má velmi mnoho variant. Výsledek se načítá pomocí čtečky, která je součástí setu, naměřené hodnoty se zaznamenávají do Excelové tabulky v počítači. Na obr. 5 je několik bateriových čidel Thermochron z lícové i rubové strany a čtečka, která má univerzální sériovou koncovku (USB) pro přenos do počítače. Ukázka průběhu fermentace vojtěškové senáže je uvedena v grafu 1, ukázka průběhu fermentace kukuřičné siláže je zaznamenána v grafu 2.



Obr. 5: Snímek bateriového teploměru Thermochron se čtečkou

Teplota vojtěškové senáže během fermentace byla měřena např. v našem posledním pokuse, ve kterém byla silážována vojtěška o obsahu sušiny cca 27 % (graf 1). Byla simulována sklizeň, která proběhla sice u vojtěšky ve vhodnou vegetační dobou, ale s nutností pouze krátkého zavádání před příchodem deště. Kromě kontrolní varianty bez konzervantu bylo ověřováno několik dalších variant s použitím vybraných biologických (E) a chemických (C) přípravků, celkem bylo hodnoceno 28 siláží. Pokus trval 33 týdnů, po tu dobu byly siláže uloženy ve speciálních pytlích uvnitř siláže v silážním žlabu. Z grafu 1 lze vyčíst, jak se teplota u jednotlivých variant siláží měnila s dobou jejich uskladnění v siláží v silážním žlabu. Když pokus začal, teplota řezanky vojtěšky v tu dobu byla v průměru 24,5 °C. Pytle se siláží byly ze silážního žlabu odebrány za 33 týdnů, tj. 231 dnů, teplota siláží vojtěšky v tu dobu byla v průměru 22,5 °C. Teplota kulminovala po 14 dnech uložení pytlů v silážním žlabu a dosáhla 41 °C. To je ale již teplota indikující Maillardovu reakci (Muck a kol. 2018). Zvýšení teploty nad 40 °C trvalo 27 dnů. To je již dost dlouhá doba na to, aby se snížila výživná hodnota siláže tvorbou nestravitelného komplexu dusíku z aminokyselin v ADF. Ačkoliv měření pomocí bateriových čidel proběhlo celkem u 28 siláží, tak rozdíl v teplotách mezi jednotlivými variantami siláží byl po celou dobu pokusu minimální, nepřesáhl 1 °C.

Graf 1: Ukázka průběhu teplot během fermentace vojtěškové senáže s různými variantami přípravků

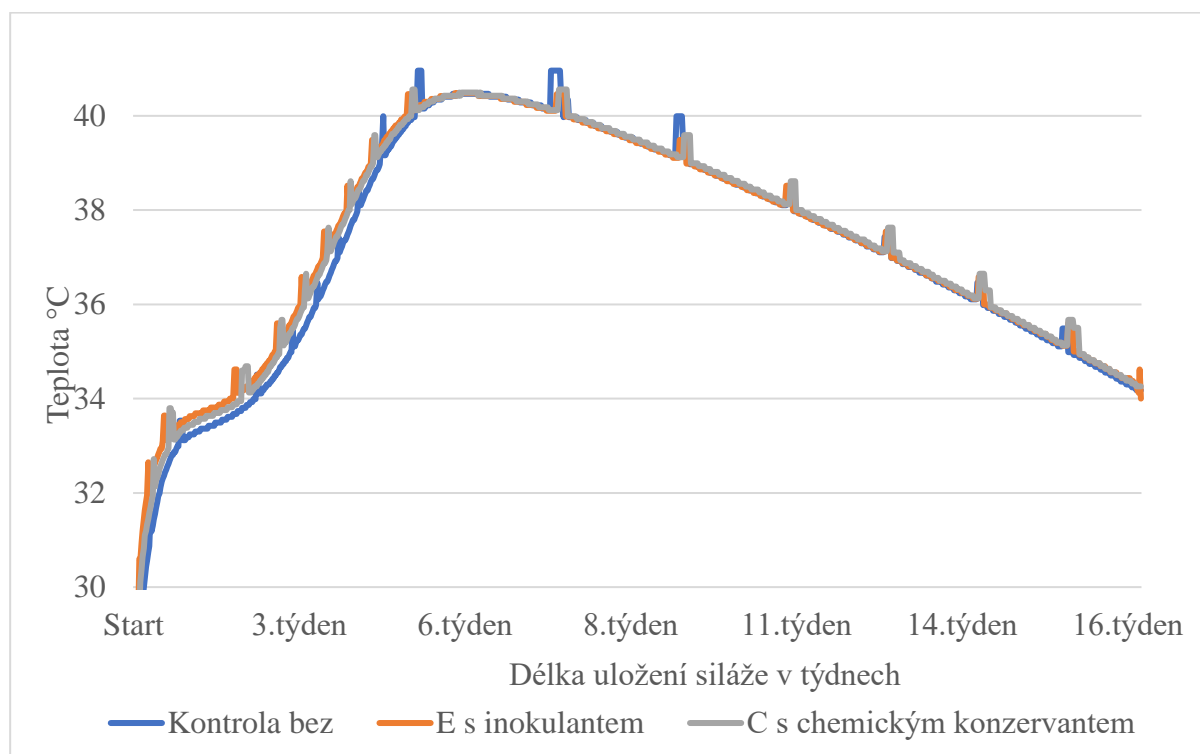


Změny teploty byly měřeny také u kukuřičných siláží. Opět byly do pokusu zařazeny varianty bez konzervačního přípravku a varianty s přípravkem biologickým (E) a chemickým (N). Z grafu 2 lze vyčíst, jak se teplota u jednotlivých variant kukuřičných siláží měnila s dobou jejich uskladnění v siláži v silážním žlabu. Křivka vzestupu teploty na začátku fermentace má u kukuřice (ve srovnání s vojtěškou) několikadenní utlumení rychlosti, což nastává zhruba mezi teplotou 33 a 35 °C. Lze si to vysvětlit tím, že se začnou množit jiné kmeny bakterií, především ty heterofermentativní, které vyprodukují více tepla při tvorbě kyseliny octové (Muck a kol. 2018). Kukuřice byla silážována o sušiny cca 28 % a obsahu škrobu 22,6 % v sušině. Ani v tomto případě (ve srovnání s pokusem s vojtěškou) nebyla sušina sklizené píce ideální (kukuřice se doporučuje sklízet o sušiny cca 33–35 %, vojtěška o sušiny 35–40 °C). Teplota se dostala na hranici 40 °C, tedy zhruba o 15 °C více než na začátku měření (25 °C), za 30 dnů. Zvýšení teploty nad 40 °C trvalo 19 dnů. V té době probíhala v silážích Maillardova reakce. Pak již teplota postupně klesala. Rozdíly mezi variantami byly opět minimální, ne vyšší než 1 °C.

Z obou pokusů vyplývá, že při sklizni píce (jak vojtěšky, tak kukuřice) o nižší sušiny se teplota v průběhu fermentace dostane vlivem působení mikroorganismů většinou nad hranici 40 °C, která je indikátorem vzniku Maillardovy reakce, čímž dochází k „znepřístupnění“ živin v siláži vlivem vzniku nestravitelného komplexu. Proto je nutné udělat vše pro to, aby byly pícniny sklizeny ve vhodném vegetačním stádiu a ve vhodné sušiny hmoty při sklizni.

V průběhu měření vykazovala čidla krátkodobé zvýšení teploty o cca 0,25 °C, v době stoupající teploty (v první třetině testu) s kratšími intervaly než v době klesající teploty (v dalších 2/3 testu). Krátkodobé zvýšení bylo nejvyšší u kontrolní (K) varianty v době kulminace teplot. Vedlejším poznatkem je, že ke krátkodobému zvýšení teploty u Thermochron čidel nedocházelo v pravidelném časovém intervalu, ale v intervalu změny teploty maximálně o 1 °C. Může to být vlastnost čidel, ale i vlastnost průběhu fermentace. Z hlediska hodnocení fermentace bylo toto zvýšení teploty o 0,25 °C tak nízké, že není nutné se tím hlouběji zabývat.

Graf 2: Ukázka průběhu teplot během fermentace kukuřičné siláže s různými variantami přípravků



### Aerobní stabilita

U siláží je důležitý nejen výsledek fermentace za anaerobních podmínek, ale i jak dlouho siláž udrží svoji kvalitu, když se k ní dostane vzduch, tedy jakou má aerobní stabilitu. Aerobní stabilita siláže je závislá na několika faktorech, záleží jak na průběhu a výsledcích fermentace, tak na vnějších podmínkách a způsobu manipulace se siláží. Obsáhlý přehled o aerobní stabilitě siláží publikovali např.



Wilkinson a Davies (2013), Oliveira a kol. (2017), Muck a kol. (2018), nebo Arriola a kol. (2021). V jejich obsáhlých přehledech literatury na toto téma konstatují, že aerobní stabilita je většinou definována podle Honiga (1990) dobou, kdy je rozdíl mezi změřenou vnější teplotou a teplotou siláže 2 °C. Test aerobní stability by měl trvat zhruba 7 dnů. Některé metodiky však nyní již pracují se zvýšením teploty o 3 °C s tím, že když se proces rozběhne, tak je velmi rychlý, rozdíl mezi nárůstem o 2 a 3 °C tak bývá jen několik minut nebo hodin. Eliminuje se tak nepřesnost použitých teploměrů.

Jednotnost podle nich není ani v pohledu na celkový stupeň zvýšení teploty siláže. Je podstatné, zda teplota siláže po daném počtu dnů stoupne o 5 nebo o 15 °C. Proto někteří autoři v publikaci uvádějí i maximální dosaženou teplotu testu aerobní stability. Bohužel, jednotnost není ani v pohledu na teplotu, při které má test aerobní stability probíhat. Aerobní stabilita totiž může být měřena při různých vnějších teplotách (většinou v závislosti na roční době a geografickém místě měření). Podmínkou hodnocení proto je, že vnější teplota musí být vždy uváděna jako doplňující informace.

Důvodem tohoto způsobu měření teploty siláže může být požadavek přizpůsobit se praxi. Úplně jinak je totiž nutné hodnotit aerobní stabilitu siláže v teplých oblastech či v letních měsících, než někde na severu nebo v chladných obdobích roku. Obdobně to většinou probíhá v praxi, když je letní období, a navíc slunečno a teplo, je třeba se o siláž daleko lépe starat než v jiném období roku. Příkladný způsob, jak se starat o siláž při odkrývání silážní plachty a frézování siláže pro přípravu TMR je vidět na obr. 6 vlevo.



*Obr. 6: Správná praxe ochrany siláže před aerobní degradací v silážním žlabu (vlevo), aerobní stabilita, měřená teplotními senzory v laboratoři (vpravo)*

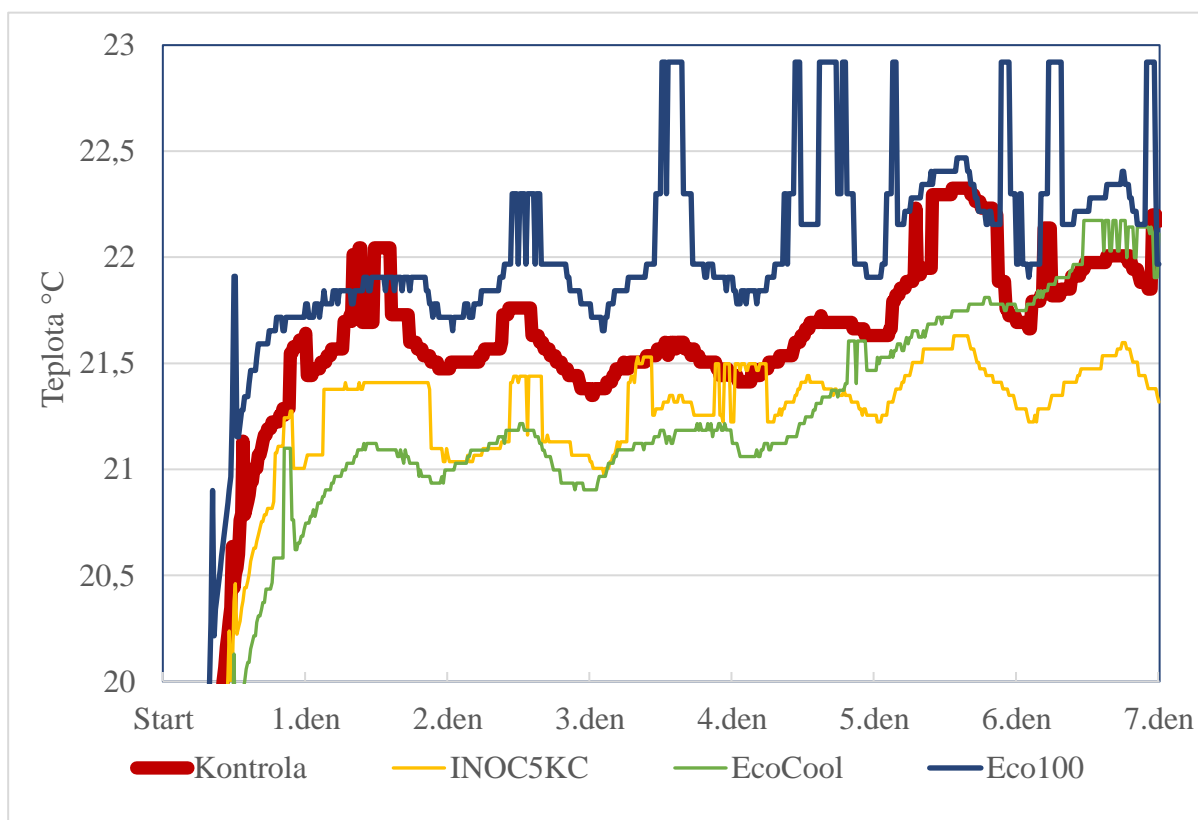
Aerobní stabilita, resp. teplota siláží byla měřena v laboratoři při udržování konstantní vnější teploty (AMB, ambient) jak pomocí bateriových čidel (obr. 5), tak pomocí senzorů, umístěných na konci 10 cm dlouhého čidla, které se vkládá do siláže volně sypané do nádoby o objemu 1 litr. Ta je umístěna v polystyrénovém boxu (obr. 6 vpravo), aby na siláž měla vnější teplota co nejmenší vliv. Zjistili jsme, že aerobní stabilita kukuřičných siláží bývá mnohem nižší než stabilita senáží bílkovinných a polobílkovinných pícnin. Je to dáno hlavně vyšším obsahem zbytkových cukrů, ale i jiných složek siláže nebo senáže. Aerobní nestabilitu způsobují mikroorganismy (především aerobní kvasinky), které se za přítomnosti kyslíku rychle množí, především pokud mají dostatek lehce dostupných živin a příhodné prostředí, tedy teplo a vlhko. Výsledkem jejich aktivity je zvýšení teploty siláže a přeměna fermentačních produktů, především na alkohol a oxid uhličitý.

Pomocí bateriových čidel měříme průběh teploty siláží i po otevření sila a vystavení siláže působení kyslíku, čímž se mohou namnožit bakterie, kvasinky či plísně. Vojtěškové siláže ale bývají poměrně dost aerobně stabilní. To potvrzují i výsledky našeho pokusu. Ačkoliv vojtěška byla silážována o velmi nízkém obsahu sušiny (zhruba 27 %), nebo právě proto, byly všechny varianty siláže aerobně stabilní po celou dobu testu, který trval 7 dnů. Počáteční teplota siláží byla 14,5 °C, konečná teplota byla 22,3 °C, přičemž se ve srovnání s AMB teplotou v laboratoři nezvýšila o 2 °C, což je uznávané

standardní kritérium pro hodnocení aerobní stability. Rozdíly teplot mezi jednotlivými variantami byly minimální, nepřesáhly 1 °C.

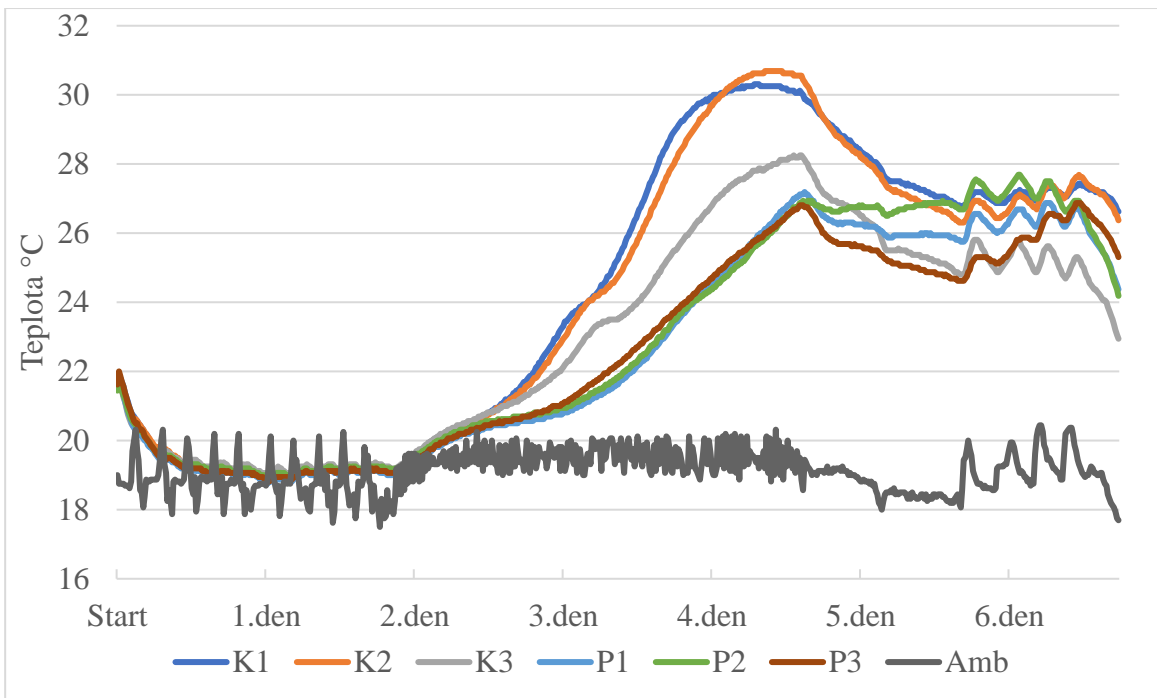
U jiné kukuřičné siláže, silážované také o nízkém obsahu sušiny (29 %), ale s vyšším obsahem škrobu (32,5 % v sušině), jsou uvedeny výsledky aerobní stability v grafu 3. Z průběhu křivek lze vyčíst, že u kontrolní varianty bez přípravku se teplota zvýšila o 2 °C jako první, a to zhruba po 36 hodinách, další vlna zvýšení teploty u ní nastala na začátku šestého dne testu. Ještě vyšších teplot než u kontroly, bylo dosaženo u varianty s bakteriálním přípravkem Ecosyl 100 (Eco100), který obsahuje  $1,54 \times 10^{11}$  homofermentativních bakterií *Lactobacillus plantarum*, aplikovaného v dávce  $1 \times 10^6$  cfu/g siláže (colony-forming unit). Když se k *Lactobacillus plantarum* (v koncentraci  $2,22 \times 10^{10}$ ) přidaly bakterie *Lactobacillus buchneri* (EcoCool) v koncentraci  $4,4 \times 10^{10}$  (aplikované v dávce  $1 \times 10^5$  cfu/g siláže), aerobní stabilita se začala zhoršovat až pátý den testu. Nejlepší výsledek byl dosažen, když se k *Lactobacillus plantarum* přidaly 2 litry kyseliny citronové (INOC5KC) na tunu řezanky. Aerobní stabilita se u této varianty nezhoršila za celou dobu 7 dnů trvání testu. Teplota v laboratoři byla  $20 \pm 1$  °C.

Graf 3: Ukázka průběhu teplot během měření aerobní stability kukuřičné siláže s různými variantami přípravků



Aerobní stabilita pomocí teplotních senzorů, umístěných na konci 10 cm dlouhého čidla, byla měřena i u jiné kukuřičné siláže. Ta měla obsah sušiny naopak vyšší (42,5 %), než je doporučený obsah sušiny ve výši 33–35 %, navíc měla hodně vysoký obsah škrobu (39,2 % v sušině). Kontrolní kukuřičná siláž (K) byla bez silážního přípravku, pokusná (P) s inokulantem BioStabil Mays HC, aplikovaném v dávce 4 g/t řezanky ( $1 \times 10^5$  cfu/g). Přípravek BioStabil Mays obsahoval 3 druhy bakterií: *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus brevis* a *Lactobacillus plantarum*. Hypotéza pro pokus byla, že s daným přípravkem vydrží siláž déle stabilní. Výsledky (graf 4) to potvrdily. Aerobní stabilita u pokusných siláží (P1, P2, P3) vydržela o celý jeden den déle než u siláží kontrolních K1, K2, K3). AMB teplota v laboratoři byla  $19 \pm 0,6$  °C.

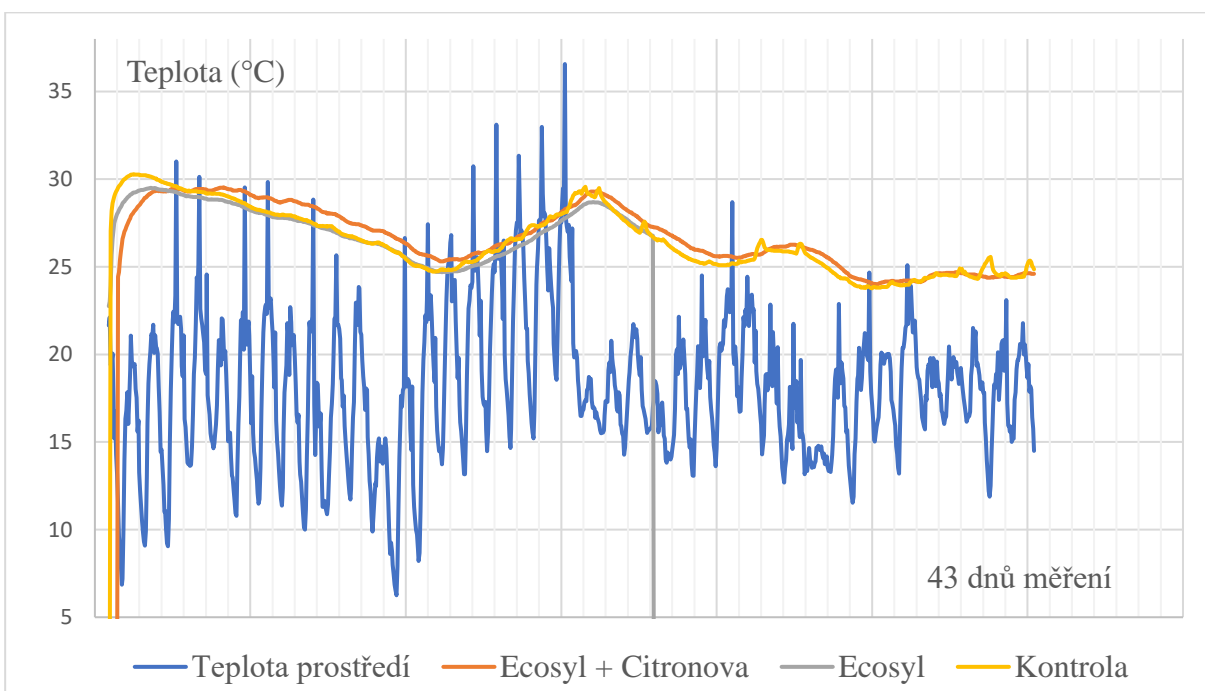
Graf 4: Ukázka průběhu teplot během měření aerobní stability jiné kukuřičné siláže s inokulantem, složený se směsí vybraných homo- a heterofermentativních kmenů bakterií mléčného kvašení



Kromě bateriových senzorů používáme v podmínkách praxe i teploměrové senzory na tyči, která může mít různou délku, většinou půl a jeden metr. Tyč se zapíchne do siláže, většinou jde o siláž v balíku nebo vaku, ale odzkoušeli jsme i měření teploty tyčovými teploměry v silážním žlabu.

Na obr.7 vlevo je ukázka z měření teploty u kulatých obřích balíků s travní senáží o vysokém obsahu sušiny (63 %). Pokus proběhl ve šlechtitelském chovu ovcí plemene Texel v Hrusicích. Teploty mezi variantami byly vyrovnané (graf 5). S malým zpožděním reagovaly na změny venkovní teploty. Použití silážních přípravků u tak vysokého obsahu sušiny v travní senáži se ukázalo jako neefektivní. Pozitivní je, že se teplota v balících (ani u kontrolních vzorků bez přípravku) nedostala přes hranici 40 °C, která je indikátorem Maillardovy reakce.

Graf 5: Ukázka průběhu teplot v balících travní senáže v Hrusicích

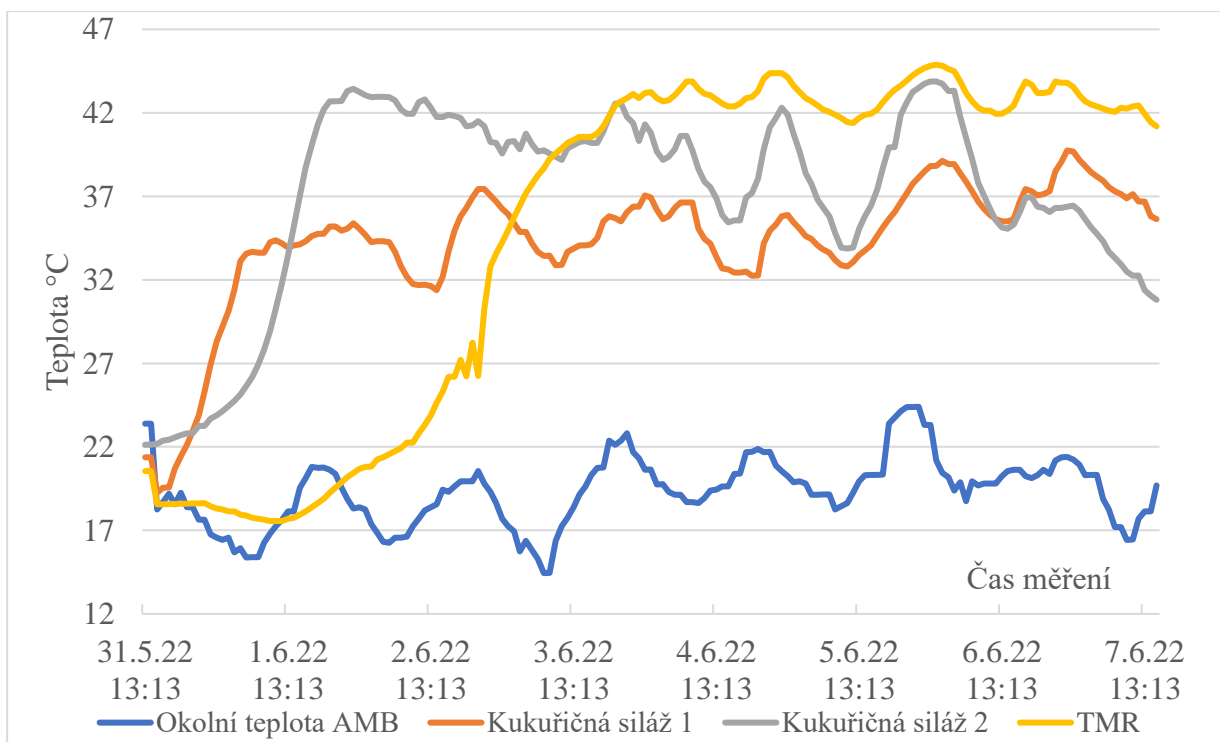




Obr. 7: Tyčové teploměry a datalogger na balících (vlevo) a na silážním vaku (vpravo)

Aby se tak práce více přiblížila praxi při odhadu aerobní stability siláží a TMR, bylo provedeno měření teploty přímo ve stáji, kde se 7 dnů v týdnu ponechal pytel se siláží nebo s kompletní TMR. Dovnitř pytle se instaluje teplotní čidlo. Ukazuje se, že se siláž i TMR z hlediska nárůstu teplot chovají jinak než v laboratoři. Ukázka měření je v grafu 6. Teplota ve stáji byla v průměru  $19,3 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , teplota kukuřičných siláží  $35,6 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a TMR  $34,8 \pm 10,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kukuřičná siláž, která měla obsah sušiny 32,4 %, zvýšila svoji teplotu nad teplotu prostředí o  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  za 10 hodin, TMR za 40 hodin. Teplota jedné kukuřičné siláže se zvýšila za 28 hodin nad  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , což již značí začátek Maillardovy reakce, a od té doby se začínají tvořit nestravitelné komplexy živin. To by sice velký problém nebyl, protože kukuřice obsahuje relativně málo dusíkatých látek (v tomto případě 8,7 % v sušině), ale kukuřičná siláž přispívá ke zvýšení teploty celé TMR. No a teplota TMR se nad  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  dostala za necelé 3 dny. Podle těchto výsledků by kukuřičná siláž měla být odfrézována ve vrstvě cca 20 cm po celé šířce silážního žlabu každý den, přičemž krmné žlaby by měly být čistěny alespoň jednou za 2 dny, aby nedocházelo ke kontaminaci čerstvé TMR starší hmotou z dřívějšího odběru.

Graf 6: Ukázka průběhu teplot při 7denním testu aerobní stability krmiva přímo ve stáji



## Závěr

Soustavným vyhodnocováním teploty z bateriových či tyčových teplotních čidel lze dobře poznat, jak se měnila teplota v průběhu fermentace a skladování siláží, případně jakou má siláž aerobní stabilitu. Zabráni se tím, nebo alespoň významně omezí, ztráty sušiny, energie a živin, které pak chybí k dosažení požadované užitkovosti zvířat, krmených danou siláží.

### 2.5.3. Detekce pH bachorového obsahu

Optimální hodnota kyselosti v bachoru u zdravých zvířat se uvádí většinou v rozmezí pH 6,0–6,8. Je ovlivňována krmivem, jeho prosliněním, produkty fermentace a rychlostí jejich resorpce bachorovou stěnou. Pokud kyselé prostředí v bachoru klesne pod 5,8 pH na delší dobu nebo s větší frekvencí (častěji), dochází k acidózám. Acidóza je definována jako stav vysoké, až patologické překyselení organismu. Představuje nejdůležitější poruchu výživy u skotu, odhaduje se, že touto nemocí onemocní zhruba 19 až 26 % dojnic v první polovině laktace. Acidóza má subakutní a akutní formu. Subakutní bachorová acidóza (SARA) je dočasná nerovnováha mezi produkcí kyselin a jejich absorpcí, když je přežvýkavcům podávána TMR najednou v krátké době s nadměrným obsahem škrobu nebo sacharidů, případně když TMR nemá požadovanou strukturu, resp. fyzikálně efektivní vlákninu (peNDF). Příznaky SARA dlouho unikají pozornosti – jsou nespecifické. Snižuje se obsah tuku v mléce (až na 2 %), zvyšuje se výskyt průjmů a laminitidy (přešlapování, bolestivost při chůzi), dochází také k poruchám reprodukce. Léčba spočívá v úpravě TMR a podání pufrů (např. hydrogenuhličitanu sodného, uhličitanu vápenatého, bentonitu). U vážnějších případů lze inokulovat bachorovou tekutinu od zdravé krávy. K akutní acidóze dochází, když pH bachoru prudce klesá a zůstává po dlouhou dobu nízké (pod 5,2). Akutní bachorová acidóza může způsobit zástavu motoriky bachoru, apatie, svalové třesy a často vede k ulehnutí až dokonce s následkem úhynu zvířete.

Dospělý skot se acidózám brání produkcí slin, kterých denně vylučuje i 150 litrů. Sliny mají alkalické pH 8,2. Obsahují bikarbonáty a fosfáty, které neutralizují a udržují v bachoru hodnotu pH na optimální hodnotě. Z hlediska trávení jsou sliny důležité i pro zvlhčení sousta krmiva při jeho transportu z dutiny ústní a dodávání vody do tráveniny, zvyšují tak její obsah v bachoru a tím je usnadněn pohyb tráveniny v bachoru. Mechanickým rozmělněním krmiva před vstupem do bachoru lze zvýšit jeho příjem a rychlost pasáže do dalších částí zažívacího traktu, ale jen do určitého limitu, po jeho překročení se příjem krmiva radikálně sníží. Pro správnou funkci bachoru je nutné, aby se v něm vytvořila tzv. matrace, ve které se zachycují menší částice než 8 mm, aby byly stráveny v bachoru a neputovaly do dalších částí trávicího traktu. Bachorový obsah se musí promíchávat. Za den proběhne v bachoru asi 2 500 vlnivých stahů, které jsou poměrně intenzivní. Hlavní, primární stahy trvají asi 4 vteřiny a mají průměrný rytmus 1,5 stahu za minutu v průběhu příjmu krmiva a jeden stah za minutu v době mimo příjem krmiva. Poměr mezi délkou rotace (stahu) a klidem udává bachorový kvocient (BQ), který se fyziologicky pohybuje mezi 2,4 a 3,0, při našem posledním měření byl mezi 2,4 a 2,7.

Hodnoty pH a teploty v bachoru lze měřit diagnostickým přístrojem, který je umístěn v bolusu. Pro měření pH a teploty v bachoru byly vybrány 2 typy bolusů, eCOW a SmaXtec. Naměřené hodnoty lze bezdrátově pomocí aplikace v „chytrém“ mobilním telefonu načíst do počítače a průběžně vyhodnocovat. Lze tak sledovat stav zvířat v reálném čase a reagovat na kritické hodnoty změnou krmné dávky. Díky včasné informaci o stavu pH v bachorové tekutině lze zabránit poklesu pH pod fyziologickou hodnotu (5,8) a tím zabránit nejen poklesu příjmu krmiva, užitkovosti, ale také i předejít reprodukčním problémům. Zvýšením obsahu vlákniny v bachoru dojnic docílíme lepšího přežvykování, zvýšení produkce slin a zvýšení pH v bachoru. Teplotní senzor v bolusu umožňuje monitorovat příjem krmiva a vody v bachoru. Běžná teplota bachoru je 39 až 40 °C, tedy často o 1 °C vyšší než teplota těla. Teplota bachoru se krátkodobě sníží vlivem příjmu studeného krmiva nebo vody (venkovní teplota v létě je 28 °C a v zimě okolo 10 °C). Je-li teplota v bachoru vyšší než 40 °C, je podezření na zánět v těle (mastitida). Pak je vhodné tuto situaci konzultovat s veterinářem. Dalším indikátorem infekce bývá nízký příjem vody a pokles pH bachoru.

Místem určení (uložení) bolusu je bachor, resp. čepce (retikulum), na jehož dně se bolus usadí. Protože však bachor a čepce jsou v podstatě dvě spojené nádoby, lze z údajů o prostředí v čepci usuzovat i o prostředí v bachoru. Aby se bolus do bachoru, resp. čepce, skrz jícn dostal, musí mít vhodný tvar a velikost, většinou má průměr 30 mm a délku 140 mm, jeho povrch je hladký, aplikační zakončení oválné (případně se doporučuje bolus z aplikační strany namočit do jedlého oleje, aby lépe uvnitř jícnu klouzal).

Aby se bolus nedostal do plic, je aplikován pomocí speciálního aplikačního zařízení. Po vpravení do bachoru se bolus musí co nejrychleji usadit na dně čepce. Z tohoto důvodu je důležité zajistit, aby vláknitý materiál v bachoru nebyl příliš hustý. Proto by krávy neměly žrát těsně před aplikací bolusu.

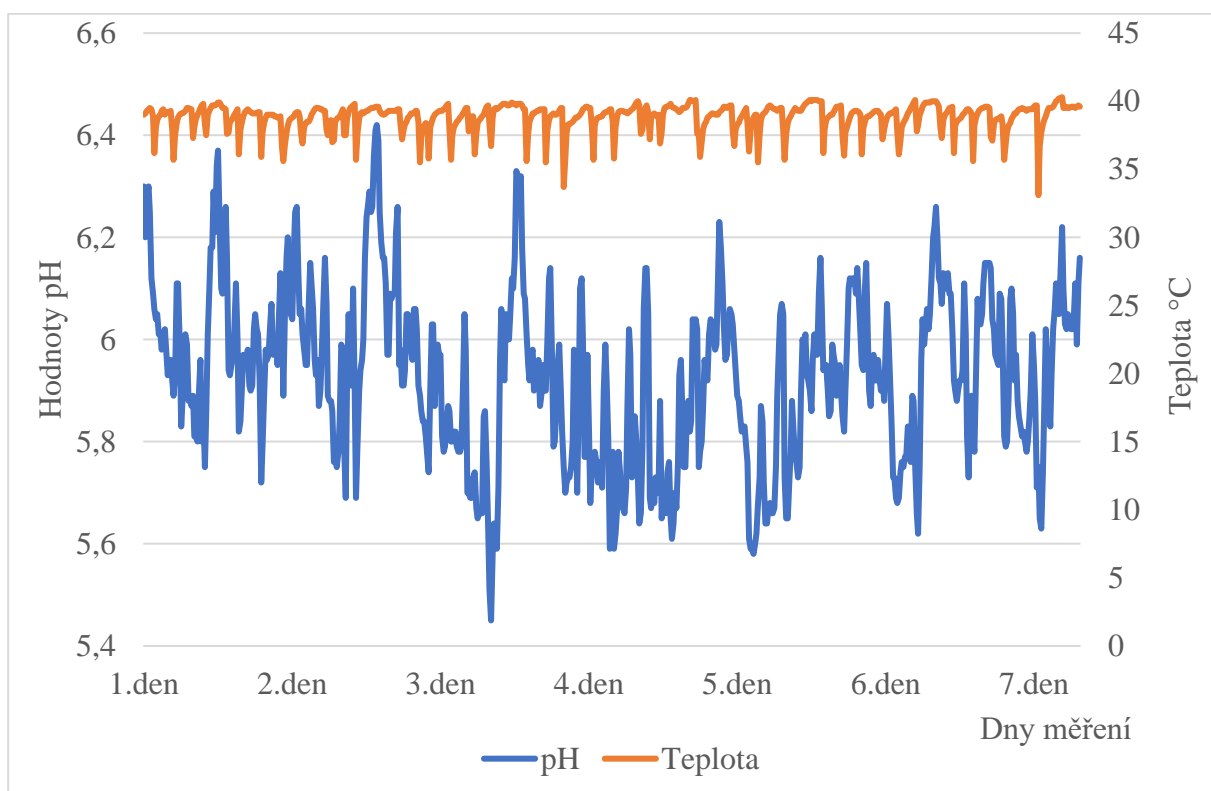
Bachorové bolusy nejsou určeny k opětovnému použití. Bolusy není možné z finančních i provozních důvodů použít pro všechny dojnice na farmě, bolus se proto vpravuje do bachoru jen několika vybraným dojnícím ve skupině. Z výsledků měření u těchto vybraných dojnic se usuzuje o stavu prostředí v bachoru i u ostatních dojnic ve skupině. Je třeba si ale uvědomit, že každé zvíře je individualita. Pokud se však za delší dobu pozorování, resp. měření o zvířeti a skupině, ve které žije, vytvoří vzorec normálního chování a normálních projevů fyziologických funkcí, je možné na posun od standardu rychle reagovat. Na tom je PLF založeno.



Obr. 8: Obrázek bolusu eCOW (vlevo) a aplikátoru (vpravo)

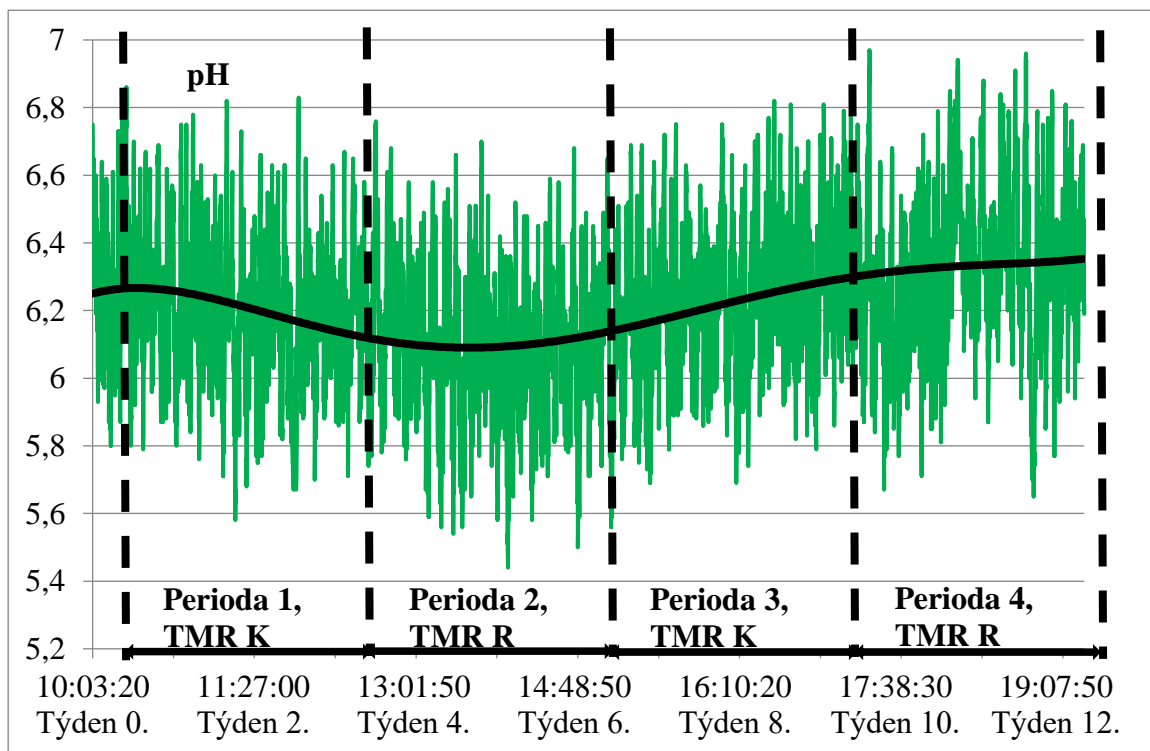
Klasický záznam změn pH a teploty v bachoru je uveden v grafu 7. Teplota se pohybovala mezi 36 a 40 °C, pH mezi 5,8 a 6,8. Nižší teplota je většinou způsobena tím, že se dojnice napije studené vody. Ta zároveň může mírně upravit pH zředěním obsahu bachoru. Z grafu 7 je patrné, že se pH snižovalo pod hranici rizika SARA (např. podle Alzahal a kol. (2007) nebo Valente a kol. (2017)), poměrně často (zhruba v jedné čtvrtině případů), ale zároveň poměrně rychle se s tímto snížením pH dojnice rychle vyrovnala.

Graf 7: Ukázka záznamu změn pH a teploty v bachoru jedné dojnice

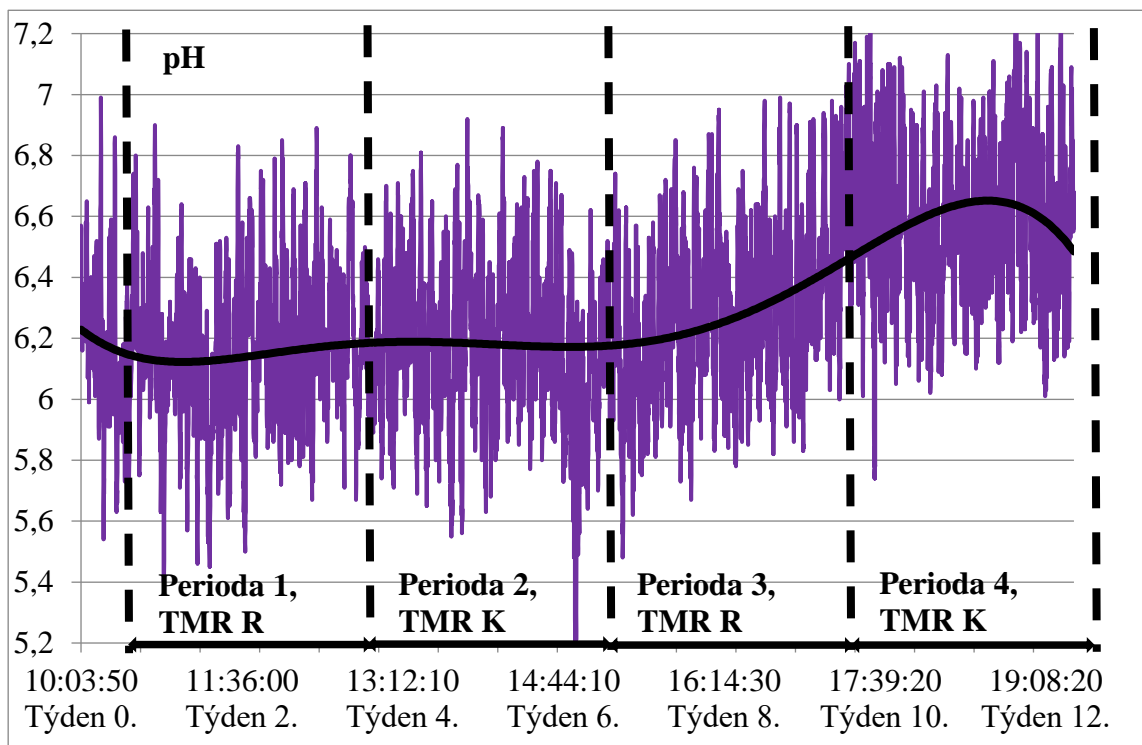


V další fázi výzkumu byly záznamy z bolusů vyhodnocovány podle průběhu pH v jednotlivých dnech. Ve dvou skupinách dojnic, ustájených ve stáji s tenzometrickými žlaby, bylo vždy po třech týdnech vyměněno složení TMR. Skupina A nejprve dostávala TMR kontrolní (K), pak pokusnou (R), opět K a nakonec R. Skupině B se začínalo krmit TMR R. TMR, označené písmenem R, v kontrolní K krmné směsi bylo 1 % kyselého uhličitanu sodného. V krmné směsi R bylo 5 % přípravku s označením „R“, který má podle výrobce neutralizační schopnosti, protože obsahuje vybrané minerální látky. V grafu 8 je ukázka průběhu pH v bachoru u jedné dojnice ze skupiny A, v grafu 9 dojnice ze skupiny B. Do pokusu bylo zařazeno celkem 32 dojnic, 8 z nich (4 z každé skupiny) mělo v bachoru eCOW bolus. U sledovaných dojnic byl trend změn pH podobný. Přejít z jedné krmné dávky na druhou nezpůsobil velkou změnu v pH. Rozdíly mezi periodami i krmiv (TMR) byly velmi malé. Větší rozdíl byl mezi první a druhou polovinou pokusu. V druhé polovině pokusu bylo pH v bachoru u obou dojnic vyšší než v první polovině. V průměru se pH u obou dojnic pohybovalo kolem 6,2. V obou skupinách se pH pod hodnoty 5,8, označované dle Valente a kol. (2017) za kritické pro vznik acidózního stavu (SARA), dostávalo jen zřídka. Na příkladech obou dojnic se opět ukázalo, že změny pH bývají velké, ale krátkodobé. Dojnice si většinou s poklesem pH dovedou rychle poradit.

Graf 8: Ukázka průběhu pH v bachoru u vybrané dojnice ze skupiny A

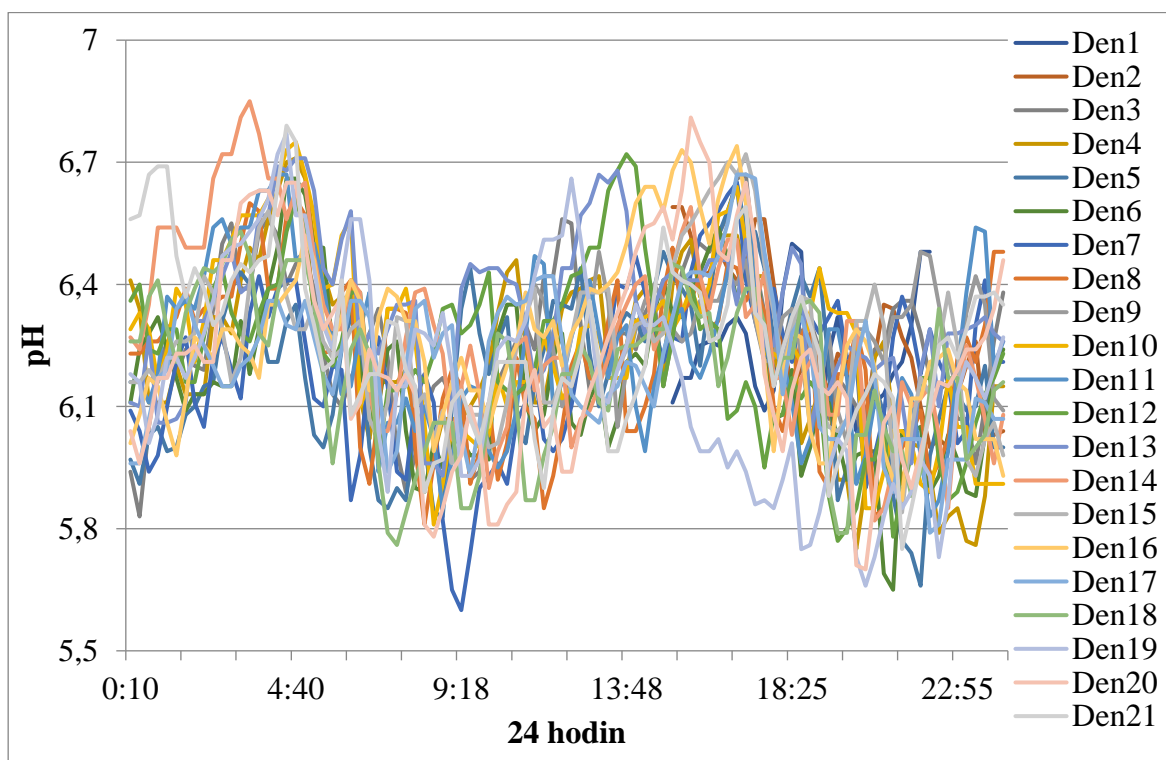


Graf 9: Ukázka průběhu pH bachoru u vybrané dojnice ze skupiny B



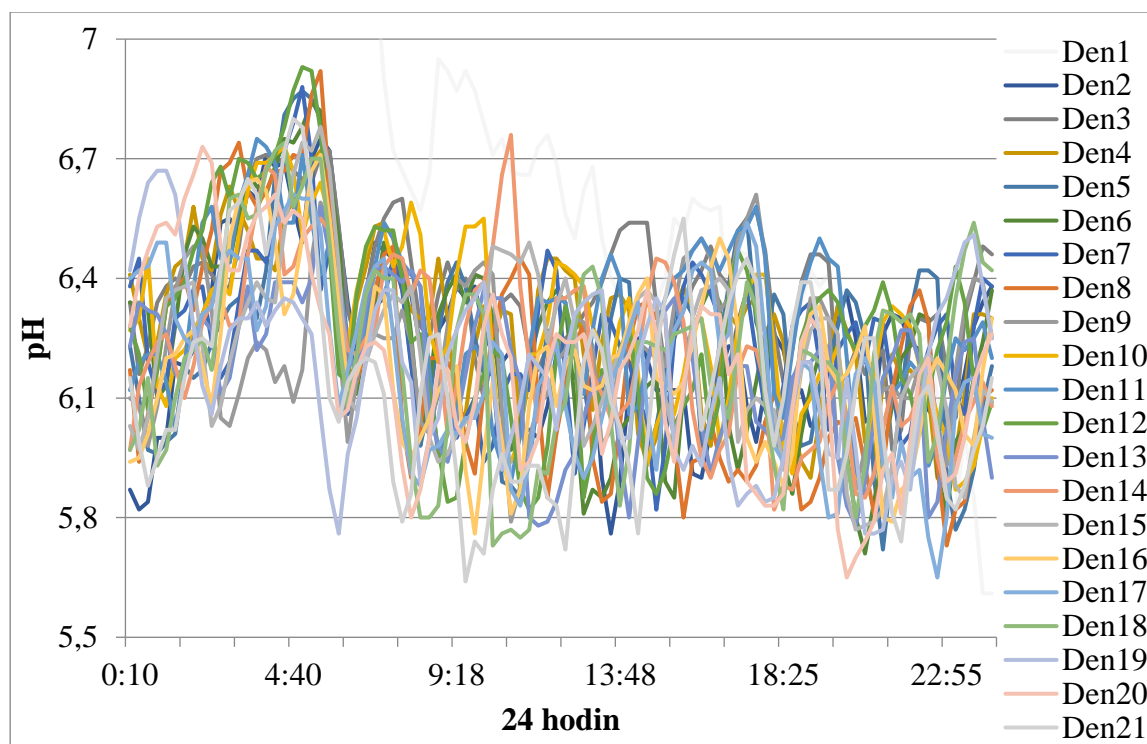
Na hodnocení průběhu pH jsme se zaměřili ještě detailněji a v první periodě 21 dnů jsme vyhodnotili jeden den v průběhu 24 hodin (grafy 10 a 11). Dojnice v kontrolní skupině, krmené TMR K, měla v průběhu dne pH s výkyvy, které nápadně kopírovaly dění v kravíně. Krátce po raním i odpoledním dojení se pH významně snížilo a pak se opět postupně zvyšovalo (graf 10). U dojnic, které byly krmené TMR R (graf 11), měla vybraná dojnice s eCOW bolusem denní křivku průběhu pH odlišnou – během dne před odpoledním dojením zůstávala křivka stabilní. V obou skupinách dojnic se podařilo udržet kyselost v bachoru pod hranici pH 5,8 (Valente a kol., 2017).

Graf 10: Ukázka záznamu změn pH během 24 hodin u dojnice z kontrolní skupiny (každá křivka představuje jeden den z celkové doby 21 dnů první periody pokusu)





Graf 11: Ukázka záznamu změn pH během 24 hodin u dojnice z pokusné skupiny (každá křivka představuje jeden den z celkové doby 21 dnů první periody pokusu)



Bolus eCOW je výsledkem dlouholetého výzkumu a vývoje, jeho rozměry jsou 115 x 27 mm, hmotnost bolusu je 150 g. Jeden konec je zatížen tak, aby bolus klesl do čepce snímačem dolů. Snímač má nerezovou koncovku s otvory, do nichž „vtéká“ bachorová tekutina k elektrodě, která měří pH tekutiny a její teplotu v intervalu 15 minut. Přesnost měření je deklarována pro teplotu  $\pm 0,1$  °C a pro pH  $\pm 0,1$  v rozmezí teplot 30–45 °C. Data mohou být uložena v bolusu až 28 dní, při měření v 15minutových intervalech se za tu dobu uloží 2 700 dat. Pokud do té doby nejsou data načtena speciálním datovým tabletem, začnou se data ukládat od nuly. Datový tablet s příslušným programem slouží jako přijímač a uchovává data z bolusů, dokud není stahování dat ukončeno. Jakmile je bolus v dosahu tabletu, tj. do 4 metrů, program automaticky stáhne data a uloží je do paměti. Získaná data jsou uložena v tabletu a připravená na další zpracování. Data z tabletu jsou současně bezdrátově odeslána výrobci, který je uchovává a zpracovává pro zpětnou kontrolu.

Dle výrobce je bolus schopný měřit data po dobu 5 měsíců. Tohoto parametru dosáhlo jen 6 bolusů. Nejdélejší doba, po kterou bolus měřil, byla 176 dnů. Nepředpokládalo se, že se některé bolusy nepodařilo vůbec aktivovat, u některých se v průběhu pokusu začalo pH samovolně zvyšovat. V tom případě bylo obtížné odhadnout, zda jsou hodnoty již zkruslené, či ještě ne. Charakteristickým jevem „dohasínání“ bolusu je právě zvyšující se pH a zároveň snižující se směrodatná odchylka měření. My jsme v pokusech, které s využitím eCOW bolusů probíhají na účelovém hospodářství VÚŽV v Netlukách od roku 2016, použili celkem 36 bolusů eCOW; 12 z nich, tj. 33 %, ale nebylo plně funkčních. Na obr. 8 je bolus, který má na konci „úchyt“. Tento bolus byl speciálně vyroben pro použití u kanylované krávy, za očko se totiž uváže provázek a bolus pak lze snadněji z bachoru vytáhnout.

Nově testujeme bolus SmaXtec pH Plus, který také neustále (podle nastavení intervalu) měří pH úrovně vnitřní tělesné teploty a úrovně acidobazické aktivity (pH) krav uvnitř retikula. Zaznamenaná data jsou přenášena bezdrátově do čtecích zařízení smaXtec v reálném čase. Při intervalu měření teploty každých 10 minut je údajně životnost baterie až 150 dní, záruka výrobce pro měření pH je však 50 dnů. Přesnost měření je deklarována pro teplotu  $\pm 0,05$  °C a pro pH  $\pm 0,2$ . Deklarované parametry jsou podobné jako u eCOW bolusu, ale spolehlivost je zatím vyšší než u eCOW bolusů. Hlavní výhodou je automatický dálkový přenos. Není tak nutné dojnici ve stádě vyhledávat a přibližovat se k ní s tabletem.

Oba typy bolusů jsou stále ve vývoji, ve vývoji je i několik dalších. Cílem je delší životnost a přesnost, ale i zjednodušení manipulace a dálkového přenosu dat.

## Závěr

Hlídaní kyselosti bachorového obsahu pomocí pH bolusů je jistě významným přínosem pro poznání toho, co se v bachoru děje. Bohužel bolusy jsou pro použití v praxi na farmě zatím příliš drahé a pro použití ve vědeckých pokusech málo spolehlivé, může se totiž stát, že některý bolus přestane pracovat, nebo začne měřit nepřesně, dříve, než je pokus ukončen, a tak může být výsledek zkreslený, dokonce může být celý pokus anulován. Několik týmů v celém světě i u nás se snaží uvedené nedostatky odstranit. Cílem je především zlepšení spolehlivosti, výdrže baterie a zlepšení dálkového přenosu dat.

### 2.5.4. Sledování pohybových aktivit zvířat

System sledování a vyhodnocování pohybové aktivity a změn doby žraní a přežvykování dojnic a jalovic, který jsme v našich pokusech využívali, má název FARMTEC vitalimetr FA\_22. Všechny čipy (pro vitalimetr i identifikaci dojnic) jsou umístěny v jednom pouzdře v obojku zvířete. Pomocí čipů se zároveň měří:

- doba přežvykování,
- doba příjmu krmiva,
- pohybová aktivita,
- vhodná doba pro nástup říje a inseminace,
- pohoda chovu zvířat, resp. doba klidu a ležení.

NV rámci výzkumu byly využity výsledky prvních dvou aktivit, záznamy však byly využívány i z ostatních tří aktivit. Chování zvířat při příjmu krmiva je vhodným a v praxi použitelným indikátorem vysokoprodukčních zvířat se zvýšeným rizikem zdravotních a metabolických poruch. Doba přežvykování koreluje s pohybovou aktivitou a upřesňuje určení vhodné doby inseminace a začátku onemocnění. Příjem krmiva souvisí s aktuálním zdravotním stavem a pohodou zvířat; u vysokobřezích plemenic i s nástupem porodu. Sledování doby příjmu krmiva a zejména doby přežvykování lze proto úspěšně využít jako nástroj ke zlepšení řízení výživy stáda dojnic v jednotlivých fázích mezidobí. Pohybová aktivita souvisí hlavně se zdravotním stavem, jde hlavně o brzké odhalení zdravotních problémů. Přesnější určení vrcholu říje a vhodné doby inseminace zlepšuje zabřezávání plemenic. Zaznamenání doby klidu a ležení umožňuje vyhodnocení indexu pohody krav (CCI, Cow Comfort Index, podíl jedinců ležících z celkového počtu zvířat ve stáji).

Doba přežvykování a příjmu krmiva mnohé napoví o složení TMR, její struktuře z hlediska efektivní vlákniny, ale i chutnosti TMR. Přežvykování může také identifikovat zdravotní problémy dříve, než se rozvinou klinické projevy problému a než dojde k poklesu dojivosti. Podstatné zkrácení doby příjmu krmiva může upřesnit i případný začátek onemocnění. Současný záznam obou veličin zvyšuje přesnost určení změn v chování zvířat. Doba přežvykování a žraní je rozeznána pomocí akcelerometrů, které snímají zrychlení ve třech osách. Záznamy analyzuje algoritmus, uzpůsobený pro všechny kategorie skotu a různé technologie ustájení. Sběr údajů probíhá v reálném čase a jednou za hodinu jsou data odesílána do úložiště.

Měření doby přežvykování a jeho využití při řízení stáda vyhodnocovali např. Vacek a Krpálková (2017) nebo Codl a kol. (2020). My jsme podobné pokusy uskutečnili každým rokem v rámci projektu NAZV QK1810137 Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu, který začal v roce 2018.

Následuje ukázka různého způsobu vyhodnocení doby žraní a přežvykování u dojnic, krmených dvěma TMR na hospodářství v Netlukách. Dojnice holštýnského plemene byly ustájeny ve speciální stáji s tenzometrickými krmnými žlaby, které u každé dojnice měří denní příjem TMR (obr. 9).

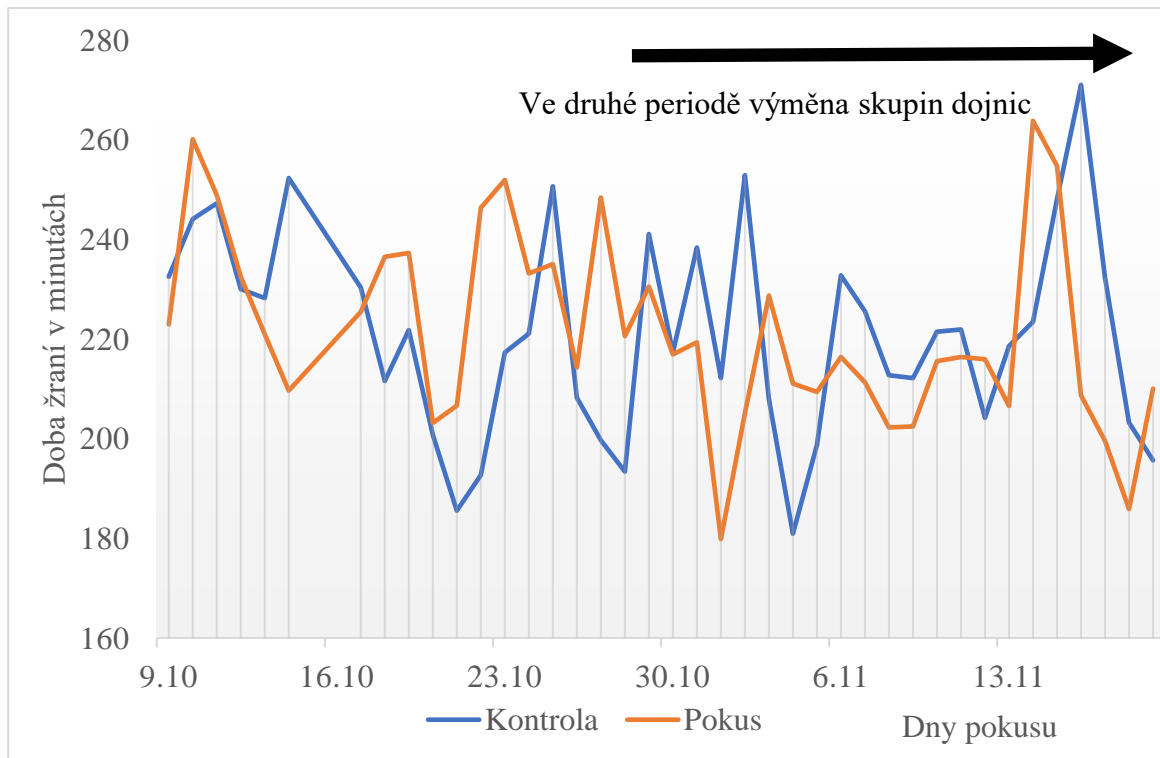


Obr. 9: Dojnice se senzorem na obojku (vlevo) a dojnice v tenzometrických žlabech (vpravo)

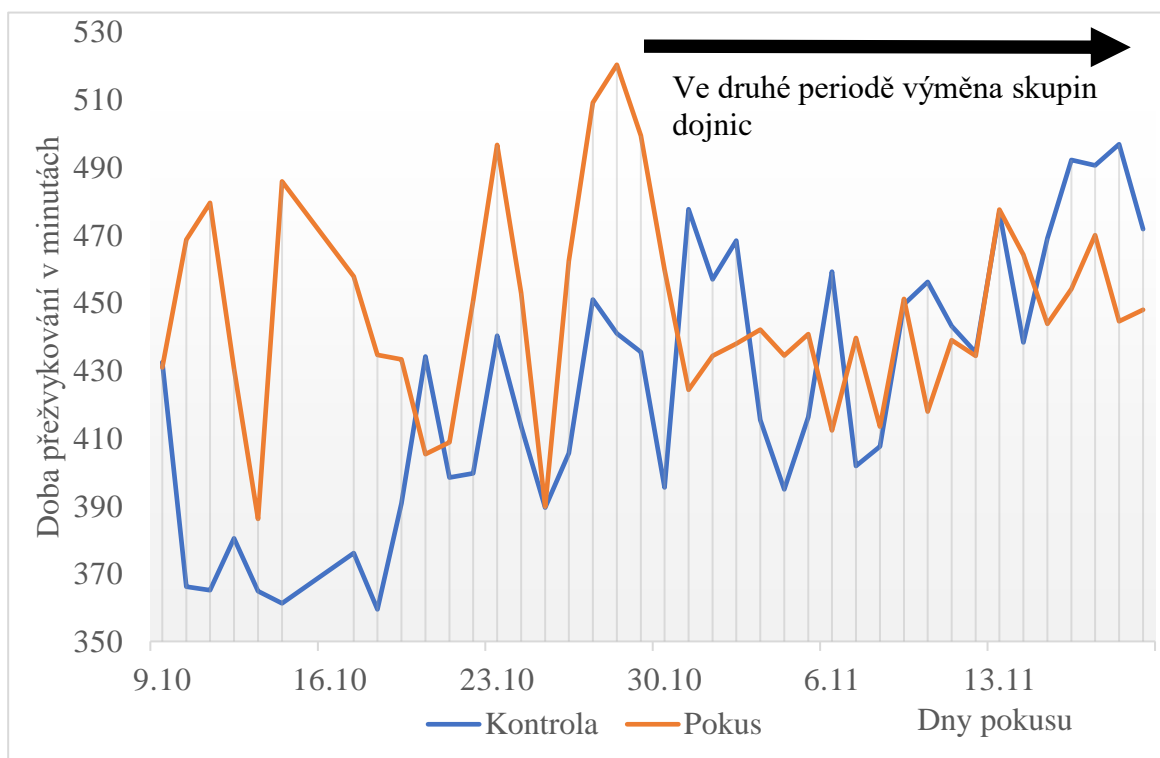
Cílem pokusu s 24 dojniciemi bylo porovnat účinek pufru (hydrogenuhličitanu sodného,  $\text{NaHCO}_3$ ) a alkalizátoru (oxidu hořečnatého,  $\text{MgO}$ ), ve formě přídatku do krmné směsi, podávané v první polovině laktace, na potenciální riziko vzniku acidózy bacheru u vysokoužitkových krav. Pufry v krmných dávkách skotu, zejména dojníc, jsou speciální doplňky, které neutralizují přebytek kyselin v jejich trávicím traktu. Komerční pufry doplňují přirozené pufry, které jsou přítomné ve slinách, a pomáhají tak překonat škodlivé účinky vysoké produkce kyselin v bacherovém prostředí. Technicky vzato, pufry a alkalizátory se liší. Pufry zachovává – udržuje hladinu kyselin anebo pH jen ve velmi úzkém rozsahu, když se nepatrně zvýší hladina kyselin. Alkalizátor zvyšuje pH v bacheru přímo úměrně vytvořenému množství kyselin. Oxid hořečnatý je typickým představitelem alkalizátoru. Rozpustnost různých zdrojů  $\text{MgO}$  v bacherovém prostředí primárně určuje jejich biologickou dostupnost a využitelnost.

Výsledky porovnání účinku pufru a alkalizátoru jsou v grafech 12 a 13. Pokus proběhl u 24 dojníc, rozdělených párovou metodou do dvou skupin. Na začátku druhé 21denní periody proběhla výměna skupin dojníc, resp. jejich krmné dávky TMR. Změna TMR neměla na dobu žraní ani na dobu přežvykování obou skupin dojníc významný vliv. Hlavní rozdíl byl mezi skupinami v první polovině pokusu, dojnice krmené TMR s  $\text{MgO}$  déle přežvykovaly. V následující periodě po změně TMR dojnice ve skupině B žraly a přežvykovaly v průměru zhruba stejně dlouhou dobu. Mohlo by se to vysvětlit tím, že alkalizátor rychle u skupiny A stabilizoval kyselost prostředí, takže v následující periodě už dojnice neměly s kyselostí v bacheru problém. O kladném působení obou neutralizačních přípravků svědčí vývoj doby přežvykování, která se každým dnem pokusu zvyšovala (graf 13). Opačný trend, i když ne tak markantní, lze pozorovat u doby příjmu krmiva (graf 12). Obojí svědčí o kladném vlivu přípravků na průběh fyziologických procesů ve výživě dojníc.

Graf 12: Ukázka záznamu doby příjmu krmiva u dojníc (24 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním účinku pufru a alkalizátoru v TMR



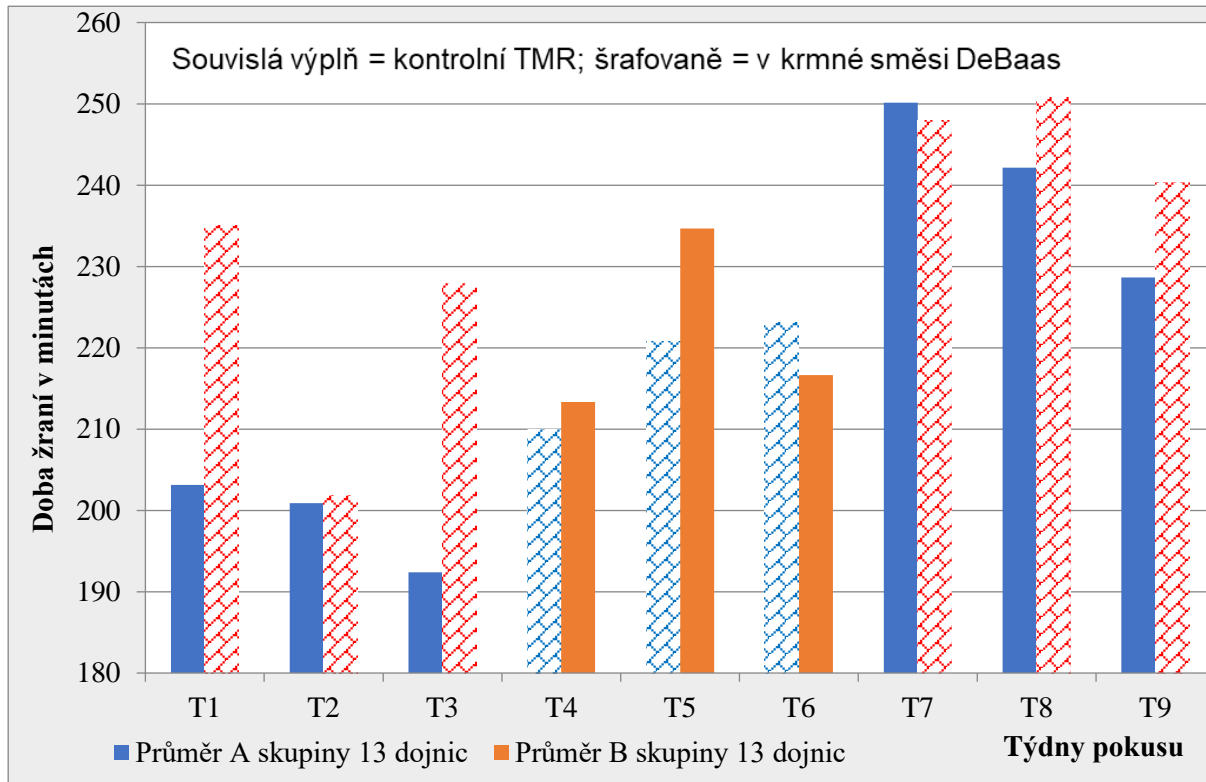
Graf 13: Ukázka záznamu doby přežvykování u dojníc (24 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním účinku pufru a alkalizátoru v TMR



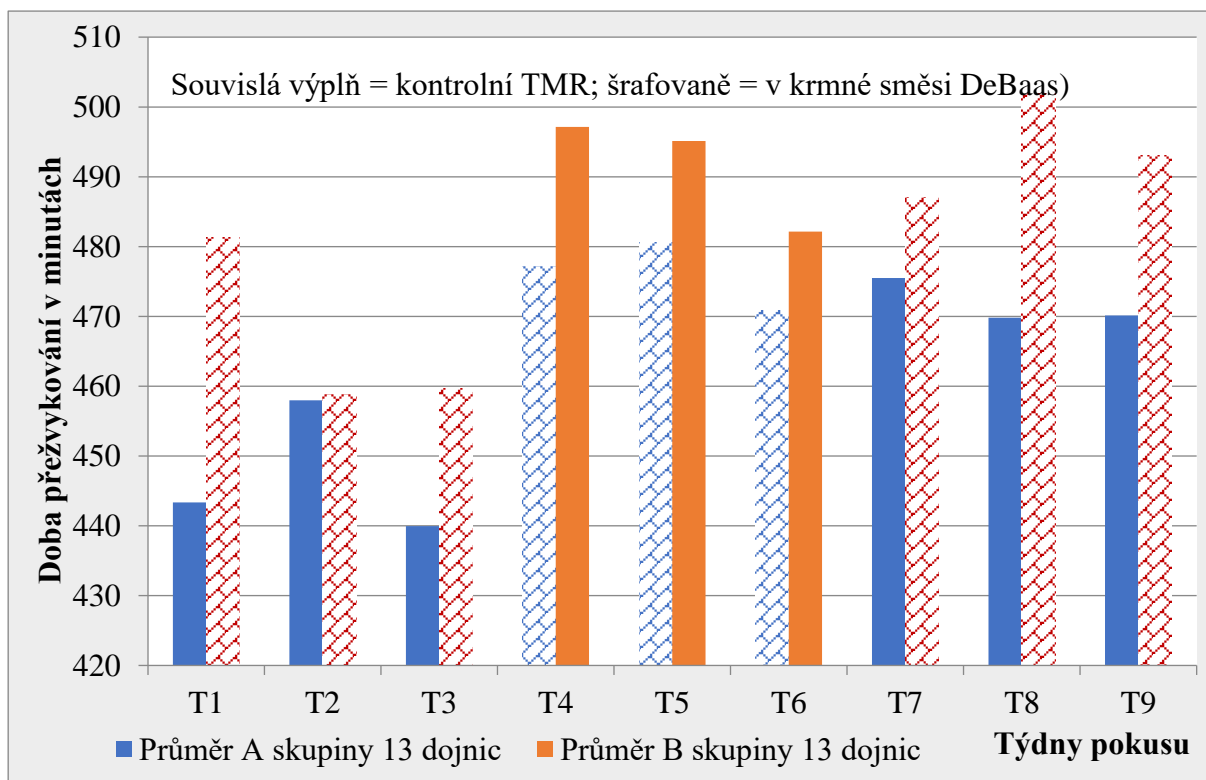
Zatímco hydrogenuhličitan sodný a oxid hořečnatý jsou chemické látky, přípravek DeBaas je přírodního charakteru, obsahuje kalcifikované mořské korály (*Lithotamium calcareum*), prášek z *Yucca Schidigera*, Cristobalit, kyselinu fulvovou, konzervační a aromatické látky, nosičem je pšeničná mouka. Je vysoce reaktivní a biologicky dostupný s širokou škálou pH, při kterých reaguje. Udržuje pH v

bachoru, čímž zlepšuje účinnost a výkonnost krmiva. Obsahuje tři různé formy vápníku: kalcit, aragonit a vaterit. Vyzkoušeli jsme ho v porovnání TMR s hydrogenuhličitanem sodným v krmné směsi (grafy 14 a 15). Rozdíly mezi skupinami (v každé bylo 13 dojnic), ani mezi neutralizačními přípravky v TMR, nebyly významné, i když se v jednotlivých periodách lišily v době žraní i v době přežvykování.

Graf 14: Ukázka záznamu doby příjmu krmiva u dojnic (26 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním kontrolní TMR bez pufru a TMR s pufrem, obsahujícím v krmné směsi kalcifikované mořské korály

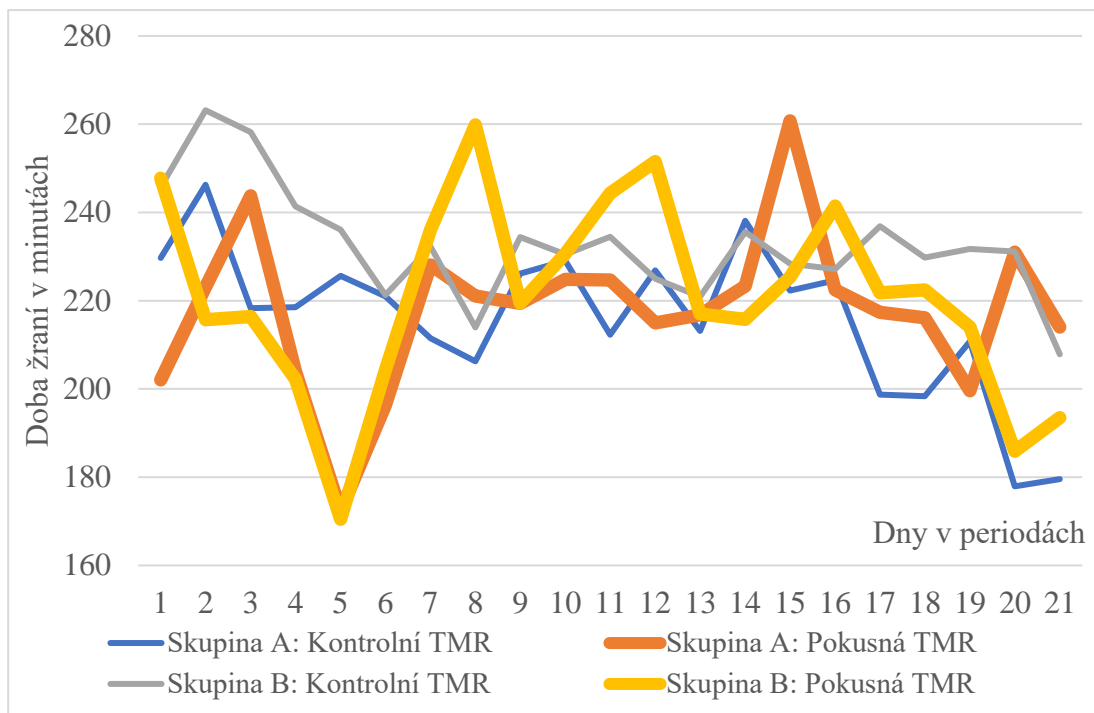


Graf 15: Ukázka záznamu doby přežvykování u dojnic (26 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním kontrolní TMR bez pufru a TMR s pufrem, obsahujícím v krmné směsi kalcifikované mořské korály

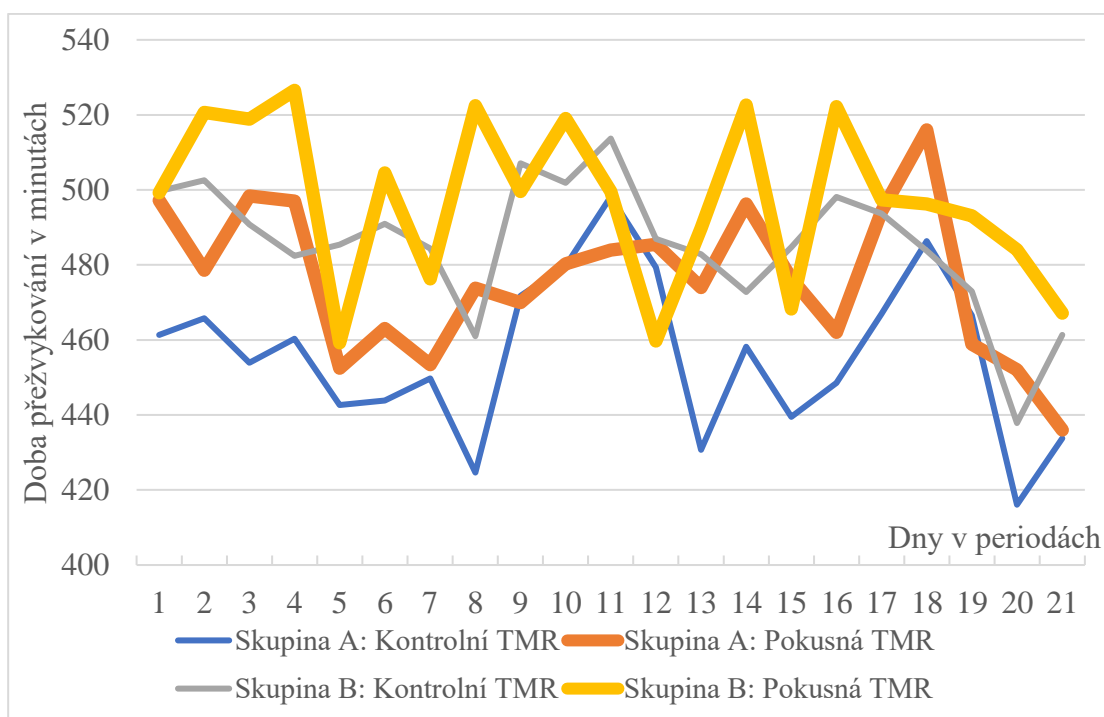


V dalším pokuse byl porovnáván účinek krmení dojníc TMR s MgO v krmné směsi s TMR s přípravkem DeBaas. Do pokusu bylo zařazeno 28 dojníc. Proběhly 3 periody po 21 dnech, z první a třetí periody byl vypočítán průměr. V grafech 16 a 17 jsou pak vedle sebe porovnávány TMR u kontrolní i pokusné skupiny. Celkově ale doba žraní i přežvykování byla u TMR s pokusnou krmnou směsí, obsahující přírodní DeBaas, o něco vyšší než TMR s MgO.

Graf 16: Ukázka záznamu doby příjmu krmiva u dojníc s kontrolní TMR, kde byl v krmné směsi oxid hořečnatý, a s pokusnou TMR s přípravkem DeBaas (28 ks)

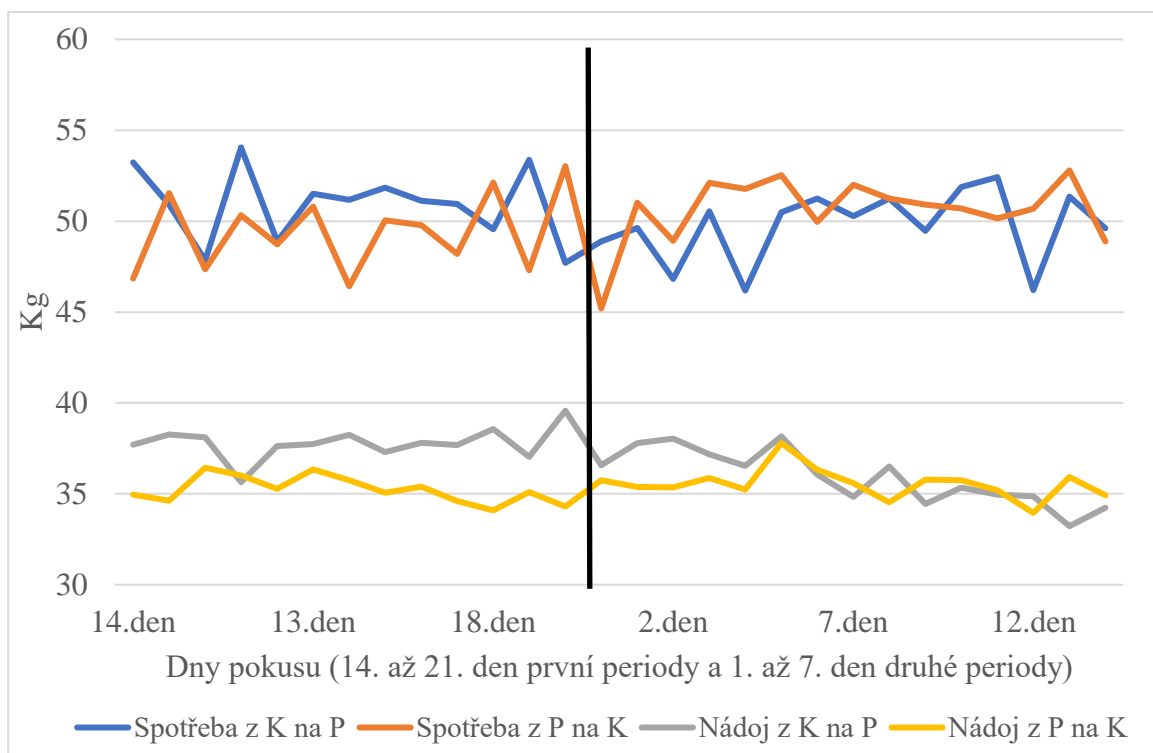


Graf 17: Ukázka záznamu doby přežvykování u dojníc (28 ks) s kontrolní TMR, kde byl v krmné směsi pufr (MgO), a s pokusnou TMR s přípravkem DeBaas

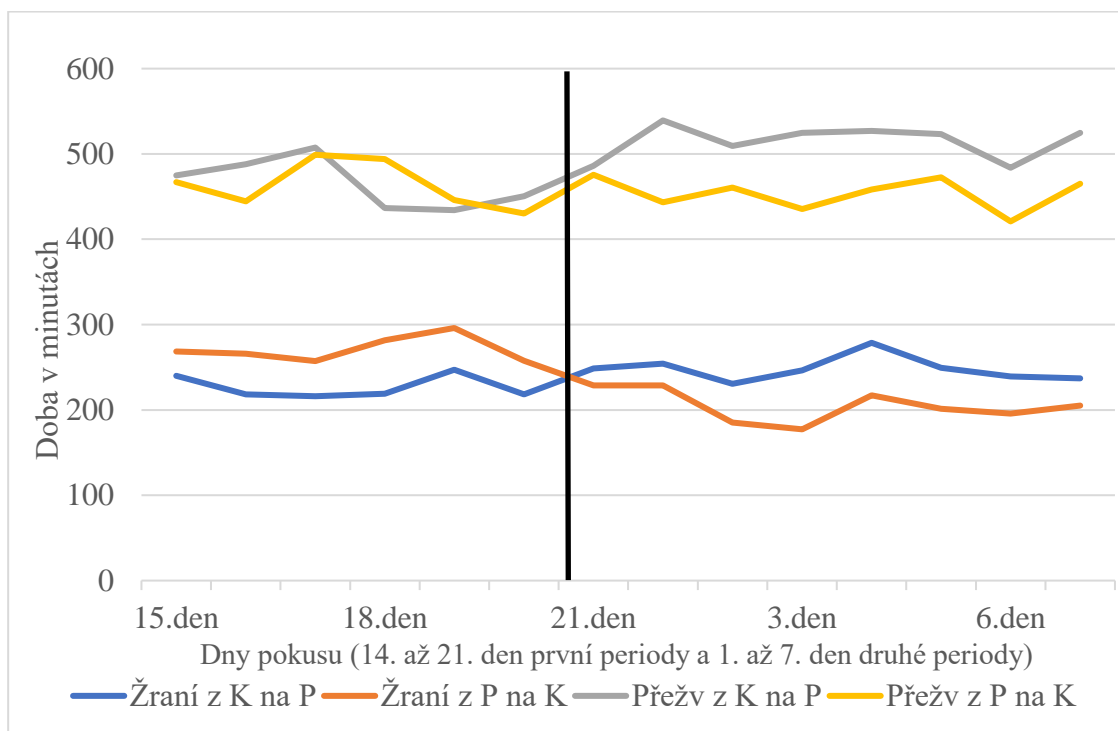


V dalším pokuse byl porovnáván účinek krmení dojníc, když bylo do pokusné TMR přidáno 1,5 kg slámy. Sledován byl přechod z jedné TMR na druhou. Přechod z jednoho krmiva v TMR na jiný by měl být pozvolný, to je obecně platné pravidlo. Podle Schingoethe (2017) i náhlé změny v typech píce v TMR jsou možné bez snížení příjmu nebo produkce mléka. V našem pokuse byla změna TMR nárazová. Na spotřebě TMR se však změna nijak výrazně neprojevila (grafy 18 až 20). Zatímco nádoj mléka při přechodu z TMR P na K zůstal na zhruba stejné úrovni, nádoj po přechodu z TMR K na P postupně klesal. Vyšší obsah vlákniny v TMR měl tedy na užitek negativní dopad (graf 18). Při přechodu z TMR K na P doba žraní zůstávala na přibližně stejné úrovni, zatímco doba přežvykování se téměř skokově zvýšila. Při přechodu z TMR P na K se doba žraní rychle snížila, zatímco u přežvykování zůstávala na přibližně stejné úrovni (graf 19). Okamžitě po přechodu TMR z K na P se začal zvyšovat obsah tuku v mléce. Ostatní ukazatele, včetně obsahu bílkovin, zůstávaly stabilní (graf 20).

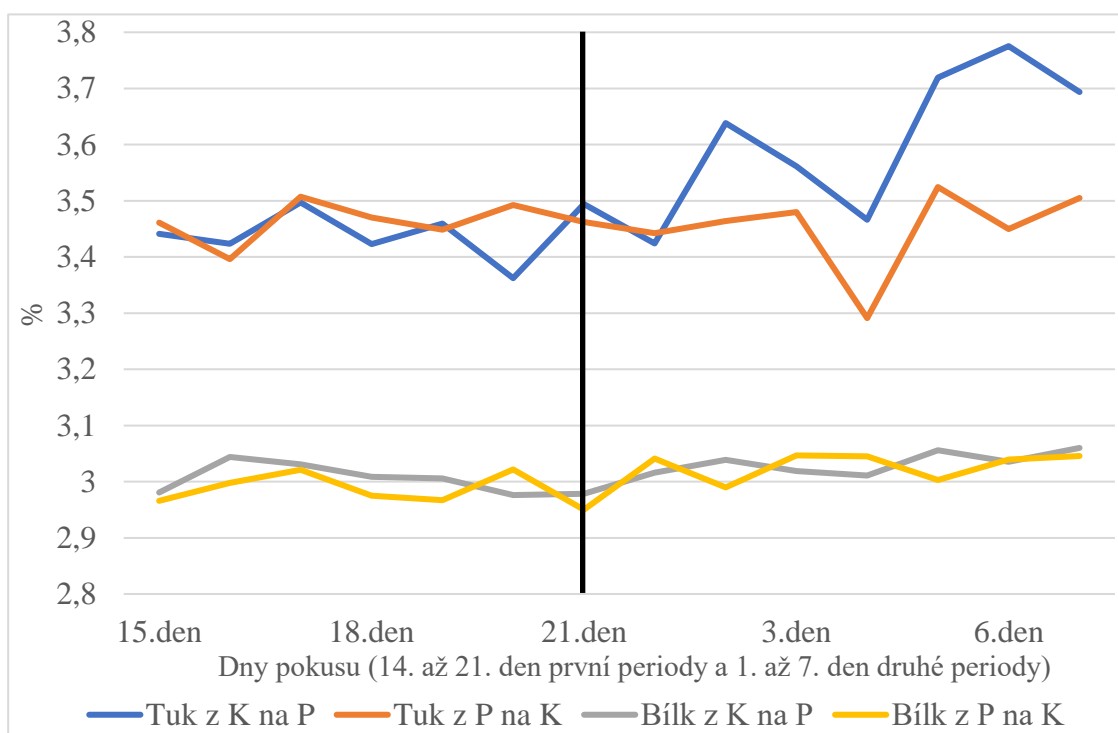
Graf 18: Ukázka přechodu z jedné TMR na druhou podle spotřeby TMR a nádoje (36 dojníc)



Graf 19: Ukázka přechodu z jedné TMR na druhou podle doby žraní a přežvykování (36 dojníc)



Graf 20: Ukázka přechodu z jedné TMR na druhou podle obsahu tuku a bílkoviny v mléce (36 dojnic)



## Závěr

Denní sledování doby žraní a přežvykování, která je zaznamenávána pomocí pohybových senzorů v krčném obojku dojnic, dává chovateli velmi dobrý přehled o zdravotním i fyziologickém stavu jednotlivých dojnic. V několika pokusech s vysokoprodukčními dojnicemi holštýnskému plemene v první polovině laktace byly ověřovány rozdíly v použití různých neutralizačních přípravků obsažených v TMR v krmné směsi. Ukázalo se, že rozdíly mezi použitými přípravky nejsou významné, použít lze kterýkoliv



z nich, všechny měly na úpravu pH v bacheru z pohledu doby žraní a přežvykování pozitivní vliv. Použití kartáčů, jako náhrady neutralizačního přípravku, nepřineslo původně očekávaný kladný efekt.

Podstata hodnocení doby žraní a přežvykování je v detailech, v porovnání právě naměřených dat s dlouhodobějším standardem u větší skupiny zvířat – právě na tom je precizní farmaření založeno. Ukazatele jsou hodnoceny v reálném čase; pokud je pak některý z ukazatelů mimo stanovené referenční rozpětí, dostane chovatel o tom neprodleně informaci dohodnutým způsobem (nejlépe ihned a automaticky). Podstata našeho výzkumu precizního farmaření je v ověření správného nastavení přístrojů a hledání oněch standardů. Přidanou hodnotou je výsledek porovnání dvou či více faktorů, které ovlivňují kvalitu krmiva, či pohodu a užítkovost zvířat.

## 2.6. Podpůrné technologie

Podpůrné technologie mají 3 pilíře:

- bezpilotní prostředky a satelitní snímky,
- globální poziční a autonomní systémy,
- komunikační pomůcky.

### 2.6.1. Bepilotní prostředky a satelitní snímky

Farmáři z digitálních farem již běžně používají UAV. Farmář, zapojený do odběru informací ze satelitních snímků, může každé ráno otevřít mobil a podívat se, kterému z polí a kterým zvířatům se má ten den věnovat a na co se zaměřit. To ještě před několika lety nebylo možné a farmář tak byl nucen několik desítek hektarů objíždět. Že nedokázal zkontrolovat každý řádek plodin, je přitom více než jasné. Obdobně nemohl prohlédnout všechna zvířata. Celkový pohled na stav polí a třeba i zásob krmiv mohou farmářům zprostředkovat i drony. Farmář opět nemusí nikam zdlouhavě chodit či dojíždět. Drony jsou čím dál chytřejší, jejich oči v podobě kamer jsou čím dál dokonalejší a jejich konstrukce zvyšuje možnost nosit čím dál těžší břemena.

### 2.6.2. Globální poziční a autonomní systémy

Globální poziční systém (GPS, Global Positioning System) je s přibývajícím algoritmy umělé inteligence čím dál chytřejší a přesnější. Traktorista se tak nevěnuje jen řízení traktoru, agronom může naplánovat letovou dráhu dronu, zootechnik může snadno vyhledat dané zvíře ve stádě. Možností je samozřejmě více. GPS systémy doplňují autonomní systémy, které mají schopnost činit vlastní rozhodnutí na základě toho, jak systém vnímá okolní prostředí.

### 2.6.3. Komunikační pomůcky

Mezi hlavní komunikační pomůcky patří mobilní telefon, internet věcí (IoT, Internet of Things), umělá inteligence (UI, resp. AI – Artificial Intelligency), oblast velkých dat (Big data) a 5G sítě (páté generace). Digitální farmáři mají vše pod kontrolou. Stačí jim jen vytáhnout chytrý mobil z kapsy, otevřít aplikaci a intuitivní grafika jim ukáže např. kolik má půda v daném místě živin a vláhly, jestli je neohrožuje plevel či jiní škůdci. Vidí zaplněnost sýpek a skladů, aktuální stav a pozici vozového parku, vidí stav ventilačního zařízení ve stájích a mnoho dalších skutečností. Všechna tato data by ale chovatelé nemohli mít bez všudypřítomných senzorů. Ty se umísťují do půdy, na rostliny, na sklízecí stroje, do traktorů, do valníků, do aplikátorů, do siláže, do stájí, a dokonce i do zvířat – prostě všude tam, kde je potřeba sledovat stav čehokoliv.

Rozmach IoT senzorů ale závisí zejména na dobré konektivitě, tedy na výstavbě, rozmístění a dosahu potřebných sítí. Obrovskou výhodou systému IoT je možnost sdílení a používání stejných dat. Stejná data vícekrát se tak zadávají do různých systémů, protože IoT je dokáže propojit všechny. Umělá inteligence jako pojem dnes pro veřejnost reprezentuje především skupinu algoritmů na „strojové učení“, tedy metodu, která zvládá sama se učit. Projevuje se to například ve schopnosti přizpůsobit se

změnám okolního prostředí. Digitální farmy už ve svém názvu naznačují, že jsou datově orientované. Data ze všech senzorů, dronů i vozového a technického parku musí být neustále vyhodnocována a co nejlépe tak přispívají k rozhodování. Oblast velkých dat začíná být velkým pomocníkem zemědělců nejen ve využití, ale i naopak v eliminaci vlivu počasí. Neustálým monitorováním stavu úrody a půdy a sdílené zkušenosti farmářů se vytvářejí časové řady, které pomáhají v extrémních meteorologických výkyvech s predikcí, co může následovat a jak to řešit.

Oblast velkých dat je také klíčem k využití obrovského potenciálu technologií PLF v chovu a výživě zvířat tím, že se soustavně shromažďují informace o každém zvířeti a jsou propojeny s informacemi o chovatelských podmínkách. Každé zvíře má přidělené jedinečné evidenční číslo (obvykle umístěné na ušní známce). Existují i systémy, kde je zvíře volně se pohybující ve stádě identifikováno podle barvy a vzoru srsti nebo i podle stylu chůze. Prostřednictvím vizuálního ID, nově elektronického identifikačního štítku lze evidovat veškerá data od jednotlivého zvířete od jeho narození do doby přečtení ID, spolu s vnějšími podmínkami, které mohly mít na prověřovaný ukazatel vliv. To umožňuje individuální péči o zvířata, včasnou detekci možných problémů a jejich včasné řešení. Signál 5G umožní výrazně vyšší a rychlejší přenosovou kapacitu dat. To vše potažmo povede ke snížení nákladů snížením míry opakovaného ošetření a rychlejšímu návratu zvířat k požadovaným výkonům.

### 3. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

V předložené metodice jsou využity vědecké poznatky z poslední doby, jak z nejnovější světové literatury (kapitola č. 6), tak z vlastních výsledků předchozích experimentů (viz kapitola č. 7, seznam publikací, které předcházely metodice). Metodika navazuje na certifikovanou metodiku s názvem “Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) u nativních krmiv, výkalů a mléka (Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i. v Uhřetěvsi, 2021), zaměřenou na praktické aplikace NIR spektroskopie v zemědělské praxi.

V nové metodice jsou představeny další metody PLF:

- zpracování obrazu multispektrální kamerou, kterou lze použít pro odhad doby a způsobu sklizně píce, odhad složení a výnosu porostu, nebo pro změření skladových zásob siláží, nebo s využitím k rozhodnutí, jak odebírat siláž ze silážních prostor,
- použití bateriových či tyčových teploměrů pro kontrolu průběhu fermentace a skladování uvnitř siláží,
- měření pH v bachoru pomocí bolusů pro hlídání stavu bachorového obsahu, aby se zamezilo vzniku a rozvoji acidózy,
- monitorování a vyhodnocování aktivit zvířat, které souvisí s příjmem a zpracováním krmiva, tedy měření doby příjmu krmiva a doby přežvykování.

Odhad vhodnosti stavu píce pro sklizeň se díky novým metodám PLF mohou významně zpřesnit, čímž se nejen dosáhne významně lepší koncentrace a stav živin u krmiva, ale usnadní se tak plánování. Dříve bylo běžné a běžné to je ještě dnes, že se výnosy a kvalita píce odhadovaly vstupem do porostu s různými přístroji. Chybovost této metody je ale dost vysoká, zejména proto, že se postihne jen malá část sklizeného porostu. Plánování využití krmivové základny se usnadní i využitím další metody PLF, tedy zpracování obrazu skladových zásob siláží, čímž se může zlepšit hospodaření s krmivy. Použití termovize profilu siláže (senáže) v silážním žlabu (resp. ve vaku) usnadní rozhodnutí, jak odebírat siláž (senáž) ze silážních prostor. Omezení aerobní degradace siláží se stává s pokračujícím globálním oteplováním a zároveň nutností více šetřit stále větším problémem. Protože hlavním ukazatelem kažení siláží i jiných krmiv je zvýšení teploty v důsledku namnožení bakterií, kvasinek a plísní, je velkým přínosem kontinuální sledování teploty skladovaných krmiv pomocí teplotních senzorů. V reálném čase je pak možné učinit opatření, které důsledky zvýšení teploty krmiva sníží. Nově zkusíme měření teploty siláží a TMR, uložených v pytlích a ponechaných 7 dnů ve stáji. Chceme se tak více přiblížit praxi ve srovnání s tím, když je aerobní stabilita měřena při konstantní okolní AMB teplotě v laboratoři a hodnocena pouze podle počtu hodin za kolik došlo ke zvýšení teploty krmiva o 2 °C, resp. 3 °C nad teplotu AMB.

S využitím bolusu pro kontinuální měření pH a teploty v bachoru (eCOW), a dále krčního responderu pro kontinuální měření doby příjmu krmiva a přežvykování, jsme získali několik unikátních výsledků, které by mohly vysvětlit u dojnic velkou individuální variabilitu naměřených hodnot. Většina pokusných dojnic si dokázala se snížením pH v bachoru rychle poradit. Kolísání pH během dne a v reakci na různé podněty je přirozeným jevem. Pokud však má stresový faktor vyšší intenzitu, a hlavně pokud působí delší dobu, může to mít na dojnice velmi neblahý dopad, většinou se totiž měřené parametry zhorší skokově a pak se problém obtížně a dlouho napravuje.

Přínosem nové metodiky je, že jsou farmářům poskytnuty základní informace o využití vybraných metod PLF, popsány jejich výhody i nevýhody a jak může měnit činnosti pracovníků na farmě. Metody PLF, a především ty z oblasti výživy a krmení zvířat, se tak mohou snáze implementovat do českého zemědělství ve větším měřítku, protože se farmářům v ČR usnadní rozhodování o přijetí nových technologií PLF. Přijetí nových technologií PLF v podnicích, kde se tak stalo, by se dle získaných informací a na základě zkušeností měla zvýšit především efektivnost a rentabilita jejich hospodaření.

#### **4. POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY**

Metodika najde své uplatnění v zemědělské praxi především u malých a středních, ale i velkých zemědělců, kteří sklízají a silážují píce pro použití v chovech hospodářských zvířat a v bioplynových stanicích, a kteří zejména chovají vysokoužitkové dojnice. Metodiku mohou využívat poradci zemědělských podniků či pracovníci služeb pro zemědělství. Metodika bude také poskytnuta pracovníkům univerzit a středních škol, aby mohla být využita pro výuku studentů.

Předložená metodika má ambice být významným dokumentem, podle kterého se mohou pracovníci zemědělské praxe, výzkumu a školství řídit při své činnosti, a na který se mohou odkazovat. Metodika je určena také oborovým 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 Uhřetěves, společnost NutriVet, s.r.o., společnost Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko, Česká zemědělská univerzita v Praze, nebo na jiných akcích, kde budou členové autorského kolektivu přednášet poznatky z tohoto výzkumu.

Metodika je významným příspěvkem v propagaci a využití precizního zemědělství. Právě propojením metod precizního farmaření lze dosáhnout kvalitativního posunu v produkci pícnin, jejich koncentraci živin a energie 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 komponentů a živin do TMR, zdravějšího stáda s menším počtem veterinárních zásahů, zlepšení pohody chovu hospodářských zvířat, tělesné kondice zvířat a kvality a také zpeněžení mléka. Nepochybné výhody jsou spojené s dopady na životní prostředí. Jsou to však faktory, které lze jen těžko ekonomicky vyjádřit. Metodika poukazuje na to, že pokroku v této oblasti lze dosáhnout především komplexností, tedy využitím dostupných poznatků vědy a jejich rychlé aplikaci do zemědělské praxe.

#### **5. EKONOMICKÉ ASPEKTY**

Pro hodnocení ekonomické efektivnosti využití technologií PLF bylo vycházeno z publikace Syrůček a kol. (2019) a přednášky Ing. Jana Syrůčka, Ph.D. s názvem „Sledování a hodnocení ekonomických ukazatelů v podnicích s chovem dojeného skotu v r. 2021“, kterou přednesl na workshopu „Management dojených stád skotu v podmínkách precizního zemědělství“ dne 7. 6. 2022 (Syrůček, 2022). V r. 2021 byly náklady na výrobu mléka po odpočtu vedlejších výrobků (telata, statková hnojiva) 9,42 Kč na litr, přičemž na jednu dojnici to představovalo po odpočtu 83 779 Kč za rok. Z toho náklady na krmiva byly odhadnuty na 43 % a osobní náklady na 14 %, to je 47 754 Kč. U těchto nákladů je předpokládán přínos PLF minimálně ve výši 10 %. Úspory na nákladech by

samozejmě závisely na tom, které metody PLF by byly v podniku zavedeny a jak dlouho by se používaly. Od toho by se odvíjela i návratnost investice.

S využitím těchto údajů by bylo možné u typového podniku, který by metody PLF po jejich zavedení plně uplatnil, v přepočtu na 100 dojnic za 10 let ušetřit 4 775 400 Kč, ovšem za předpokladu, že by se za tu dobu současné tržní a ekonomické podmínky nezměnily. Dokládá to následující výpočet:

$$43 \% + 14 \% = 57 \%$$

$$57 \% \text{ z } 83\,779 \text{ Kč} = 47\,754 \text{ Kč}$$

$$10 \% \text{ z } 47\,754 \text{ Kč} = 4\,775,40 \text{ Kč}$$

$$4\,775,40 \text{ Kč pro } 100 \text{ dojnic} = 477\,540 \text{ Kč}$$

$$477\,540 \times 10 \text{ let} = 4\,775\,400 \text{ Kč}$$

Dílčích benefitů by mohlo být několik. Významně by se mohlo ušetřit zvýšením stravitelnosti vlákniny v krmivu tím, že by se silážovalo ve vhodnou vegetační dobu. Podle meta-analýzy, kterou zpracovali Krämer-Schmid a kol. (2016) se údajně při zvýšení koeficientu stravitelnosti NDF silážní kukuřice o 1 % zvýší denní produkce mléka o 0,082 l ( $P = 0,04$ ) a denní přírůstek hmotnosti o 12 g ( $P = 0,03$ ).

Oba a Alen (1999) uvádějí ještě vyšší hodnoty. Podle nich zvýšení koeficientu stravitelnosti NDF o 1 % zvýší denní produkce mléka (FCM) o 0,25 l/den, nebo denní přírůstek hmotnosti o 27 g/d, nebo denní příjem krmiva o 0,17 kg. Podle jiné meta-analýzy, kterou zpracovali Ferraretto a Shaver (2012), lze silážování při „ideální“ sušině 32–36 %, získat u dojnice o 2 l/den více mléka, než když se silážuje při sušině 40 % a více.

Další pohled na ekonomiku produkce: Působením vzduchu bakterie, kvasinky i plísně využívají ve vodě rozpustné sacharidy a také i kyselinu mléčnou, octovou, či mravenčí za vzniku různých meziproductů a konečných productů (oxidu uhličitého a vody), přičemž se vyvíjí teplo. Když nedojde ke ztrátě tepla do atmosféry, tak úplnou oxidací glukózy, za předpokladu její měrné tepelné kapacity 1,89 kJ/kg sušiny, se teplota siláže zvýší o 1 °C (McDonald a kol., 1991). Úplnou oxidací sacharidů v izolované siláži o obsahu sušiny 320 g/kg a obsahu glukózy 11 g/kg sušiny by se teplota zvýšila o 16 °C. Kdyby počáteční teplota byla 21 °C, tak by se za normálních podmínek zvýšila teplota na 37 °C. Protože na 1 °C připadá 1,89 kJ, tak na 16 °C připadá cca 32 kJ.

Jak bylo výše uvedeno, při silážování vojtěšky i kukuřice se teplota siláže po dosažení kulminace začala postupně snižovat, ovšem v případě kontrolní siláže bez silážního přípravku pomaleji. Lze to vysvětlit tím, že zatímco u siláží se silážními přípravky převládly v siláži homofermentativní bakterie, proces fermentace u kontrolní siláže ještě nějakou dobu trval. I když byl rozdíl mezi kontrolní a pokusnými silážemi 1 °C, i to znamená ztrátu energie a v celkovém důsledku nevyužití potenciálu v užitkovosti dojnic na farmě. Obdobně lze vyjádřit i ztráty energie při aerobní degradaci siláží v procesu krmení, každé zvýšení teploty, resp. zvýšení ztráty energie se počítá.

Výše uvedené příklady lze pomocí experimentu doložit a s pomocí kinetických rovnic vypočítat, nelze však obecně vyčíslit ztráty, které vznikají namnožením klostridií, listerií, nebo plísní. Je to individuální, někde s tím problém nemají, jinde je problém obrovský. Stejně tak nelze obecně vyčíslit ztráty při špatné funkci předžaludků, při snížení příjmu TMR či při zkrácení doby přežvykávání. Nelze ani obecně vyčíslit ztráty na zdraví zvířat, nebo když se musí celá siláž vyvézt do hnoje, protože je zdravotně závadná. To se naštěstí stává v praxi jen zřídka.

Pro hodnocení obecných ekonomických aspektů se nabízí ještě jiný pohled v případě zvýšení předpokládané užitkovosti dojnic např. o 2 litry na kus a den. Při současné tržní ceně mléka cca 10 Kč za litr a skutečné délce laktace 340 dnů by se u stáda 100 dojnic ušetřilo za 10 let 6 800 000 Kč. Opět je to za předpokladu, že se za tu dobu nezmění tržní a ekonomické podmínky.

## 6. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- Alzahal, O., Or-Rashid, M., Greenwood, S.L., Douglas, M.S., McBride, B.W. (2007): Subacute ruminal acidosis increases milk fat depression with diets supplemented with polyunsaturated fatty acids. *J. Dairy Sci.*, 90 (Suppl. 1), 561.
- Arriola, K.G., Oliveira, A.S., Jiang, Y., Kim, D., Silva, H.M., Kim, S.C., Adesogan, A.T. (2021): Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri*, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7653–7670.
- Bao, J., Xie, Q. (2022): Artificial intelligence in animal farming: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129956.
- Berckmans, D. (2006): Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. In *Livestock Production and Society*; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2006.
- Berckmans, D. (2017): General introduction to precision livestock farming, *Animal Frontiers*, 7, 1, 6–11.
- Cheng, M., McCarl, B., Fei, C. (2022): Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. *Atmosféra* 13, 1, 140.
- Codl, R., Ducháček, J., Pytlík, J., Stádník, L., Vacek, M., Vrhel, M. (2020): Evaluation of the Level of Length of Eating Time, Chewing and Parameters of Daily Increased Activity Depending on the Breed, the Lactation Number and the Period of the Year. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun*, 68, 659–667.
- Dominiak, K.N., Kristensen, A.R. (2017): Prioritizing alarms from sensor-based detection models in livestock production—A review on model performance and alarm reducing methods. *Comput. Electron. Agric.*, 133, 46–67.
- Ferraretto, L.F., Shaver, R.D. (2012): Meta-Analysis: Effects of Maize Silage Harvesting Practices on Intake, Digestion and Milk Production in Dairy Cows. *Journal of dairy science*, 28(2), 141–149.
- Herrmann, I., Bdoelach, E., Montekyo, Y., Rachmilevitch, S., Townsend, P.A., Karnieli, A. (2020): Assessment of maize yield and phenology by drone-mounted hyperspectral camera. *Precis. Agric.* 21, 51–76.
- Honig, H. (1990): Evaluation of aerobic stability. In: *Proc. Eurobac Conference. Grass Forage Report, Spec. Issue*, 3, 76–82.
- Hostiou, N., Fagon, J., Chauvat, S., Turlot, A., Kling-Eveillard, F., Boivin, X., Allain, C. (2017): Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement/Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 21, 4, 268–275.
- Islam, M., Garcia, S. (2014): Prediction of dry matter yield of hybrid forage corn grown for silage. *Crop. Sci.* 54, 2362–2372.
- Krampe, C.; Serratos, J.; Niemi, J.K.; Ingenbleek, P.T.M. (2021): Consumer Perceptions of Precision Livestock Farming—A Qualitative Study in Three European Countries. *Animals*, 11, 1221.
- Krämer-Schmid, M., Lund, P., Weisbjerg, M.R. (2016): Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 68–76.
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., Guarino, M. (2020): A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? *Journal of Cleaner Production*, 262, 121409.
- McDonald, P., Henderson, A.R., Heron, S.J.E. (1991): *The Biochemistry of Silage*. Marlow: Chalcombe Publications, Bucks, UK.
- Morrone, S.; Dimauro, C.; Gambella, F.; Cappai, M.G. (2022): Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. *Sensors*, 22, 4319.
- Muck, R.E., Nadeau, E. M.G., McAllister, T.A., Contreras-Govea, F.E., Santos, M.C., Kung Jr, L. (2018): Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of dairy science*, 101(5), 3980–4000.

- Oba, M., Allen, M.S. (1999): Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: Effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J Dairy Sci.* 1,82, 3, 589–96.
- Oliveira, A.S., Weinberg, Z.G., Ogunade, I.M., Cervantes, A.A., Arriola, K.G., Jiang, Y., Adesogan, A.T. (2017): Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4587–4603.
- Schingoethe D.J. (2017) A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 100, 12, 10143–10150.
- Syrůček, J. (2022): Sledování a hodnocení ekonomických ukazatelů v podnicích s chovem dojeného skotu v r. 2021. In: Sborník z workshop Management dojených stád skotu v podmínkách precizního zemědělství. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. Praha Uhřetěves, 7. 6. 2022.
- Syrůček, J., Bartoň, L., Řehák, D., Kvapilík, J., Burdych, J. (2019): Evaluation of economic indicators for Czech dairy farms. *Agric. economics*, 65, 499–508.
- Tullo, E., Finzi, A., Guarino, M. (2019): Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the total environment*, 650, 2, 2751–2760.
- Vacek, M. a Krpálková, L. (2017): Měření doby přezvykování a jeho využití při řízení stáda. *Náš chov*, 10, 43–45.
- Valente, T.N.P., Sampaio, C.B., Lima, E.S., Deminicis, B.B., Cezário, A.S., Santos, W.B.R. (2017): Aspects of acidosis in ruminants with a focus on nutrition: A review. *J. Agric. Sci.*, 9(3), 90-97.
- Wilkinson J.M. a Davies D.R. (2013): The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass Forage Sci.* 68, 1–19.
- Zhang, M., Wang, X., Feng, H., Huang, Q., Xiao, X., Zhang, X, (2021): Wearable Internet of Things enabled precision livestock farming in smart farms: A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring, *Journal of Cleaner Production*, 312, 127712.

## 7. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- 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.
- 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., 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 dojníc 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 bacheru dojníc. 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.
- Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. v Uhřetěvsi. (2019): Měření ztrát silážováním. Původci: Loučka, R., Jančík, F., Homolka, P., Koukolová, V., Kubelková, P., Tyrolová, Y., Výborná, A. Česká republika. Certifikovaná metodika. 16 s., ISBN 978-80-7403-224-0. 2019-12-12
- Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. v Uhřetěvsi. (2019): 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
- Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. v Uhřetěvsi. (2021): Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS) u nativních krmiv, výkalů a mléka. Autoři: Loučka, R., Jančík, F., Kubelková, P., Koukolová, V., Tyrolová, Y., Výborná, A., Gaislerová, M., Homolka, P., Jambor, V., Nedělník, J., Lang, J. Česká republika. Certifikovaná metodika ISBN 978-80-7403-256-1. 2021-10-20.

## **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 a MZe-RO-0718 Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace (DKRVO).

## 10. Přílohy

### 10.1. Seznam zkratk

ADIN	– nerozpustný dusík v kyselém detergentu (acid detergent insoluble nitrogen)
ADF	– acido detergentní vláknina (acid detergent fiber)
AI	– umělá inteligence (artificial intelligence)
AMB	– vnější, resp. okolní teplota (ambient)
AST	– test aerobní stability (aerobic stability test)
BSC	– skóre tělesné kondice (body condition score)
BQ	– bachorový kvocient
cfu	– kolonie tvořící jednotky (colony-forming unit)
ČR	– Česká Republika
ČZU	– Česká zemědělská univerzita v Praze
DKRVO	– Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace
FCM	– přepočítaný obsah tuku mléka 4 % (fat corrected milk)
GNDVI	– NDVI pro zelené spektrum (Green normalized difference vegetation index)
GPS	– globální polohový systém (Global Positioning System)
ID	– jedinečné identifikační číslo zvířete
IoT	– „internet věcí“ (internet of things)
MZe	– Ministerstvo zemědělství
NDF	– neutrálně detergentní vláknina
NDVI	– normalizovaný diferenční vegetační index (Normalized difference vegetation index)
NDRE	– normalizovaný index pro spektrum red-edge (Normalized difference red-edge index)
NIR	– blízká infračervená oblast
peNDF	– fyzikálně efektivní vláknina (physically effective fiber)
PHM	– pohonné hmoty
PLF	– precizní chov hospodářských zvířat (Precision Livestock Farming)
SARA	– subakutní bachorová acidóza (sub-acute ruminal acidosis)
TMR	– směsná krmná dávka (total mixed ration)
UAV	– bezpilotní prostředky (Unmanned Aerial Vehicle)
USB	– univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
VÚŽV	– Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. Praha Uhřetěves

### 10.2. Seznam obrázků

- Obr. 1: Ukázka několika typů UAV, používaných k monitorování porostů na poli*  
*Obr. 2: Ukázka získaných map zkoumaného pole v pátém týdnu snímání.*  
*Obr. 3: Snímek areálu skladů krmiv a snímek z 3D projekce objemu krmiva*  
*Obr. 4: Ukázka snímků z termokamery: profil siláže ve vaku a v silážním žlabu*  
*Obr. 5: Snímek bateriového teploměru ThermoChron se čtečkou*  
*Obr. 6: Aerobní stabilita, měřená teplotními senzory v laboratoři, a správná praxe*  
*Obr. 7: Tyčové teploměry a datalogger na balících a na silážním vaku*  
*Obr. 8: Obrázek bolusu eCOW a aplikátoru*  
*Obr. 9: Dojnice se senzorem na obojku a dojnice v tenzometrických žlabech*

### 10.3. Seznam grafů

- Graf 1: Ukázka průběhu teplot během fermentace vojtěškové senáže s různými variantami přípravků*  
*Graf 2: Ukázka průběhu teplot během fermentace kukuřičné siláže s různými variantami přípravků*  
*Graf 3: Ukázka průběhu teplot během měření aerobní stability kukuřičné siláže s různými variantami přípravků*



- Graf 4: Ukázka průběhu teplot během měření aerobní stability jiné kukuřičné siláže s inokulantem, složený se směsí vybraných homo- a heterofermentativních kmenů bakterií mléčného kvašení*
- Graf 5: Ukázka průběhu teplot v balících travní senáže v Hrusicích*
- Graf 6: Ukázka průběhu teplot při 7denním testu aerobní stability krmiva přímo ve stáji*
- Graf 7: Ukázka záznamu změn pH a teploty v bachoru jedné dojnice*
- Graf 8: Ukázka průběhu pH v bachoru u vybrané dojnice ze skupiny A*
- Graf 9: Ukázka průběhu pH bachoru u vybrané dojnice ze skupiny B*
- Graf 10: Ukázka záznamu změn pH během 24 hodin u dojnice z kontrolní skupiny (každá křivka představuje jeden den z celkové doby 21 dnů první periody pokusu)*
- Graf 11: Ukázka záznamu změn pH během 24 hodin u dojnice z pokusné skupiny (každá křivka představuje jeden den z celkové doby 21 dnů první periody pokusu)*
- Graf 12: Ukázka záznamu doby příjmu krmiva u dojnic (24 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním účinku pufru a alkalizátoru v TMR*
- Graf 13: Ukázka záznamu doby přežvykování u dojnic (24 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním účinku pufru a alkalizátoru v TMR*
- Graf 14: Ukázka záznamu doby příjmu krmiva u dojnic (26 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním kontrolní TMR bez pufru a TMR s pufrem, obsahujícím v krmné směsi kalcifikované mořské korály*
- Graf 15: Ukázka záznamu doby přežvykování u dojnic (26 ks) v průběhu pokusu s porovnáváním kontrolní TMR bez pufru a TMR s pufrem, obsahujícím v krmné směsi kalcifikované mořské korály*
- Graf 16: Ukázka záznamu doby příjmu krmiva u dojnic s kontrolní TMR, kde byl v krmné směsi oxid hořečnatý, a s pokusnou TMR s přípravkem DeBaas (28 ks)*
- Graf 17: Ukázka záznamu doby přežvykování u dojnic (28 ks) s kontrolní TMR, kde byl v krmné směsi pufr (MgO), a s pokusnou TMR s přípravkem DeBaas*
- Graf 18: Ukázka přechodu z jedné TMR na druhou podle spotřeby TMR a nádoje (36 dojnic)*
- Graf 19: Ukázka přechodu z jedné TMR na druhou podle doby žraní a přežvykování (36 dojnic)*
- Graf 20: Ukázka přechodu z jedné TMR na druhou podle obsahu tuku a bílkoviny v mléce (36 dojnic)*

## 10.4. Anotace

### **Podpora aplikace nových metod precizního zemědělství v oblasti produkce krmiv a krmení skotu**

V první části metodiky jsou popsány výhody a nevýhody nových technologií přesného chovu hospodářských zvířat (PLF, Precision Livestock Farming). Následuje popis současného stavu řešené problematiky. V experimentální části metodiky jsou na příkladech představeny vybrané výsledky zkoumaných metod PLF v našich projektech: (1) zpracování obrazu z multispektrální kamery, (2) vyhodnocování teploty z teplotních senzorů, (3) měření pH v bacheru pomocí bolusů, (4) monitorování a vyhodnocování doby příjmu krmiva a doby přežvykování u dojnic. V zemědělském podniku, který by představené metody PLF plně uplatnil, by bylo možné snížit výrobní náklady na 100 dojnic o 4 775 400 Kč, případně zvýšit jejich užitečnost o 6 800 000 Kč za 10 let. Ovšem za předpokladu, že by se za tu dobu současné tržní a ekonomické podmínky nezměnily.

*Klíčová slova: multispektrální kamera; teplotní senzory; pH v bacheru; doba příjmu krmiva a přežvykování*

#### Annotation

### **Support for the application of new methods of precision agriculture in the field of feed production and cattle feeding**

The first part of the methodology describes the advantages and disadvantages of new precision livestock farming technologies (PLF, Precision Livestock Farming). The following is a description of the current state of the problem being solved. In the experimental part of the methodology, selected results of the investigated PLF methods in our projects are presented using examples: (1) image processing from a multispectral camera, (2) temperature evaluation from temperature sensors, (3) pH measurement in the rumen using boluses, (4) monitoring and evaluation of feed intake time and rumination time in dairy cows. In an agricultural enterprise that would fully apply the presented PLF methods, it would be possible to reduce production costs for 100 dairy cows by CZK 4,775,400, or increase their productivity by CZK 6,800,000 in 10 years. However, on the assumption that the current market and economic conditions would not change during that time.

*Keywords: multispectral camera; temperature sensors; pH in the rumen; time of feed intake and rumination*

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

Název: Podpora aplikace nových metod precizního zemědělství v oblasti produkce krmiv a krmení

Autoři a jejich podíly práce:

<sup>1</sup>Ing. Loučka Radko, CSc. (25 %), <sup>1</sup>Ing. Jančík Filip, Ph.D. (10 %), <sup>1</sup>Ing. Kubelková Petra, Ph.D. (5 %),  
<sup>1</sup>Ing. Gaislerová Marie, Ph.D. (5 %), <sup>1</sup>Ing. Tyrolová Yvona (5 %), <sup>1</sup>Ing. Výborná Alena (5 %), <sup>1</sup>Ing.  
Koukolová Veronika, Ph.D. (5 %), <sup>1,4</sup>doc. Ing. Homolka Petr, CSc., Ph.D. (10 %), <sup>2</sup>Ing. Jambor Václav,  
CSc. (10 %), <sup>2</sup>Ing. Malá Soňa (5 %), <sup>2</sup>Ing. Synková Hana (5 %), <sup>3</sup>RNDr. Nedělník Jan, Ph.D. (5 %),  
<sup>3</sup>Ing. Lang Jaroslav, Ph.D. (5 %)

Pracoviště autorů:

<sup>1</sup>Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. Praha Uhřetěves

<sup>2</sup>NutriVet, s.r.o.

<sup>3</sup>Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

<sup>4</sup>Česká zemědělská univerzita Praha; Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů; Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky

Podíly duševního vlastnictví:

45 % Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. Praha Uhřetěves

20 % NutriVet, s.r.o.

15 % Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

5 % Česká zemědělská univerzita v Praze; Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů; Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky

Oponenti:

Ing. Jan Pozdíšek, CSc.,

Agrovýzkum Rapotín s.r.o.

Ing. Jan Vodička,

Ministerstvo zemědělství; Odbor živočišných komodit a ochrany zvířat

Dedikace: Metodika je výsledkem řešení projektu QK1810137 Aplikace precizního zemědělství v celém procesu od výroby siláží až po krmení skotu a MZe-RO-0718 Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace (DKRVO)

ISBN: 978-80-7403-274-5

Vydáno bez jazykové úpravy.

Foto: R. Loučka a Y. Tyrolová

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

[WWW.VUZV.CZ](http://WWW.VUZV.CZ)